

## **5. DIAGNOSTICO DE AMENAZAS NATURALES**

### **5.1 Amenaza por inundación a lo largo de la Cuenca del Río Pirris**

Las inundaciones son procesos actualmente socio-naturales, que en los últimos años han provocado daños materiales y pérdidas de millones de colones en la mayoría de las cuencas hidrográficas y la cuenca del Río Pirris debido a los efectos de eventos hidrometeorológicos extremos: huracanes y tormentas . Por lo tanto, estos eventos generan aumentos importantes de caudal, así como, durante el período de invierno donde se generan lluvias torrenciales, en muchos casos sobrepasan las capacidades de los cauces de los ríos, provocando el desbordamiento de las aguas generando el fenómeno de inundación. En el anexo se presentan los mapas de áreas por inundación del área de los Santos.

Costa Rica, en los últimos años ha sido afectada directa o indirectamente por efectos de tormentas tropicales, huracanes y lluvias de épocas que han provocado el desbordamiento de quebradas y ríos a lo largo de la mayoría de las cuencas principales de nuestro territorio nacional.

Los efectos generados por los huracanes Joan (1988), César (1996) y Mitch (1998), a lo largo del Pacífico Central y Sur de nuestro territorio y principalmente en el área de la Región de los Santos, sin lugar a dudas, tuvieron una dimensión importante y pusieron de manifiesto, la alta vulnerabilidad existente, dado , las graves interrupciones en el transporte, los efectos adversos de deterioro de las cuencas hidrográficas prioritarias, donde a raíz de esta situación se generaron inundaciones, deslizamientos y avalanchas en todo la Cuenca Hidrográfica del Río Pirris (RPi), afectando muchas comunidades importantes.

Muchas comunidades a través de la historia se han ubicado cerca de ríos, los mismos a través de los cambios han provocado cambios repentinos en sus regímenes de caudal, debido a las intervenciones propias del hombre en las partes superiores de las cuencas hidrográficas, generando desbordamientos repentinos, principalmente en aquellas áreas que se ubican al pie de las montañas, casos tales como Turrialba y Ciudad Neily .

O poblaciones completas ubicadas en áreas muy planas donde las inundaciones son pasivas, donde el nivel del agua sube progresivamente, pero, existe la oportunidad de proteger los bienes, estas áreas se anegan durante un tiempo relativamente largo, tales como Ciudad Cortes, Filadelfia, Parrita y la zona Atlántica Limón.

Pero, indudablemente en la Cuenca Superior del Río Pirris, existen dos áreas pequeñas que se han originado a través de los procesos erosivos de las montañas y arrastre de sedimentos de la Cordillera de Talamanca, formando valles intermontanos , donde actualmente se ubicada la comunidad de Copey y el centro

de Santa María de Dota, que históricamente se han visto afectadas por el desbordamiento repentino del mismo, originándose fuertes erosiones y pérdida de terreno en el área de Santa María a lo largo de la margen derecha.

Al ser una zona muy susceptible a erosiones intensas, generación de deslizamientos una vez iniciado el período de invierno, las lluvias intensas muchas veces disparan deslizamientos de tierra, donde son arrastrados roca y árboles de gran dimensión, originando represamientos temporales, que luego se transforman en avalanchas de lodo y rocas, bien reflejados en estas áreas, que en la actualidad son utilizados únicamente para ganadería.

### **5.1.1 Característica de las inundaciones “Avenidas”**

Aunque el pronóstico de inundaciones es una actividad que se puede llevar a cabo con técnicas simples y de bajo costo, la prevención de inundaciones es mucho más costosa, ya que en la prevención se desea evitar el desbordamiento de los ríos hacia zonas habitadas o usadas para fines agrícolas y caso particular en la Cuenca Superior del Río Pirris.

Por lo tanto, el autor considera que es indispensable que se conozcan todos los términos relacionados con las inundaciones y los efectos que estas provocan en la infraestructura vial, fluvial, viviendas y la posible pérdida de vidas humanas en la región de estudio y se puede proyectar a las demás cuencas del país.

Se debe considerar que los impactos por inundación son muy similares en la mayoría de los casos a lo largo del territorio nacional, es por ello que es muy genérico este análisis para la cuenca del Río Pirris tanto en la parte superior como en la parte baja donde se ubica Parrita.

Una avenida o inundación se produce cuando un curso fluvial recibe una cantidad tal de aporte de agua que supera su capacidad de almacenamiento, desagüe o filtrado.

En la actualidad, la mayoría de los cauces se encuentran saturados por una alta acumulación de material y como consecuencia, al no tener una sección hidráulica adecuada, se generan desbordamientos debido a la falta de capacidad suficiente para evacuar adecuadamente los caudales picos, originando una subida del nivel de las aguas en el cauce donde el exceso debe ser evacuado por las márgenes ocupando las áreas adyacentes, lo que se conoce como (Llanuras de inundación).

Estas representan la invasión de aguas en áreas que, en condiciones promedio se mantiene secas. Esta invasión puede ser repentina o gradual y su origen normalmente se debe a factores pluviales, fluviales, deslizamientos de tierra o ruptura de presas o embalses con eventuales avalanchas.

En el ámbito ambiental, la cuenca hidrográfica del Río Pirris, en la parte superior esta altamente degradada debido al uso que en los últimos años a esta sometida por el incremento del cultivo de café, tales implicaciones han generados altos niveles de contaminación y deterioro que limitan los usos del agua tanto para consumo humano como para otras alternativas y aumentan la agresividad de arrastre y frecuencia de las inundaciones en las partes inferiores caso particular de la zona de Parrita, que en los últimos años a estado expuesta a infinidad de inundaciones.

En la región de estudio no existe una llanura de inundación típica, pero, hay dos valles bien definidos que corresponde a parte del distrito Copey y centro de Santa María de Dota, los cuales a través de los procesos erosivos se ha modelando el valle con las avenidas del Río Pirris.

Por esto, se puede afirmar que las planicies de inundación y las márgenes forman parte del cauce del río para caudales mayores.

Por lo tanto, se puede decir que las inundaciones forman parte del “**comportamiento normal**” de los ríos y que esta actividad es de esencial importancia en el mantenimiento de la vida animal, vegetal y el hombre en las llanuras de inundación, así como el enriquecimiento por nutrientes de los sedimentos de éstas, ya que en su gran mayoría estas áreas al ser anegadas son ricas en suelos fértiles para la agricultura.

Pero, este proceso natural y en muchos casos beneficioso, ha pasado a ser considerado como desastre en el momento en que su interacción con el hombre provoca grandes pérdidas y esta situación es fiel reflejo en la cuenca inferior donde se ubica Parrita.

Evidencias claras de desbordamientos anteriores se observan en las cercanías de la comunidad de Río Blanco, Copey y parte de Santa María de Dota, en donde, las depositaciones de rocas y troncos son vestigios de los grandes avalanchas de materiales que se identifican en fincas a lo largo del cauce y quebradas tributarias.

De acuerdo con referencias de testigos, indican que para 1955, 1988 y 1996 el caudal del Río Pirris, sobre la altura del puente en la ruta nacional en el sector central de Santa María de Dota en las inmediaciones de COOPEDOTA, donde se dio una fuerte erosión afectando las márgenes e inundando varias casas de la margen izquierda, así como el camino.

En los últimos años la Cuenca Hidrográfica del Río Pirris, ha tenido una fuerte intervención por parte del hombre, dado que parte de los terrenos de fuerte pendiente están siendo utilizados para cultivos tales como café, aguacate y manzanas entre otros productos que se están cultivando en el área.

Para ello, es necesario aplicar la normativa vigente, caso de la implementación de Planes Reguladores en los 3 cantones con la finalidad de reducir el riesgo.

### **5.1.2 Rasgos físicos de las áreas de inundación.**

La mayoría de los ríos del país presentan a lo largo de su trazado, zonas adyacentes al cauce de morfología más aplanada y con clara influencia fluvial, que es lo que se conoce con el nombre de llanura de inundación (floodplain). Su tamaño y forma dependen en gran medida de las características topográfica, morfológicas y litológica del área.

En zonas montañosas estará muy poco desarrollada, siendo una pequeña franja a ambos lados del cauce, la cual ocupa casi la totalidad del fondo del valle. En estos lugares, al no existir “válvula de seguridad” que supone una amplia llanura de inundación, las avenidas se producen de manera repentina (flash-floods), alcanzándose importantes subidas del nivel respecto del cauce normal con moderados aumentos del caudal, casos de Turrialba donde los daños generados durante el 5 al 13 de mayo del 2002 provocó la destrucción de muchas viviendas y aledaños a puentes en el sector central de la ciudad (Ver foto).

Pero, la comunidad de Copey y Santa María las condiciones son un poco diferentes, dado que se presentan en un área de un valle en la parte central de la Cuenca del Río Pirris.

Debemos considerar que la Cuenca Inferior del Río Pirris suele ser mucho más ancha y aplanada y con muy baja pendiente. Esta amplia porción de terreno almacena gran parte del agua desbordada durante una avenida, así como una importante cantidad de la carga sólida transportada por el río, retrasando y minimizando de manera considerable la subida del nivel de las aguas, aguas abajo del punto considerado.

Por el contrario, en la parte inferior de la Cuenca hidrográfica se ubica la población de Parrita, que tiene una historia muy importante por efectos de inundación al ser zonas de topografía muy llana, el agua permanece largo tiempo anegando la llanura de inundación hasta que desaparece por percolación, e infiltración en el subsuelo o por evaporación a la atmósfera, mientras que sólo una pequeña porción puede volver a retomar el cauce original.

### **5.1.3 Factores que influyen en las inundaciones.**

Además, de la vegetación, geología y características de la cuenca de drenaje, ante un evento hidrometeorológico adverso, dependiendo del tamaño y duración de la tormenta o huracán que puede originar una crecida en los ríos de una determinada zona, puede descargar suficiente agua en el área provocando el aumento repentino

del caudal y por consiguiente el desbordamiento en las áreas adyacentes, ante esta situación hay una serie de factores que tienen una influencia decisiva en la magnitud de la avenida, tales como

#### **5.1.3.1. Vegetación.**

El tipo y la densidad de vegetación es uno de los factores que condicionan más directamente el porcentaje de la precipitación que se convierte en escorrentía. Su labor es decisiva en dos aspectos. Por un lado, confiere al suelo una adecuada estructura que aumenta su capacidad de retención e infiltración, impidiendo que un importante volumen de agua caída pase directamente a formar parte de la escorrentía superficial.

Por otro lado, protegen al suelo del impacto directo de la gota de lluvia, al retener parte del agua en las hojas y ramas. De esta forma, preservan al suelo de la erosión y disminuyen la carga sólida aportada a los ríos y quebradas.

De hecho, la alta cobertura existente en la parte superior del Río Pirris, “Área de Reserva Forestal de Los Santos, decreto No. 5389-A-MAG-75”, establece una protección total del suelo y de su uso regulado por Ley.

En esta área el uso es de ganadería, cultivo de aguacate, moras y hortalizas, además, del bosque primario. Pero, este proceso natural y en muchos casos beneficioso, ha pasado a ser considerado como desastre en el momento en que su interacción con el hombre provoca grandes pérdidas y esta situación es fiel reflejo en la cuenca inferior donde se ubica Parrita.

El conflicto surge cuando el hombre, dada la fertilidad, fácil acceso, adecuación para la construcción de vías de comunicación, posibilidad de obtención de agua y la extracción de materiales se establece en estas planicies y compite por el dominio.

De esta forma, lo que antes era considerado como un proceso natural del que se tenía una tradicional conciencia histórica pasa a ser un desastre que produce importantes pérdidas de vidas humanas, económicas y obras de infraestructura (puentes, acueductos).

No se trata de abandonar completamente los terrenos sujetos a riesgos de inundación, pues, como se ha visto, presenta múltiples ventajas, sino que la política adecuada es la que intenta conseguir un equilibrio entre las pérdidas que se producen cuando el río vuelve a ocupar “su llanura de inundación” más las inversiones hechas en tratar de minimizar los daños, como los beneficios que se obtienen del aprovechamiento de estas zonas.  
existente.

A pesar de esto, se presentan procesos de inestabilidad de laderas relacionados a eventos hidrometeorológicos importantes caso del Huracán Joan( 1988) y Cesar (1996), donde se reactivaron deslizamiento o se desprendieron parte de laderas montañosas.

La ausencia de una adecuada cobertura vegetal “deforestación” reduce el tiempo de concentración del agua caída durante un evento hidrometeorológico: tormenta, huracán entre otros y aumenta el “pico” o máximo de la inundación.

Entre la comunidad de Copey y Santa María Tarrazu la cobertura vegetal a desaparecido, casi en su totalidad, solo quedan vestigios muy reducidos de vegetación a lo largo de pequeñas franjas de terreno que corresponde a los cauces de quebradas y el resto ha sido talado para dar paso a cultivos de café exclusivamente, donde los procesos erosivos, desprendimientos, flujos de lodos y deslizamientos son frecuentes, provocando mayores aportes de sedimento a los cauces de quebradas y ríos tributarios del Río Pirris.

#### **5.1.3.2. Geología**

La naturaleza, composición y textura de los suelos y materiales rocosos de la cuenca de drenaje condicionan de manera efectiva las tasas de filtración y percolación de agua en el subsuelo.

En el área de mayor cobertura específicamente al este de Copey en las microcuencas de los Ríos Pedregoso y Pirris el tipo de roca aflorante son lavas y brechas alteradas.

El grado de torrencialidad, influye directamente en la escorrentía obtenida. Si la precipitación se produce de manera muy brusca y concentrada en el tiempo, aún en las mejores condiciones de cubierta vegetal, litologías existentes o humedad del terreno, éste no tiene capacidad suficiente para infiltrar o retener tal cantidad de lluvia en un corto espacio de tiempo, produciéndose altos caudales en los ríos de manera casi instantánea.

Debemos indicar que tal situación se presenta en el sitio de presa del P.H Pirris en Tarrazu y San Pablo la roca aflorante corresponde a sedimentaria muy alterada.

#### **5.1.3.3 Características de la cuenca de drenaje**

Cuanto mayor es una cuenca de drenaje, mayor es su capacidad de autorregulación y autolaminación de la inundación. Mayor es el número y longitud de los cauces, por lo que más grande es el volumen de agua almacenada en ellos.

Más amplias y extensas son las llanuras de inundación, en caso de desbordamiento, mayor volumen se puede retener en las riberas, retrasando el tiempo de concentración y disminuyendo el “pico” de la avenida.

También es importante la longitud, pendiente y orientación de las laderas en las zonas de cabecera, pues condicionan la densidad y tipo de vegetación, la velocidad del agua y su capacidad de infiltración en el terreno, así como el grado de alteración y desarrollo de los suelos.

#### **5.1.4 Causas de las inundaciones.**

El análisis de las inundaciones en la Cuenca Hidrográfica Superior del Río Pirris se centraliza más que todo en la parte central del Distrito de Dota y Copey.

Las comunidades de Tarrazú y San Pablo, no presentan problemas directos por desbordamientos directos del Río Pirris, pero, de acuerdo con los antecedentes de ambos cantones existen muchas evidencias de pequeñas avalanchas en quebradas tributarias afectando puentes y viviendas.

##### **5.1.4.1 Fenómenos naturales**

Se debe considerar que cualquier evento que afecte indirectamente el país ya sea un huracán, tormenta o onda tropical o inclusive un temporal la región de estudio debido a su ubicación esta expuesta a torrenciales lluvias y los fenómenos asociados (deslizamientos, avalanchas e inundaciones).

Por lo tanto, es indispensable que bajo estas condiciones en la siguiente tabla se expone un recuento general desde 1949 hasta el 2001 de los eventos hidrometeorológicos que han afectado todo el Pacífico Central y Sur. Indudablemente la Cuenca Hidrográfica del Río Pirris en su parte superior esta muy expuesta a incrementos de caudales picos debido a la intervención directa del hombre, esto debido, a la tala indiscriminada de bosque para uso en la ganadería, café y cultivos de árboles de manzana y aguacate.

##### **5.1.4.2 Desprendimiento de laderas**

Al producirse un deslizamiento o desprendimiento sobre el fondo de un valle puede dificultarse e incluso impedir el flujo normal del caudal del río, formándose un represamiento aguas arriba del deslizamiento. En caso de coronación del agua embalsada por encima del muro natural o simplemente por rotura de éste, el volumen de agua almacenada se libera bruscamente, originando una rápida subida del nivel de las aguas por debajo del represamiento, en forma de avalanchas.

En los últimos años se han generado deslizamientos importantes en el área de estudio, tales como: Deslizamiento Río Blanco (1955), Quebrada Las Vueltas (1955),

Quebrada Grande, Llano de Piedra (1996) estos en el cantón de Dota y Quebrada Agüero, Cedral y Carrizal en San Pablo, que de una u/o otra forma han incrementado el caudal de las quebradas y ríos del área.

#### **5.1.4.3 Lluvia estacional y de alta intensidad**

La lluvia estacional es aquella que tiene períodos establecidos y para nuestro país se presentan períodos y regímenes diferentes. Así, se tiene el régimen de la Vertiente del Pacífico y el régimen de la Vertiente del Atlántico.

En el caso de la Vertiente del Pacífico hay un período lluvioso bien definido de mayo a noviembre, con la presencia de un pequeño verano en julio y agosto.

La mayor parte de las inundaciones se producen por un importante volumen de precipitación que supera la capacidad de infiltración y retención del terreno y de almacenamiento de los cauces, de tal forma que se produce una subida del nivel de las aguas desbordando el río en las áreas adyacentes.

Por lo tanto, para el área de estudio los sectores con mayor probabilidad para que se produzca un desbordamiento corresponde al sector central de Copey de Dota y Santa María, dado que las mismas son drenadas por el Río Pirris.

Los huracanes Joan (1988) y Cesar (1996), indirectamente afectaron la región de los Santos, donde se generaron grandes deslizamientos de tierra, avalanchas y destrucción de puentes, viviendas y pérdida de biomasa, así como, pérdida de vidas humanas.

##### **5.1.4.3.1 Rompimiento de presas y cabezas de agua o avenidas**

En la región de estudio se han originado represamientos importantes en las partes superiores de la Cuenca del Río Pirris, debido a deslizamientos de tierra y árboles que caen en el cauce de los ríos o quebradas, así como, por el lanzamiento de desechos (basura) o tierra depositada por excavaciones de caminos.

Por lo tanto, este tipo de presa es muy frágil y conforme el embalse se hace más grande, o de mayor volumen, aumenta el riesgo de producirse una rotura, por el empuje que le produce el agua al querer fluir aguas abajo.

Hasta la fecha no se han generado represamientos importantes en la cuenca de acuerdo con las valoraciones de campo. Pero, es muy posible que en un corto plazo se produzcan debido a la existencia de agrietamientos en laderas y deslizamientos activos. Siendo necesario, establecer un Plan de Monitoreo en algunos puntos estratégicos

Un término que se escucha muy a menudo corresponde a una “cabeza de agua” generado básicamente por dos fenómenos:

- Represamiento por deslizamiento, parte superior de una cuenca
- Lluvias de alta intensidad y corta duración que se presentan en las partes altas de la cuenca.

En algunas ocasiones se le designa cabeza de agua al rompimiento de un represamiento, cuando éste no ha sido bien identificado. La principal característica que presenta una cabeza de agua es que aparece instantáneamente, sin que se presenten signos de que llueva aguas arriba de la zona afectada.

#### **5.1.4.3.2 Avalanchas debido al represamiento de algún cauce por efecto de desprendimiento de ladera o rellenos.**

Una avalancha es un fenómeno que se presenta en los ríos o quebradas, por efecto inicial de un deslizamiento. Una recarga de agua sobre laderas inestables hace que adquieran gran peso y se deslicen hacia el cauce del río o la quebrada generando represamientos.

Generalmente estos represamientos se producen en las cuencas altas y es muy normal que los habitantes de la cuenca media y baja no se enteren. Las principales características que presenta una avalancha son:

- Espontáneas.
- Viajan a velocidades muy altas y tienen alto poder destructivo.
- Transportan una masa de agua con rocas, tierra, arena, ramas, árboles y en algunos casos: viviendas y animales.
- Se presentan en época seca y lluviosa.

En una cuenca hidrográfica como la del Río Pirris, donde se ubican los cantones de Santa María de Dota, Tarrazú y San Pablo de León Cortes, se tiene la presencia de un bosque primario en condición de Area protegida Los Santos y un área completamente intervenida que corresponde a los sectores centrales de Tarrazú y San Pablo, donde por el cambio de uso del terreno reemplazando la montaña por café. Se presentan constantemente eventos de avalanchas en algunos cauces tributarios del Río Pirris

Por lo tanto, las áreas inestables donde se han identificado desprendimientos, deslizamientos y que de una u/o otra forma han generado daños al medio ambiente o la población deben de ser vigilados y considerados como un Area de Alta Amenaza desde el punto de vista para la generación de represamientos, avalanchas.

## **5.1.5 Procesos antropogénicos**

### **5.1.5.1. Ocupación de planicies de inundación de ríos y quebradas**

Cuando se habla de planicies de inundación nos referimos a aquellas áreas o zonas que son afectadas por los caudales extraordinarios que producen las inundaciones por un período de recurrencia definido. Por ejemplo: 1 año; 5 años; 10 años; 25 años; 50 años o más.

Es muy común en nuestro país que estas planicies sean ocupadas por asentamientos humanos, conformados por grupos familiares de muy escasos recursos económicos, de bajo nivel cultural y por ende con graves problemas sociales (precarios).

En el área de estudio la Cuenca Hidrográfica Superior del Río Pirris, no se presenta llanuras de inundación, bien definidos como se ha definido en este capítulo, pero, debemos indicar que en la parte inferior de la misma donde se ubica la población de Parrita, si existe una llanura de inundación que históricamente en los últimos años a experimentado avenidas muy importantes.

En las partes intermedias de la cuenca se presenta dos valles bien definidos que son Copey y Santa María de Dota, pero, que en los últimos años no han tenido serios complicaciones de grandes desbordamientos, únicamente en el sector central de Santa María donde es necesario evacuar a varias familias de la margen izquierda cada vez que se dan eventos extremos al darse un incremento del caudal sus casas son inundadas.

### **5.1.5.2 Alteración de las cuencas o micro cuencas hidrográficas**

Esta se produce por la deforestación o corte de los árboles de los bosques, acción que deja el suelo sin cobertura vegetal, en algunos casos con un simple pasto y generalmente desnudo, pues es deforestado para uso agrícola o ganadero.

Al no existir vegetación, el agua de la lluvia no puede ser interceptada, ni infiltrada, por lo que escurre, lavando los suelos, dirigiéndose a los cauces de ríos y quebradas; aumentando el caudal y produciendo posteriormente las inundaciones.

El manejo inadecuado de la Cuenca Hidrográfica del Río Pirris en los últimos años se ha dado debido a la falta de aplicación de tecnología apropiada en el uso sostenible de los recursos naturales, que ha sido un factor determinante en el deterioro de la misma.

En la actualidad el puente principal entre Santa María y Tarrazu fue reemplazado por otro después de muchos problemas por daños más que todo por daños estructurales

### **5.1.5.3                   Diseño inadecuado de estructuras hidráulicas**

A lo largo de la cuenca hidrográfica las obras hidráulicas como puentes y sistema de alcantarillado, fueron diseñadas sin visión a futuro y hoy con el auge del desarrollo urbano, la deforestación, alta acumulación de material en los lechos de los ríos, además de los abusos de contaminación de los ríos con desechos sólidos, lanzados por el hombre no tienen la capacidad hidráulica suficiente.

Por lo tanto, con las primeras lluvias de época se desbordan, provocando inundaciones y la destrucción de tales obras, así como la afectación de la infraestructura en general.

En el área se han destruido varios puentes por esta condición, debido a eventos hidrometeorológicos extremos. Durante el evento del Huracán Cesar (1996), el puente sobre la Quebrada Rivas calle Higueronal en Santa María de Dota fue dañando, así como el puente sobre la Quebrada Salado en Tarrazú.

A lo largo del Río Pirris el puente que comunica San Cayetano con Santa Juana en el límite entre Tarrazú y San Pablo fue destruido por el mismo evento.

### **5.1.5.4                   Desarrollo urbano sin planificación**

Debido al desarrollo urbano, (proliferación de urbanizaciones) los ríos y quebradas se han visto afectadas de diferentes maneras, pues en gran medida las viviendas y urbanizaciones envían las aguas servidas y pluviales a estos cauces, aumentando su caudal sin considerar los asentamientos ubicados aguas abajo.

El desarrollo urbano se ha dado sin planificación, desde el punto de vista del ordenamiento de las aguas, pues las instituciones que deben dar los respectivos visados no exigen un estudio de impacto hidrológico-hidráulico y ambiental para verificar que no afecte el caudal de ríos, quebradas, acequias, con la finalidad de que la población que habita en las cercanías conserve la sección transversal del cauce en estado natural.

En la actualidad la región de Los Santos no ha experimentado este problema tan general como ocurre en otras comunidades del país, pero, debe implementarse un Ordenamiento Territorial adecuado para cada uno de los cantones, con la finalidad de reducir posibles repercusiones a futuro.

### **5.1.5.5                   Explotación o extracción de materiales de ríos y quebradas**

La extracción indiscriminada de materiales, tales como piedra y arena, por parte de algunas empresas que se establecen en ríos y quebradas en los últimos años han generado severos daños en el equilibrio energético de los ríos, provocando un aumento de la velocidad del agua.

Otros problemas que genera esta extracción de materiales son la erosión de riberas o márgenes y la contaminación de las aguas para uso humano y animal.

Dado que los bancos de material son muy pocos y no rentables para su explotación a lo largo del cauce del Río Pirris esta situación no es un problema para la Zona de los Santos, pero, es necesario que de efectuarse alguna extracción a futuro la misma sea efectuada acorde a lo que establece la Ley Orgánica del Ambiente y Código de Minería.

Con más detalle se indican las medidas que se deben establecer de acuerdo con la normativa vigente analizada en el capítulo 3 y referente a la explotación de cauces de dominio público y canteras en el capítulo 11 se indican las directrices a seguir.

#### **5.1.5.6 Falta de mantenimiento de los cauces de ríos y quebradas**

En la actualidad la falta de mantenimiento del cauce del río Pirris, Quebrada Rivas, Río Blanco y Río Pedregoso ha generado que la alta sedimentación existente en estos cauces, ocasione la pérdida de su capacidad hidráulica, provocando una fuerte erosión y que se desborden fácilmente con una lluvia de alta intensidad y corta duración.

En los últimos años debido a los eventos hidrometeorológicos tanto del Huracán Cesar (1996) y Michelle (2000), el cauce principal del Río Pirris, a la altura de Santa María de Dota, genero una fuerte erosión a lo largo de la margen izquierda, exponiendo a varias viviendas que de no establecer obras de mitigación en un corto plazo serán destruidas en un corto plazo, debido al retroceso de la ribera.

A partir de este punto el cauce tiene una reducción de la sección hidráulica, además, de que se profundiza y deja de ser una amenaza para la población tanto de Santa María de Dota como de Tarrazú.

Indudablemente, es necesario la rectificación del cauce y profundidad del mismo a la altura de Santa María de Dota, al menos 300 metros de longitud de obra de protección de dique como sección hidráulica.

#### **5.1.5.7 Contaminación de los cauces con desechos sólidos y líquidos**

La contaminación de los cauces, con todo tipo de desechos sólidos (basuras doméstica ) reduce en gran porcentaje la sección transversal de estos y en muchos casos da origen a los represamientos.

La descarga de desechos líquidos debido a la existencia en el área de los Santos de varios beneficios de café ha generado que a lo largo del cauce del Río Pirris, que en los últimos años se descarguen directamente al cauce líquidos y sólidos, provocando una alta contaminación ambiental por malos olores.

En el capítulo 12 se efectúa un análisis de los impactos ambientales generados por los beneficios de café y de otras fuentes de contaminación en la cuenca hidrográfica del Río Pirris.

Por lo tanto, debemos indicar que a raíz de la ocupación de áreas de río, las familias depositan toda la basura y descargas cualquier tipo de líquidos a lo largo de ríos y quebradas, principalmente en el Gran Área Metropolitana los cuales provoca graves daños a las viviendas que se encuentran en las planicies de inundación, debido al enorme poder energético que alcanzan el agua y los desechos, capaz de arrastrar fácilmente viviendas, puentes y cualquier tipo de estructura que se encuentre a su paso.

Debe indicarse que el fenómeno anterior se da en gran parte, debido a la ocupación y estrangulamiento de los cauces por parte de las viviendas que se instalan sin autorización en precarios en las planicies de inundación, es decir al margen de la ley de Retiros de Cauces de Agua, que regula el uso del suelo en áreas cercanas a los ríos y quebradas.

A lo anteriormente dicho se debe agregar el envío de desechos líquidos por parte de empresas inescrupulosas, lo que genera dos problemas básicos; contaminación y aumento del caudal normal de los ríos.

Esto no sólo afecta el ambiente sino que contribuye a generar las llamadas **Inundaciones de Ciudad.**

Aunque en menor escala pero lamentablemente en el área se da pero muy aislado debido a la existencia de acequias y cauces que provocan leves desbordamientos en la región de los Santos.

En la actualidad a raíz de la aplicación de la Ley de Salud y Ley Orgánica del Ambiente los dueños de los beneficios han tenido que modificar el proceso y de implementar nuevas tecnologías tales como las plantas de tratamiento y procesamiento de la pulpa.

#### **5.1.6 Análisis de la vulnerabilidad de las zonas afectadas**

Como se había mencionado las inundaciones no son, como la creencia popular afirma, desastres naturales, por el contrario son fenómenos naturales y forman parte del rango de caudales normales de los ríos.

Costa Rica y la zona de la Cuenca Hidrográfica Superior del Río Pirris no es una excepción en la ocurrencia de dichos eventos.

Es así, como uno de los fenómenos por los cuales muchas poblaciones son más afectadas son las inundaciones, causadas en su gran mayoría por lluvias prolongadas, tormentas locales y los efectos indirectos de los huracanes.

El análisis de vulnerabilidad de las inundaciones en el área de estudio que corresponde a la Cuenca Superior del Río Pirris, se enmarca únicamente para los distritos de Copey y Santa María de Dota ubicados ambos en un valle bien definido y drenado por el Río Pirris.

A partir de este punto aguas abajo el cauce es más estrecho y profundo, únicamente en el sector donde se ubica el Beneficio La Meseta ha generado problemas erosivos.

Por lo tanto, la gravedad de las inundaciones se ve frecuentemente acentuada cuando las causas naturales se combinan con la deforestación, la defectuosa construcción de los diques y otras alteraciones humanas al medio ambiente.

Aunque, debemos considerar que el uso inadecuado del suelo en Tarrazú, San Pablo y parte de Santa María de Dota, ha generado serias implicaciones de erosión, debido a la falta de técnicas adecuadas, las mayores repercusiones se presentan en las partes más bajas de la cuenca donde se ubica Parrita.

Por lo tanto, el análisis integra toda la problemática de la cuenca superior y sus implicaciones a futuro se puedan desarrollar tanto en el sitio de presa como en las llanuras de inundaciones donde se ubican asentamientos humanos a las orillas del Río Parrita.

Una de las medidas de la prevención de inundaciones consiste en construir una serie de obras tendientes a mantener el flujo de agua dentro del cauce del río. En algunos casos se llevan a cabo dragados en los cauces para profundizar y ampliar el canal de descarga, con el afán de evitar los desbordes.

Sabemos de antemano que la obra de dique y dragado es esencial en el sector central de Santa María para prevenir que en el futuro se produzca una emergencia o destrucción de viviendas en esta área.

Pero, esta medida requiere de un diseño técnico que considere los estudios hidrológicos, así como obras de ingeniería hidráulica para el diseño de las medidas a ser implementadas.

Lamentable en la actualidad el pequeño aporte facilitado por parte de la (CNE) para ejecutar una obra que desde 1996 se ha insistido que es necesario a tardado más de 6 años para iniciar limpieza y acumulación de material para formar el dique

Debemos ser claros que no es un dique, sino una acumulación de material redepositado por el río y que en cualquier momento puede ser erosionado nuevamente, por consiguiente, el dinero es mal invertido y la protección a la población no es real, existiendo una falsa expectativa de seguridad.

Con este estudio lo que se pretende es motivar a los profesionales y tomadores de decisiones que antes de efectuar cualquier tipo obra en una quebrada, acequia o río, por más pequeño que sea debe de evaluarse el área, efectuar los estudios y de conversar con la población que se desea proteger, con la finalidad de que ambas partes sean partícipes y responsables a futuro de la obra y de su mantenimiento.

En cualquier caso los trabajos de prevención se inician con un análisis hidrológico y un estudio de riesgo, los cuales tienen como objetivo determinar cual puede ser el impacto de las inundaciones, reflejado en el grado de pérdidas a esperarse en caso de inundaciones, así como el mapeo de áreas inundables.

Una vez completados estos estudios se procede a la contratación de una firma de ingeniería para que diseñe el tipo de medidas a implementar para la prevención de inundaciones.

Por lo general, para cada caso se puede establecer uno o varios tipos de medidas en forma simultánea. Sin embargo, como en el caso de casi todas las obras de gran envergadura, la selección de medidas a implementarse se basa en el presupuesto disponible más que en la medida a implementarse.

Se establece en este trabajo una guía general no solo para el caso de estudio, sino también para cualquier parte del territorio nacional como una hoja de campo para la evaluación preliminar de daños por efectos de Inundación en la tabla No. 7

Además, debe considerarse cual fue el factor o mecanismo que generó la inundación, es decir, si corresponde a lluvias torrenciales, eventos hidrometeorológicos (tormentas, huracanes), represamientos que provocaron el desbordamiento de un río, quebrada o ruptura de un dique y de categorizar si fue de avance lento, repentina o violenta por parte de los pobladores.

Es importante tener en cuenta, por lo tanto, los siguientes aspectos que pueden incrementar un mayor riesgo:

- Enfermedades transmisibles (fiebre, gastroenteritis, Hepatitis).
- Escasez de alimentos (por pérdida o disminución en el suministro)
- Problemas de eliminación de desechos y excretas
- Contaminación de agua potable

### 5.1.7 Características de las inundaciones y su relación con el grado de daños.

Estos elementos van a depender principalmente de las características propias de cada cuenca y del evento meteorológico que esta provocando el aumento de caudal. Cada uno de estos elementos interactúan durante una inundación en mayor o menor intensidad.

**Altura de las aguas:** Este elemento es importante sobre todo cuando se quiere determinar la estructura, frente a los efectos de flotación y de fallo de los cimientos. Por otro lado, también es importante al establecer el posible daño a los cultivos.

**Duración:** El tiempo de duración de la inundación es proporcional al grado de daños del evento. Esto es importante no solo para los daños en la infraestructura, viviendas (líneas vitales, puentes), sino también:

- ◆ **Incomunicación de la población**
- ◆ **Actividad industrial**
- ◆ **Servicios públicos**
- ◆ **Agricultura**
- ◆ **Comercio entre otros**

**Velocidad:** de esta depende las fuerzas de erosión y presión hidrodinámica. Dependiendo de su intensidad y constancia puede provocar el derrumbamiento de la infraestructuras (edificios, puentes). Estas velocidades se pueden presentar tanto en los cauces propiamente como en el las llanuras aluviales

Por lo tanto, en las áreas de inundación se pueden establecer medidas estructurales como no estructurales como:

#### 5.1.7.1 Medidas estructurales

**Métodos de embalse:** Presas para atenuar los caudales máximos. Una opción es construir en diversos puntos de la cuenca y su función es la de atenuar la energía de la corriente de agua.

**Depósitos controlados y provisionales en una llanura de inundación:** se construyen de tal forma que en una llanura de inundación no ocupada al llegar el caudal a cierto nivel el agua se desvíe hacia un lugar favorable para que la corriente pierda fuerza, es factible a futuro efectuar este trabajo en las llanuras de inundación de Parrita.

## Métodos de encauzamiento

- ◆ **Diques:** se utilizan para tratar de que el caudal se mantenga dentro de los límites establecidos o bien para evitar que el caudal retome un canal inactivo o una zona baja afectando a las poblaciones aledañas.
- ◆ **Canales:** se pueden utilizar para aliviar el caudal que circula por el cauce permanente.
- ◆ **Mejoras del cauce:** por medio de una realineación, ensanchando la sección transversal de un río o quebrada debido a la acumulación de material en el lecho del río.

El gran inconveniente de las obras estructurales, es que con la excepción de las grandes presas (construidas para otro fin), suelen tener la capacidad limitada y por el contrario generan una falsa sensación de seguridad que puede motivar la explotación de los lugares supuestamente protegidos o desmotivar una adecuada organización comunal para responder ante emergencias.

Se presenta a continuación en la Tabla No. 7 un ejemplo de evaluación preliminar por inundación.

### 5.1.7.2 Medidas no estructurales:

Este grupo de posibles acciones se enmarcan dentro de un grupo de medidas orientadas a promover una mayor conciencia dentro de la población del medio en que se encuentran y la necesidad de organizarse para enfrentar cualquier situación extrema. Entre ellas podemos destacar:

**Sistemas de alerta temprana:** en nuestro país tenemos la experiencia con la creación a partir de 1991 de un sistema de alerta temprana para las cuencas del caribe. Para el año 2000 se estableció en la subcuenca del Río Reventado un sistema de Alerta Temprana en cuanto a fenómenos por deslizamientos e inundaciones y en la actualidad se esta estableciendo en la Cuenca del Río Uruca en Santa Ana. En esta investigación se efectúa una descripción en el capítulo 7 para la Cuenca Hidrográfica del Río Pirris (RPi).

**Educación y divulgación:** para esto se pueden utilizar varios medios, ya sea por medio de conferencias magistrales, talleres, folletos afiches, programas por medios de comunicación (radio, televisión y prensa). En la actualidad la Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias a través de la Oficina de Prensa y de la Sección de Capacitación han implementado programas para que la población conozca sobre las áreas de amenaza y cuales son las medidas.

**Tabla No. 7**  
**Evaluación preliminar de daños por efectos de Inundación**  
**Hoja de campo por comunidad**

Cantón	Distrito			Comunidad	
Infraestructura afectada	Condición de la obra (daños)			Total	Tipo de solución
	Destruida	Parcial	Leve		
Viviendas					
Acueductos					
Captaciones					
Represas menores					
Puentes peatonales					
Puentes vehiculares					
Torres de comunicación					
Centros educativos					
Beneficios					
Otros					
Describe el área afectada					
Comunidades afectadas (Total)	Familias afectadas				
	Sin hogar	Evacuación temporal	Reubicación	Sin servicios básicos /agua-luz	

**Programas de recuperación de cuencas:** reforestación, protección a la erosión, ordenamiento territorial.

**Zonificación de la llanura de inundación:** cuyo producto puede ser aplicado por medio de un plan regulador que favorezca un uso adecuado del sector bajo amenaza de inundación. Como por ejemplo se presenta a continuación una zonificación idealizada de una llanura de inundación de cualquier región.

- ♦ **Zona prohibida:** Parte esencial del área de desagüe, no se permite obras de desarrollo, solamente la utilización no estructural, o sea un uso que no implique la construcción de ningún tipo de infraestructura o bien construcciones especiales, como ganadería, cultivos estacionales, parques entre otras.

- ◆ **Zona restringida:** No son demasiado frecuentes las inundaciones, las velocidades suelen ser bajas. Se deben permitir un desarrollo limitado de la construcción y actividad agrícola planificada. La limitación en las construcciones no solamente debe ir orientada a la densidad, sino también a los criterios de diseño.
- ◆ **Zona de simple advertencia:** las inundaciones son sumamente raras. La construcción debe realizarse conociendo que existe la posibilidad de algún tipo de afectación.

### **5.1.8 Esquema de gestión para la construcción de obras en ríos**

En los últimos años se ha corroborado que las obras que se han efectuado a lo largo y ancho de todo el país tanto en diques, puentes, espigones entre otras, no han resultado como se ha deseado. Indudablemente la inversión en cualquier tipo de obra es muy alta y no se asegura la protección de la comunidad amenazada y se expone nuevamente a un desastre mayor.

Por lo tanto, se propone al menos que en el futuro se establezcan para cualquier obra que se efectúe en un cauce al análisis que se detalla en esta sección.

El análisis de la Amenaza por inundación en la Zona de Los Santos, se caracteriza por ser un área muy reducida, principalmente por las características mismas de la cuenca hidrográfica del Río Pirris, donde se presentan dos Valles bien definidos: Copey y Santa María de Dota que han sido modelados a través de la historia, donde se han dado depositaciones de rocas y sedimento.

A lo largo del cauce desde Santa María de Dota hasta el sector conocido como Bajo Tabacales la sección hidráulica se reduce y se profundiza el cauce del río.

Por lo tanto, en esta sección la propuesta es que sirva de partida para cualquier obra que se requiera realizar en los diferentes ríos del territorio nacional, considerando las medidas y del análisis general de inundaciones indicado.

Es importante mencionar que las medidas implementadas se diseñan basándose en criterios tales como períodos de retorno o en base a criterios basados en inundaciones previas. Sin embargo, las medidas deben considerarse como medidas que tienen limitaciones. No hay ninguna medida totalmente a prueba de cualquier inundación de cualquier magnitud, pero sí hay medidas que se implementan para resistir los impactos de inundaciones y crecidas de dimensiones calculadas.

Las obras diseñadas para la prevención de inundaciones son por lo general de alto costo debido a sus dimensiones y debido a los estudios técnicos que requieren.

En cualquier caso, el diseño de medidas a implementarse se basa en una relación de costo-beneficio.

En el caso del Estado, las obras de prevención se diseñan para la protección de comunidades, líneas vitales e infraestructura estatal. En estos casos no se puede hablar de costo-beneficio en términos monetarios, dado que nadie puede definir el costo de las vidas humanas de comunidades en riesgo.

En el caso de líneas vitales la relación costo-beneficio se puede calcular asociando el costo de protección de las líneas versus la creación de líneas alternas o versus el costo de establecer nuevamente las líneas si son destruidas por inundación. Es importante notar que en este caso hay que asignar un valor también al servicio que se está dejando de prestar mientras se reconstruye o rehabilita la línea vital.

El procedimiento de gestión para la construcción de las obras de prevención abarca tres componentes.

- 1. Estudios hidrológicos y estudio de riesgo**
- 2. Diseño técnico de obras de prevención**
- 3. Construcción de las obras.**

#### **5.1.8.1 Estudios hidrológicos y estudios de riesgo**

Los estudios hidrológicos tienen como finalidad hacer una caracterización de tránsito de avenidas de distintas dimensiones, así como, la caracterización de la correlación entre la dimensión de la avenida y su período de retorno.

Esta información sirve a los tomadores de decisión para solicitar el diseño y construcción de medidas que se ajusten a presupuestos tomando en consideración períodos de retorno de 20 a 50 años. Como es de esperarse, el costo de las obras depende de la dimensión de la crecida para la cual se está creando la obra.

Como parte adicional en los estudios hidrológicos se contempla estudios hidrogeológico, necesarios para determinar y caracterizar el tipo de medida a implementarse. La hidrogeología se torna importante en el caso de ríos que tiene capacidad de arrastrar arena o rocas de dimensiones variables que yacen en la cuenca alta, en los lechos de los ríos. La relevancia de material arenoso o rocoso suspendido radica en el poder erosivo que puede tener efectos dañinos en las bordas a implementarse, o bien en el relleno paulatino de canales de dragado recién construidos.

Los estudios hidrológicos comprenden el análisis de la respuesta hidrológica de la cuenca, que se conforma de la precipitación pluvial y su descarga por los afluentes y ríos hasta su desembocadura en el mar.

La información recopilada durante varias décadas de precipitación, así como, de niveles de río en varios sitios que abarcan la cuenca alta, media, y baja, son necesarios para determinar los caudales típicos.

En contraste, la información relacionada con precipitaciones y niveles en casos de huracanes y tormentas de gran dimensión son de gran utilidad para determinar los caudales máximos, así como mapas de inundación.

Cuando se cuenta con información hidrológica y climática que abarque más de cinco décadas se puede caracterizar períodos de retorno para eventos característicos que se presentan con períodos de retorno de cinco años asta eventos que tiene períodos de retorno de medio siglo.

Como resultado de los estudios hidrológicos se obtiene una caracterización de las crecidas representando en caudales y niveles de altura del agua en puntos específicos. En un futuro cercano, con la incorporación de tecnologías para la creación de mapas digitales de alta resolución utilizando interferometría con radar, se podrán crear mapas de inundación integrando información hidrológica a la cartografía digital de elevación de terreno.

Con estas herramientas será posible dimensionar medidas tales como estructuras de gaviones, espigones y dragados, simular inundaciones por computadora y determinar en forma teórica escenarios de crecidas con tiempos de retorno mucho mayores a los contemplados.

Una vez completados los estudios hidrológicos, especialistas en gestión de riesgo proceden a utilizar la información generada en estos estudios para determinar la amenaza que representa para comunidades e infraestructura inundaciones de distintas magnitudes.

La determinación de la vulnerabilidad en las infraestructuras creadas por el hombre con relación a la inundación se lleva a cabo mediante estudios de campo para completar el estudio de riesgo, en el cual se integran la amenaza, la vulnerabilidad y las medidas de preparación creadas para responder en forma eficiente en caso de inundaciones.

#### **5.1.8.2                   Diseño de obras de prevención**

Tomando como base los estudios hidrológicos y de riesgo se procede a diseñar el tipo de medida a ser implementada para prevenir las inundaciones y desbordamientos. Los criterios que se usan para el diseño son:

- ◆ Caudales y niveles para los cuales se dimensiona la obra, los cuales se relacionan con los períodos de retorno de dichos eventos.

- ◆ Caracterización físico-química de los caudales para determinar el poder erosivo que puede tener una crecida sobre las medidas a implementarse, así como para determinar el poder de asolvamiento que puedan tener las crecidas.
- ◆ Descripción geotécnica de los suelos en las márgenes de los ríos donde se pretende establecer las obras para determinar la estabilidad de las mismas.

### 5.1.8.3 Construcción de las obras

Normalmente se diseña una serie de medidas que en forma integral puede resolver el problema de inundaciones. Las mismas se han implementado con buenos resultado en muchas comunidades siendo los:

- ◆ **Dragado de cauces**
- ◆ **Construcción de obras de distintos tipos**
- ◆ **Construcción de presas para el control temporal de avenidas.**

El dragado es una medida que se implementa en aquellos casos en los cuales el asolvamiento ha disminuido la capacidad de descarga del cauce y se desea recuperar dicha capacidad.

Los trabajos de dragado se llevan a cabo empleando maquinaria pesada especializada para este fin, aunque en casos en los cuales la obra es de dimensiones pequeñas se puede utilizar retro-excavadoras.

### 5.1.8.4 El diseño técnico

El diseño técnico específico de obras a implementarse es llevado a cabo por una firma de ingeniería que cuente con personal especializado en las ramas de ingeniería civil, ingeniería hidráulica, ingeniería estructural, hidrología, geología, topografía, dibujo técnico y planificación, donde debe incluir como mínimo:

- ◆ Planos estructurales de la obra a ser construida
- ◆ Cálculos estructurales e hidráulicos que reflejen la validez del diseño propuesto para el tipo de desbordes que se debe prevenir.
- ◆ Estudios topográficos y levantamiento de nivelación en las riberas del río para dimensionar en forma adecuada la obra
- ◆ En el caso obras, se debe efectuar un análisis de suelos para determinar la estabilidad de los mismos y así garantizar que los suelos son aptos para sostener la obra que se pretende construir encima.
- ◆ Fuentes bibliográficas sobre estudios hidrológicos y de riesgo empleados para el diseño técnico.
- ◆ Especificaciones técnicas de maquinaria o equipo a ser utilizado en la construcción de la obra.

- ◆ Especificaciones de material a ser utilizado en la construcción de obras, por ejemplo, especificaciones técnicas de gaviones, dimensiones de rocas, tipos de cemento, hierro entre otros.
- ◆ Obras preliminares de carácter estructural (mejoramiento de rutas de acceso para maquinaria pesada) para la construcción de la obra.
- ◆ Tiempos estimados para la construcción de las obras, preferentemente especificadas por fases.

La información presentada de esta manera servirá a la entidad que está contratando a una determinada empresa para la construcción de las obras en un cauce los estudios necesarios y obligaciones, con la finalidad de prevenir obras mal diseñadas por falta de estudios técnicos.

## **5.2 AMENAZA POR DESLIZAMIENTO O DERRUMBES**

El análisis que se efectúa en este capítulo se puede aplicar a lo largo de todo el territorio nacional con respecto a problemas de inestabilidad de laderas y deslizamientos o derrumbes. Ver en anexo los mapas topográficos de las hojas Carraigres, Dora, Tapanti, Vueltas, donde se indican los áreas de deslizamiento de la zona.

El incremento de desarrollos habitacionales, construcción de obras en ladera y la actividad normal del hombre a provocado que se den desequilibrios importantes en el ambiente. Los mismos, han propiciado una fuerte alteración en áreas laderas y la región de estudio es un fiel reflejo de la fuerte intervención del hombre donde a provocado erosiones intensas, deslizamientos y una alta deforestación en casi la totalidad de la cuenca hidrográfica del Río Pirris. La apertura de caminos, acueductos, explotación de tajos, desarrollos urbanísticos están incrementando la inestabilidad de las laderas en la región.

El problema surge cuando el hombre, con su actividad constructiva y destructiva, se encarga de alterar el ambiente y por consecuencia, se pueden acelerar otros procesos siendo necesario tener claro el concepto de que el hombre, ante casi cualquier situación que plantee, sobre todo cuando se trata de desarrollo material, termina por alterar el ambiente de una u otra forma.

Los efectos de los movimientos por falla del terreno son generalmente graves, dado que causan pérdida de vidas humanas, viviendas, cultivos y la destrucción parcial o total de sistemas vitales para la comunidad tales como carreteras, acueductos alcantarillados, líneas de transmisión eléctrica y en otras regiones tubería del poliducto y líneas ferroviarias.

### **5.2.1 Característica de los deslizamientos o derrumbes y sus implicaciones en la sociedad costarricense.**

El término deslizamiento se utiliza de manera general para designar el movimiento de rotura del terreno hacia abajo y hacia fuera de la pendiente. Esta definición, aunque sencilla, puede denotar a veces un fenómeno muy complicado, tanto por sus causas y la diversidad de mecanismos que producen la falla del terreno, como por las consecuencias de la falla y las características abarcadas en su corrección

Los deslizamientos o típicamente conocidos como “derrumbes” obedecen a muchas causas tales como condiciones naturales como antrópicas. En condiciones estáticas las características predominantes para que se de este tipo de evento es la presencia de pendientes fuertes sobre el terreno en combinación con las características propias del suelo y/o rocas (consistencia, inclinación, aguas subterráneas, tipos de material, alteración) además de la fuerza de gravedad.

En ingeniería un terreno inclinado recibe el nombre de talud y a los taludes naturales se les llama laderas. Cuando se excava para construir viviendas o estructuras de ingeniería o se rellena una cierta área quedan taludes artificiales.

En este sentido, un deslizamiento o derrumbe se puede definir como un movimiento pendiente abajo lento o súbito de una ladera constituida por una masa de materiales naturales (roca y/o suelo, vegetación) o bien rellenos artificiales que se resbalan pendiente abajo debido a la intervención de factores naturales o acciones humanas.

Además, del factor antrópico una de las causas que con más frecuencia genera deslizamientos, son las vibraciones producidas por la actividad sísmica en asocio de condiciones físicas calificadas, como grado o inclinación de laderas, tipo de material, humedad y rellenos.

Los efectos de los movimientos por falla del terreno son generalmente graves, dado que causan pérdida de vidas humanas, destrucción parcial o total de viviendas, cultivos generando una crisis importante debido a que son sistemas vitales para la comunidad.

Afirmar cuáles de los deslizamientos localizados en el territorio nacional ponen en grave peligro la integridad de comunidades, es apresurado; ya que el eventual activamiento de algunos de ellos, además, de sopesarse en términos de impacto inmediato acarrearían consecuencias impredecibles a un amplio rango de actividades.

Evidentemente algunos de ellos, en consideración a su cercanía a comunidades y a su impacto en líneas vitales, revisten peligrosidad y requerirían un seguimiento detallado. Debemos considerar que los deslizamientos que ocurrieron en el pasado, dieron origen a los depósitos de ladera, que por su origen mismo son muy susceptibles a deslizamiento.

Algunos de los sitios con deslizamientos más conocidos se hallan precisamente en localizaciones consideradas de riesgo para desarrollos cercanos. Esta lógica preocupación ha llevado a que por diversos medios se discuta y analice las potenciales consecuencias de su ocurrencia; aunque realmente muy poco o casi nada se ha hecho para estabilizarlos y así reducir su impacto en el medio.

Los terremotos también pueden causar deslizamientos. Cuando actúan las ondas sísmicas pueden derrumbarse los suelos poco densos o las rocas muy fracturadas; o se pueden inducir presiones extraordinarias en el agua que ocupa los vacíos "poros" de los suelos y los intersticios de las rocas. Estas presiones pueden crecer tanto que llegan a anular los esfuerzos efectivos y el terreno se desliza; en algunos casos fluye prácticamente lo cual se denomina licuación del suelo.

En ocasiones la falla del talud no ocurre durante el sismo, pero, este deja tan debilitado al talud que la acción de otro fenómeno o proceso, aunque sea de poca magnitud, produce el deslizamiento más tarde.

Asimismo, la sismicidad reciente (1990-1991) registrada en las inmediaciones de Santiago de Puriscal y Limón, generó procesos asociados precisamente sobre terrenos que mostraban parámetros físicos y de uso del suelos inadecuados; considerados como deteriorantes, algunas de estas evidencias se presentaron en los alrededores del sector de Llano de la Piedra en Tarrazu de acuerdo con versiones de algunos vecinos.

Un caso particular corresponde a la reparación de la carretera Dota-Copey, que en los últimos años ha generado serios inconvenientes debido a los desprendimientos de rocas y suelo dejando incomunicados a las comunidades aledañas a Copey.

Independientemente, del tipo de ladera de que se trate, las causas de las desestabilizaciones son comunes, al igual muchas veces, que sus consecuencias.

Respecto a esto último, no debe dejar de considerarse que las zonas afectadas no se limitan únicamente al área aledaña a la propia zona inestable, sino que por lo general, las consecuencias se extienden tanto a las zonas topográficamente superiores como a las inferiores, lo que trae como resultado un determinado costo socioeconómico.

En realidad esas causas naturales o artificiales lo que hacen es reducir la resistencia de los materiales que forman el talud o imponer en el interior del talud unos esfuerzos que por su magnitud y la dirección en que actúan pueden llegar a superar la resistencia y así producen la falla del talud.

Los factores de litología, estructuras, factores hidrogeológicos, sismicidad, conforman tan solo algunas de las etapas geomorfológicas normal o sea el equilibrio geológico.

En muchos casos en medios montañosos ocurren movimientos de tierra que afecta grandes extensiones de tierra, generando un impacto ecológico, esto debido a la pendiente, la altura de los taludes naturales o laderas.

Cuando los geólogos e ingenieros diseñan el talud de una excavación han determinado cual es la resistencia al corte de los materiales del talud y cuales son los esfuerzos que se inducirán con la excavación y se buscaran que estos sean menores que aquella en alguna relación que es precisamente la que da el margen o factor de seguridad.

Así mismo, se introducen las obras preventivas del posible deslizamiento por ejemplo un buen diseño en el sistema de drenaje o de contención.

Si ya se dio un deslizamiento, se buscarán las medidas correctivas aumentar la resistencia al corte o reducir los esfuerzos inestabilizantes.

Para ello, deben auscultar el terreno mediante inspección directa, exploración en profundidad, toma de muestras y ensayos de laboratorio, hallar las causas de la inestabilidad, analizarlas en relación con las posibles medidas correctivas y diseñar el sistema correspondiente.

En los últimos años el crecimiento y la expansión rápida de la población costarricense en las zonas expuestas a amenazas es causa de preocupación para los tomadores de decisiones.

Hay dos posibilidades fundamentales para la prevención y mitigación ante un deslizamiento, la primera pretende desviar el desarrollo desde las zonas expuestas por una amenaza hacia lugares más seguros, la segunda comprende medidas estructurales encaminadas a resistir o alejar los efectos de los fenómenos naturales.

Esto hace pensar en una necesidad o forma de planificación física y más especialmente, el control del aprovechamiento de la tierra que contribuye a reducir tanto el riesgo ante los deslizamientos como la vulnerabilidad de los asentamientos humanos. Con fines de prevención de desastres debe basarse lógicamente en el conocimiento de las amenazas naturales existentes y de los riesgos de desastre que de ellos pueden derivarse.

### **5.2.2 Criterios de clasificación**

En realidad y desde el punto de vista técnico, el deslizamiento es solo uno de los diversos tipos de movimientos de falla del terreno, que se distinguen no solo por la forma del movimiento sino por la clase de material involucrado, pueden variar en origen y magnitud, desde la perturbación de la capas superficiales de terreno, en las cuales han actuado con mayor intensidad los agentes de meteorización, hasta los desplazamientos profundos de grandes masas de suelo, vegetación y roca.

Entre los criterios a utilizar para el análisis de un deslizamiento es necesario que el profesional tenga pleno conocimiento sobre los aspectos generales de geología, así mismo, es indispensable el reconocimiento geológico del área para interpretar los aspectos y parámetros que pueden provocar un deslizamiento de tierra; incluso generar ideas de aquellos problemas de inestabilidad que pueden darse en determinadas áreas cercanas.

- ◆ Tipo de movimiento
- ◆ Clase de material involucrado
- ◆ Tasa de movimiento
- ◆ Geometría del área de ruptura

- ◆ Depósito resultante (producto)
- ◆ Edad
- ◆ Causas del movimiento
- ◆ Relación entre geometría del deslizamiento y la estructura geológica
- ◆ Grado de desarrollo
- ◆ Localización geográfica de casos históricos
- ◆ Estado de actividad e intervención humana

### **5.2.3 Tipos de movimiento**

Los deslizamientos pueden tomar diversas formas y los mismos son definidos en seis grupos principales, propuestos por J. Varnes (1974), Mora & Mora (1994).

Varnes (1974), relaciona los tipos de movimientos con tipos de materiales divididos en dos clases: roca y suelo (detríto o residual)

#### **1. Caídas (Falls)**

Involucra desprendimiento de una masa de cualquier tamaño de una ladera empinada. Se caracteriza por ser movimientos rápidos o extremadamente rápidos.

Este tipo de desprendimiento se da a lo largo de una superficie, donde previamente no hubo deformación y donde los materiales involucrados pueden ser rocas o detrito y suelo.

Los lugares más típicos son: (Túnel Zurquí-Río Sucio), Costanera Sur (Dominical - Ciudad Cortes) y Tejar - Palmar Norte y la reconstrucción de la ruta entre Santa María de Dota Y Copey..

#### **2. Vasculamiento (topples)**

Este tipo de movimiento involucra rotación hacia adelante de una unidad o varias sobre un pivote, bajo la acción de la gravedad y fuerzas ejercidas por unidades de rocas adyacentes y la sollicitación dinámica (sismos).

Los vasculamientos pueden o no culminan en caídas de rocas o deslizamientos, esto depende de la geometría de la masa fallada y de la orientación y extensión de las discontinuidades.

En el área de estudio no se presenta este tipo de movimiento

### 3. Deslizamientos (Slides)

Fenómenos en que los movimientos se desarrollan a lo largo de varias superficies de ruptura.

#### **Deslizamientos rotacionales**

Son pequeñas deformaciones de los depósitos por deslizamientos, los cuales son deslizamientos a lo largo de superficies de ruptura que es cóncava hacia arriba donde contiene todo tipo de discontinuidades, tiene forma de cuchara. Frecuentemente las formas de la superficie están grandemente influenciadas por fallas, diaclasas, estratificaciones u otras discontinuidades preexistentes.

La creación de escarpes de fuerte pendiente (subverticales) y trampas de agua, estos por lo general son rellenado por depósitos de los deslizamientos (vasculamiento), donde frecuentemente son encontrado en área perpendiculares a la zona de inestabilidad, formando represas naturales donde se mantiene húmedo.

El ejemplo tipo es el Deslizamiento Llano de Piedra generado durante el paso de Huracán Cesar (28 de julio de 1996).

#### **Deslizamientos traslacionales (Traslational slides)**

Este tipo de movimiento presenta una superficie más o menos plana o suavemente ondulada. No existen oposiciones al movimiento y puede moverse indefinidamente.

El movimiento de los deslizamientos traslacionales están comúnmente controlados estructuralmente por discontinuidades tales como fallas, diaclasas, estratificaciones y diferencias en la resistencia del material, así como, diferencia de contactos.

### 4. Deslizamientos por separaciones laterales

Se dan extensiones laterales favorecido por factores de corte y dos tipos pueden ser distinguidos:

- a) Los movimientos están distribuidos en una gran extensión y no hay superficie de corte bien definida. Típico separación lateral de roca.
- b) Hay fracturamiento y extensión del material que subyace la roca blanda y causa flujo de la roca y licuefacción. Puede darse subsidencia, rotación y disgregación en las unidades superiores.

Este tipo de deslizamiento es complejo y puede ocurrir en suelos detríticos, además de que puede licuarse o fluir. Las posibles causas son:

- Existencia de materiales de resistencia baja
- Exceso de presión de poro por flujo
- Pendientes moderadas y por efectos de sismos

## 5. Flujos

Muchos ejemplos de movimientos de deslizamientos no pueden ser clasificados como caídas, volcamiento, deslizamientos y separaciones. En materiales inconsolidados, estos generalmente toman la forma de flujos que pueden ser rápidos o lentos, secos o húmedos.

### 6. Deslizamientos Complejos

Movimientos complejos (complex). Combinación de dos o más tipos principales de movimientos.

### 7. Deslizamientos retrogresivo:

Se refiere a un flujo que se desliza en un punto y aumenta de tamaño en la dirección opuesta al movimiento.

#### **5.2.4 Clasificación del deslizamiento de acuerdo con la tasa deslizada.**

Es muy conveniente saber que los deslizamientos y flujos pueden ser lentos, rápidos y extremadamente rápidos, según la topografía, el tamaño de la masa de suelo o roca afectada, el modo de falla y la acción del agua entre otros factores.

En determinadas circunstancias un deslizamiento puede complicarse o agrandarse a partir de un primer caso simple que después se repite en sucesión o cambia de modo de movimiento.

En el extremo de los flujos las avalanchas son muy comunes, debido a su poder de arrastre, velocidad y capacidad de causar daño están las avalanchas de detritos que consisten en el movimiento muy rápido de masa de materiales gruesos, tales como grandes bloques de roca, grava y arena, con ciertas cantidades de suelos finos-limo y arcilla junto con agua y aire atrapado. Pueden contener árboles y otra vegetación arrancada de cuajo, restos de estructuras y cuerpos de personas o animales que por infortunio encontró a su paso.

Para que se produzcan las avalanchas es necesario que exista una provisión de materiales en posibilidad de deslizarse (zona de suministro o fuente de materiales), una diferencia de nivel proporcionada por el relieve sobre el cual se desplazan y que influye en la energía y velocidad que pueden adquirir y la acción del agua, necesaria para que los materiales pierdan resistencia y fluyan alcanzando mayor capacidad de movimiento y más energía

Al desplazarse aumenta el volumen de la avalancha por incorporación de materiales sueltos o los que desprende del fondo y paredes del cauce. Después de abandonar la zona de flujo canalizado y llegar a zonas de pendiente más suave se desparrama y deposita en forma característica de abanico con bordes lobulados inundando con lodo y rocas los espacios disponibles.

### **5.2. 5 Factores que influyen en la generación de deslizamientos.**

Los deslizamientos en el área se localizan con mayor frecuencia en áreas donde la topografía es más pronunciada o empinada, zonas de alta sismicidad y que están siendo o han sido muy afectadas por las fallas geológicas. Todas las áreas sometidas a erosión activa son muy susceptibles a deslizamiento, donde las corrientes de agua están haciendo incisión permanente o la deforestación por acción humana transcurre en forma creciente.

También pueden esperarse condiciones muy desfavorables en las áreas donde han ocurrido deslizamientos en el pasado. Similar al caso de las fallas geológicas, en la superficies o zonas por donde ha ocurrido el cizallamiento del terreno se ha reducido la resistencia al corte y una alteración que se efectúe hoy en día, puede reactivar el deslizamiento con relativa facilidad.

Los deslizamientos son acelerados por factores externos como:

#### **5.2.5.1 Actividades humanas (antrópicos)**

El alto crecimiento de la población y el uso inadecuado de laderas en cultivos tales como café y ganadería, caso de la zona de Los Santos, ha traído como consecuencias que cada vez sea mayor la cantidad de obras que se construyen en terrenos de fuerte pendiente o donde las condiciones son inadecuadas tales como: (carreteras, viviendas en laderas, represas, acueductos), así como la utilización de prácticas inadecuadas en la agricultura en suelos poco aptos para dichos objetivos, favoreciendo de esta forma el proceso de erosión intensa (remoción de las partículas del suelo por efecto de factores externos) y deslizamientos.

Además, en su mayoría no se utilizan prácticas de manejo que ayuden a detener los deslizamientos (barreras vivas, muros de contención, terrazas, surcos). Otro problema que incrementa la aceleración de los deslizamientos es la tala irracional de montaña para ser utilizada para cultivo y además el uso excesivo del suelo en ganadería (sobrepastoreo).

### 5.2.5.2 Factores naturales

Dentro de los factores naturales externos e internos que intervienen en la aceleración y provocación de los deslizamientos son:

- Sismicidad
- Volcanismo
- Lluvias fuertes
- Aguas subterráneas
- Presencia de arcilla y de la combinación de los factores anteriores

Cuando ocurre un sismo provoca que las **vibraciones sísmicas** aceleran el movimiento del terreno, ocasionando de manera repentina, deslizamientos de laderas, como los originados en los terremotos de Pérez Zeledón (1983), Puriscal (1990) y Limón (1991). En áreas donde la sismicidad es frecuente es común la presencia de éstos, sobre todo en áreas de fuerte pendiente.

La **altas precipitaciones** en combinación con el tipo de suelos muy alterados (arcillas), fomenta la formación y aceleración de los deslizamientos, ya que en un suelo arcilloso se satura por la cantidad de agua recibida, se hace más pesado y unido con el grado de pendiente existente se puede deslizar.

Es importante tener en cuenta que de acuerdo con el movimiento de las masas del terreno y/o rocas, los deslizamientos se clasifican en:

#### 5.2.5.2.1 Deslizamientos rápidos

Los deslizamientos rápidos la velocidad de generación es tal que la caída de todo el material puede darse en pocos minutos o segundos. Su dimensión suele ser de pequeños a medianos y son muy frecuentes durante las épocas de lluvias o actividad sísmica intensa.

Este tipo de deslizamiento es muchas ocasiones es difícil de identificar a priori, por lo que han ocasionado importantes pérdidas materiales y personales.

Los deslizamientos rápidos ocurren en segundos o minutos, estos alcanzan altas velocidades y tienen un alto poder destructivo. Algunos deslizamientos rápidos son: Chiz de Turrialba, Barrio Corazón de Jesús, Campabadal, Lagunas de Arancibia 1993-2000, Ortiga de Acosta, Las Cloacas de Heredia, San Jerónimo de Tibás, IMAS Los Guido y la Campiña (Montes de Oca), Cerro Mondongo (Golfito) y Zapotal de Pérez Zeledón, Calle Los Guzmán y Villegas en Puriscal, Llano de Piedra (Tarrazu), San Rafael (Santa María de Dota).

### **5.2.5.2 Deslizamientos lentos**

Los deslizamientos lentos su velocidad de movimiento es tal que no se percibe, pueden ser unos pocos centímetros al año, su identificación es de forma indirecta por medio de una serie de características marcadas en el terreno y se mueven en períodos de días o años.

Se caracterizan por transportar gran cantidad de materiales e incluso asentamientos humanos, caso de la comunidad de San Cayetano, distrito de San Carlos en Tarrazu o el deslizamiento Santiago de Puriscal.

Evidencias que muestran la presencia de un deslizamiento lento son: inclinación de los árboles a favor de la pendiente, cercas, agrietamiento en viviendas, daños en carreteras, iglesias, ruptura en tubería de acueductos, poliductos y fisuras en general, entre estos tenemos los más conocido de Costa Rica son Puriscal, San Blas, Tapezco, Asentamiento Neda, Blanco y Negro en Turrialba, Matinilla y Peñas Blancas (Esparza) y en menor escala el de San Cayetano en Tarrazu.

### **5.2.6 Registros históricos en el área**

En los últimos años, muchos casos de deslizamientos ya han sido evaluados y han ocasionado destrucción e incluso muertos, siendo noticia a nivel nacional, donde se identifica que existe una pobre acción de los tomadores de decisiones en cuanto a políticas de planificación y de poco interés para dar una solución satisfactoria a estas familias ubicadas bajo amenaza este tipo de amenaza. Ver tabla No. 8

### **5.2.7 Efectos de los deslizamientos.**

Los efectos de los deslizamientos son variables y depende de la magnitud, cantidad de material y obras civiles existentes dentro del entorno de afectación directa o en dado caso su efecto indirecto por represamiento, flujo de lodo y su posible afectación en las partes más bajas.

Es evidentemente, que la acción desestabilizadora por la actividad humana es cada día más intensa, en especial por la construcción de nuevas carreteras, caminos para ingresar a las fincas de café, acueductos, urbanizaciones sin respetar normas de diseño, explotación de tajos, canteras y bosques.

**Tabla No. 8**  
**Los deslizamientos más comunes en la Zona de Los Santos**

<b>Cantón</b>	<b>Lugar de afectación</b>	<b>Fecha de ocurrencia</b>	<b>Origen por:</b>	<b>Efectos</b>
Tarrazu	Llano La Piedra-Tarrazu-Dota	28 de julio de 1996	Huracán César	11 casas destruidas 11 personas fallecidas
	San Rafael-Tarrazu	1955	Huracán	3 personas fallecidas 1 casa destruida
	San Cayetano-Tarrazu	1996	Huracán César	15 casas con daños menores
Santa María	Río Blanco-Santa María	1955-1996	Huracán	1 casa dañada
San Pablo	Carrizal-San Pablo			3 casas destruidas
	Tejitas-Tarrazu	1996	Huracán César	1 casa destruida

Fuente; Julio Edo. Madrigal Mora-CNE, 2002

Dentro de los efectos más comunes podemos citar:

- ◆ Destrucción de laderas (agrietamiento, fracturas, escalones)
- ◆ Erosión de materiales
- ◆ Destrucción de infraestructura (puentes, casas, carreteras, acueductos)
- ◆ Sepultamiento de personas y animales.
- ◆ Cambios en la morfología de un río
- ◆ Generación de represamientos en cauces de quebradas y ríos
- ◆ Avalanchas.
- ◆ Daño e impacto al medio ambiente
- ◆ Cambio en la morfología del terreno

### **5.2.8 Identificación en el campo**

Para la identificación de los deslizamientos o derrumbes en el campo se requiere en cierta medida de la experiencia y conocimiento general del área, así como, de los antecedentes o fenómenos que han ocurrido en la región.

Dependiendo del profesional y del grado de conocimiento los siguientes son los pasos, pero, no los únicos de acuerdo al autor, dado que dependiendo de la magnitud y ubicación se pueden identificar fácilmente:

- ❖ Inicialmente su verificación se puede efectuar en un mapa topográfico de curvas de nivel (aspecto de topografía) y el entorno, para delimitar el área.
- ◆ Agrietamientos en el terreno donde se observa un diseño tipo herradura
- ◆ Casas con daños anteriores relacionados a sismos o ya destruidas
- ◆ Pisos, paredes, aceras, columnas fisuradas.
- ◆ Lagunas o terrenos muy cienegosos
- ◆ Hundimientos tipo “zanjas”, que incluso pueden ubicarse viviendas completas o cualquier tipo de infraestructura.
- ◆ Inclinación en los piso.
- ◆ Puertas y ventanas que no cierran
- ◆ En las esquinas de las ventanas y puertas pequeñas fisuras tipo “zig-zag”
- ◆ Escalones o gradas de cualquier altura
- ◆ Taludes muy verticales y montañas desplazadas
- ◆ Árboles, postes inclinados o volcados
- ◆ Los postes de las cercas y cables tensos y desplazados.
- ◆ Carreteras, líneas ferroviarias o caminos con hundimientos en dos extremos
- ◆ Ruptura de tubería de acueductos, poliductos entre otros
- ◆ Salida de agua tipo “lloradero” de las paredes del talud.
- ◆ Grietas muy continuas
- ◆ Flujos de lodo en forma de ovalo
- ◆ Cárcavas importantes dentro del terreno debido a la erosión

### **5.2.9 Impacto psicológico ante la ocurrencia de un deslizamiento**

Es un hecho, que el impacto psicológico inesperado en una comunidad o familia es alta, principalmente si se han observado escenas de otros lugares sin percatarse que en un momento determinado usted o la familia es participe clave de un evento como lo son los deslizamientos o derrumbes.

A la mente de cada familia se dan los recuerdos de pérdida de bienes, o lo más crítico aun es cuando hay personas fallecidas. En el pensamiento de cada persona o familia se inicia una serie de preguntas: tanto que costo construir la casa, deudas y lo más difícil ¿a donde nos vamos a trasladar?, es el único pedacito de tierra que tenemos; en estas circunstancias para el profesional la veracidad de los hechos y los posibles efectos a futuro es la de plantearle al afectado o comunidad el traslado o reubicación.

Pero, realmente nos hacemos esta pregunta: ¿Esta el estado en la capacidad de reubicar tantas familias que se ubican dentro de áreas de deslizamiento y que realmente están ya identificadas?

Es difícil, para uno como profesional visitar estos lugares donde en años anteriores se ha identificado la amenaza y no se descarta que en el futuro se produzca un efecto mayor de destrucción, en donde no se ha dado ninguna solución.

En la mayoría de los casos ya identificados es muy lamentable reconocer que las instituciones del estado, encargados de evaluar y efectuar los estudios socioeconómicos de cada caso, al menos, se les ha informado por medio de informes técnicos sobre la situación de las familias o grupo de familias que están expuestas a un desastre por deslizamiento.

Debemos ser conscientes que si un deslizamiento ocurre en:

- ◆ Carretera o camino vecinal no trate de cruzar, ya que en muchos casos más si esta lloviendo es muy frecuente que se originen flujos o desprendimientos de terreno que sepulsen todo a su paso, siendo necesario avisar a otros conductores y a las autoridades respectivas sobre el problema, alejándose del lugar lo máximo posible.
- ◆ Antes de regresar a la vivienda o cualquier tipo de infraestructura que ha sido afectada o presente ciertos problemas por deslizamiento, espere a que se realice una valoración técnica del lugar por parte de profesionales calificados
- ◆ Identifique sin acercarse demasiado si existe otra infraestructura afectada o en peligro (tendido eléctrico, acueductos, tubería de aguas negras, notifíquelo de inmediato.
- ◆ De haberse dado un deslizamiento en un ladera y cerca a un cauce (río, quebrada) es factible que se origine un represamiento dependiendo de tipo y cantidad de material deslizado, de observar esta situación, es necesario informar de inmediato las autoridades, dado que se puede producir una avalancha que pueda generar mayor destrucción en las partes inferiores.

### **5.2.10 Análisis de la vulnerabilidad de zonas afectadas**

Costa Rica y principalmente la región de Los Santos, se caracteriza por un contraste de condiciones topográficas importantes (altas pendientes, montañas), que atraviesa prácticamente toda la región, características geológicas (suelos poco cohesivos, elevada actividad sísmica) y condiciones climáticas (fuertes lluvias y temporales periódicos), en conjunto con los factores antrópicos (uso irracional del suelo, cortes de caminos, carreteras nacionales), en conjunto engloba una región muy susceptible a este tipo de amenaza que son los deslizamientos.

Debido a ello, la zona de Los Santos, en los últimos años ha sido participe de un gran incidencia de problemas de inestabilidad de laderas, esto debido al uso inadecuado de laderas de fuertes pendientes para el cultivo del café, siendo una amenaza muy común y en muchos casos pasa desapercibida, por ser un elemento corriente, en especial durante las épocas lluviosas y de intensa actividad sísmica.

Existen deslizamientos activos que afectan directa o indirectamente la población, caso de San Cayetano en Tarrazu y otros que aunque parte de su masa permanece inactiva, pueden generar flujos dependiendo de la cantidad de lluvia y actividad sísmica. No obstante esta no es razón suficiente para creer que los mismos no pueden generar problemas en cierto momento.

Vale la pena mencionar también la enorme cantidad de deslizamientos generados durante las construcciones y operación de las carreteras Santa María-Copey.

Por otra parte, recientemente se han comenzado a multiplicar los problemas de los deslizamientos en áreas donde la presión urbana ha inducido a la ocupación de laderas potencialmente inestables, caso de las viviendas ubicadas al costado sur de la Delegación en San Marcos de Tarrazú .

Los análisis de vulnerabilidad de las zonas propensas a deslizamientos no son sólo fundamentales para la formulación de ordenanzas de la construcción, como generalmente se admite, sino que son más importantes aún para el proceso general de la planificación del medio físico y del aprovechamiento de la tierra en particular y las consideraciones se orientan principalmente a reducir el riesgo de desastres disminuyendo el peligro natural, en si a reducir la probabilidad de los daños que pueden producirse como resultado de esa amenaza.

El elemento cuantitativo básico del análisis de vulnerabilidad es la evaluación de la intensidad, la frecuencia y la ubicación de las amenazas, en este caso de los deslizamientos.

Por lo tanto, los deslizamientos más comunes de la Zona de Los Santos fueron incorporados en las hojas topográficas de Carraigres, Dota, Vueltas y Tapanti, escala 1:50000 del IGN por parte del Sistema de Información de Emergencias (SIE) de la Comisión Nacional de Prevención de Riesgo y Atención de Emergencias, ver en anexo.

#### **5.2.11 Análisis de los Asentamientos Humanos en área con problemas Geotécnicos.**

Se ha identificado que muchos desarrollos habitacionales no se construyen de acuerdo con las normas técnicas vigentes y mucho menos al margen de la Ley de Planificación Urbana. Los mismos son construidos en sitios de mucha respuesta, como rellenos sin compactar, laderas inestables y planicies de inundación, donde generalmente se realizan cortes en las laderas y movimientos de tierra sin asesoría técnica, muchas veces fuera del marco legal, con ausencia de sistemas para un drenaje de aguas pluviales y servidas y donde es característico la deficiente práctica constructiva, además del uso de materiales de construcción de mala calidad.

El rápido crecimiento del desarrollo de proyectos habitacionales en los cantones de los Santos, ha traído como consecuencia que los mismos sean construidos en áreas que anteriormente no se consideraban adecuadas para tal fin.

Este aspecto, ligado a factores tales como la sismicidad de nuestro país y su clima tropical, ocasionan, cada vez con mayor frecuencia problemas de índole geotécnico que no solo producen atrasos en el proceso constructivo y las consecuentes pérdidas económicas, en el mejor de los casos; sino también una vez que los desarrollos han sido ocupados por sus propietarios.

Los problemas geotécnicos generados en cualquier evento, o combinación de deformaciones y daños a un terreno, infraestructura sean nocivos para una estructura existente o puedan llegar a serlo para una futura obra a construir. Bajo este concepto se incluyen los siguientes eventos de acuerdo a (Valverde & Laporte, 1991).

1. Asentamientos del terreno (rellenos) y daños estructurales asociados.
2. Expansión del terreno (arcillas expandibles) y daños en losas, tuberías, pavimentos.
3. Agrietamiento del terreno, como consecuencia de la expansión.
4. Deslizamientos del terreno, tanto en cortes naturales, como en rellenos mal construidos.
5. Control de aguas de escorrentía superficial y negras.

Por lo tanto, al tener un problema meramente geotécnico, puede ser resuelto de una manera sencilla, pero, puede llegar a involucrar una serie de aspectos de índole ético, legal, social, económico, urbanístico, arquitectónico, operacional y hasta psicológico, cuya solución tendrá un costo muchas veces mayor que la investigación que pudo prevenir el daño.

Con el fin de simplificar el enfoque sobre la problemática de los suelos se ha creído conveniente subdividir los factores de acuerdo con Valverde & Laporte, 1991 y actualizado la información para esta investigación

#### ◆ Terreno

Actualmente en la mayoría en la Zona de Los Santos el costo por adquirir un terreno para construir una vivienda es cada día más elevado, de ahí, que quién vaya a invertir en ello debe garantizarse que su inversión va a ser segura. De hecho, no basta con que el terreno cumpla con una serie de requisitos estéticos, para que sea adecuado, seguro y económico.

#### ◆ Tipos de suelos

Los suelos pueden identificarse desde varios puntos de vista, entre los que se pueden citar olor, color en el caso de suelos orgánicos, dilatación y resistencia en el estado en seco para suelos finos en general.

#### ◆ Topografía escalonada

La existencia de escalones en el terreno es una evidencia de que existe un movimiento activo, o que existió en algún momento cierto desplazamiento del terreno, relacionado a un deslizamiento.

#### ◆ Escarpes

Debe ponerse especial atención si se encuentran en alguna zona del terreno, ya que siempre son evidencia de movimiento por deslizamiento, máxime si se encuentran en zonas desprovistas de vegetación y suelo.

Es de suma importancia evaluar el entorno y de no olvidarse que el terreno no está aislado del resto del área en que está ubicado, donde se debe evaluar las estructuras existentes (casas, aceras, cercas, inclinación de árboles entre otros).

Debe realizarse un pequeño y minucioso recorrido en los alrededores de la propiedad con el fin de detectar, si es del caso, indicios de movimientos que puedan no manifestarse tan claramente en la propiedad a adquirir (Postes de alumbrado, muros, cercas, árboles entre otros).

#### ◆ Reptación

Este fenómeno se presenta normalmente en suelos de granulometría fina saturada y se genera como consecuencia de la aparición de fuerzas gravitacionales externas que en un momento dado sobrepasan la resistencia al corte del suelo.

Indicios de que se está presentando esta condición son la existencia de árboles inclinados, aparición de pequeños montículos en el terreno y aparición de cicatrices siguiendo las curvas de nivel.

Debe aclararse que la inclinación de árboles no siempre está asociada a este fenómeno, ya que en zonas expuestas a fuertes vientos los mismos pueden presentar este efecto.

#### ◆ Grietas

Si la topografía del terreno es irregular, deberá ponerse especial atención a la existencia de grietas en especial si se desarrollan en dirección más o menos paralela al talud.

Esto puede indicar que la condición de estabilidad contra deslizamiento es precaria, por lo que probablemente el corte tendrá problemas de inestabilidad por aumento en la humedad del material una vez que inician las lluvias, que se produzca algún sismo o por alguna sobrecarga que se coloque.

#### ◆ Cárcavas

Las cárcavas se producen como consecuencia del lavado del material por aguas de escorrentía, debido a la mala técnica de evacuación de las aguas de los desagües de caminos vecinales o viviendas, además de las zonas utilizadas para el cultivo de café siendo muy comunes en el área de estudio.

#### ◆ Efectos causados por erosiones de los cauces en área a urbanizar.

En la actualidad, la costumbre de muchos desarrolladores y dueños de lotes que colindan con un cauce fluvial es la de efectuar rellenos sin ningún tipo de obra de protección ya sea muros de gaviones o de contención, con la finalidad de prevenir el posible impacto por erosión o socavamiento directo al terreno. Es un hecho, que la existencia de estos hacia el pie del talud en terrenos naturales, afecta en menos grado, pero, en áreas de relleno principalmente, es un factor muy importante de tener en consideración.

Normalmente y la práctica así lo demuestra, las obras de protección de la ladera contra el efecto erosivo del agua son costosos y en muchos casos el valor del proyecto hace prácticamente imposible incluirlo dentro del costo del mismo, por lo que a mediano plazo será el estado o los propietarios los que tendrán que correr con el gasto, en muchos casos es inevitable la reubicación de las familias o las obras.

#### ◆ Obras civiles existentes

Es muy importante proteger la inversión que se hace a la hora de adquirir un terreno, lo es más al comprar cualquier tipo de edificación o casa, esto por cuanto una evaluación del terreno por un especialista eliminará o mitigará las acciones adversas del mismo sobre la futura obra, mientras que cuando se adquiere el inmueble ya construido, será más difícil de corregir.

Dado que entra en juego la condición original del terreno, sus efectos durante la actividad sísmica, proceso constructivo

Por lo tanto, al tener un problema meramente geotécnico que podría haber sido resuelto de una manera sencilla, puede llegar a involucrar una serie de aspectos de índole ético, legal, social, económico, urbanístico, arquitectónico, operacional y hasta psicológico, cuya solución tendrá un costo muchas veces mayor que la investigación geotécnica que pudo prevenir el daño.

Estos problemas pueden aparecer tanto en un terreno en el que se planea construir un desarrollo habitacional como obras ya construidas. Lógicamente su aparición o reactivación se verá agravada por sismos de cierta magnitud o presencia de agua, factores comunes en nuestro medio.

Por la dispersión espacial y la variedad de formas y dimensiones que asumen los desplazamientos de laderas, no son muy a menudo ponderados como fenómenos generadores de riesgo para habitantes y poblados.

Debe valorarse el tipo de suelo y por esta razón es necesario evaluar la influencia del suelo sobre el problema geotécnico y revisar las áreas aledañas, consultar con vecinos sobre situaciones similares y de ser efectivo tales problemas, es necesario, consultar o efectuar un estudio con un especialista.

Estos problemas se presentan más que todo en pisos, aceras y gradas en general, muestran los problemas geotécnicos y es común el levantamiento, grietas debido a la presencia de suelos expansivos.

Otra situación muy común corresponde a las puertas y ventanas de las viviendas , donde, por lo general son difíciles de abrir o están descuadradas, reflejando la presencia de estratos de arcillas expansivas, rellenos o deslizamientos.

Es conveniente, actuar con rapidez ya que si el problema realmente existe, una acción oportuna podría eliminar la posibilidad de daños mayores posteriores. Si la construcción se encuentra cerca de un talud es posible que este asociado a problemas de inestabilidad.

### **5.2.12 Registros históricos de deslizamientos en el país**

Quizás la mayor cantidad de sucesos ligados a los deslizamientos tienen amplia difusión en la plenitud de los períodos lluviosos que caracterizan al país, así como aquellos sitios que tradicionalmente ocupan mención en forma reiterada. Algunos deslizamientos que son impactos inmediatos por daños, mantienen un primer plano en cuanto a potenciales efectos, gracias a la divulgación.

En los últimos años sucesos relacionados aparecen con mucha más frecuencia documentados y referidos a los daños causados sobre vías, viviendas y terrenos en el Valle Central. Ver tabla No. 9

### **5.2.13 Medidas necesarias y técnicas para mitigar las áreas bajo amenaza por deslizamiento.**

El siguiente desglose es prioritario para aquellas comunidades que se ubican bajo amenaza por deslizamiento y para las autoridades que tienen poder de decisión:

- ◆ Desestimar nuevos proyectos en áreas peligrosas
- ◆ Creación de zonas o sectores que requieren evaluación especial
- ◆ Revelar la existencia de la amenaza a los negociantes de finca raíz. Bienes raíces
- ◆ Capacitar a las comunidades que se ubican en áreas de multiamenazas
- ◆ Desincentivar inversión financiera
- ◆ Incluir la amenaza en los registros públicos
- ◆ Regulación de nuevos proyectos en áreas ya identificadas
- ◆ Establecer normas para no autorizar proyectos en ladera inestables
- ◆ Establecer especificaciones o restricciones para movimientos de tierras (excavaciones y rellenos).
- ◆ Adoptar normas sanitarias y urbanísticas
- ◆ Crear zonas especiales de reducción de amenazas, (zonas de protección o de amortiguación) con las normas oficiales correspondientes.
- ◆ Establecer una zonificación adecuada para el uso de la tierra.
- ◆ Protección de proyectos existentes en áreas bajo amenaza
- ◆ Controlar los deslizamientos (efectuar medidas correctivas y de seguimiento)
- ◆ Implementar de sistemas de monitoreo, alarma y evacuación
- ◆ Remoción o rectificación de proyectos inseguros existentes
- ◆ Adquisición de áreas amenazadas para otros usos
- ◆ Traslado de comunidades amenazadas
- ◆ Mejoramiento de áreas públicas

### **5.2.14 Caso de evaluación y análisis del Deslizamiento Llano de la Piedra en el cantón de Tarrazú.**

La comunidad de Llano de Piedra se ubica entre las localidades de Santa María y San Marcos de Tarrazú. La actividad predominante en la zona constituye la siembra de café, misma que ha erradicado la vegetación natural para dedicar por completo el terreno al cultivo del mismo. El relieve de la zona es muy irregular por lo que existen laderas de fuertes pendientes

Para el caso que nos interesa, específicamente en el Llano de La Piedra en San Marcos de Tarrazú, se han dado dos movimientos de gran tamaño.

El primero, en octubre de 1955, del cual no existen estudios, noticias ni informes específicos de lo ocurrido, pero se ha conocido por medio de información suministrada por los pobladores de la zona.

**Tabla No. 9**  
**Datos estadísticos de persona fallecidas a raíz de deslizamiento y avalanchas en Costa Rica**

<b>Deslizamiento</b>	<b>Año</b>	<b>Provincia</b>	<b>Muertos</b>
Zona de Fraijanes	30-12-1888	Alajuela	5
Toro Amarillo	00-00-1952	Alajuela (Grecia)	7
Patillos	30-12-1952	Cartago	21
Santa María de Dota-San Rafael	1955	San José	1
Tilarán	1973	Alajuela	23
Sabalito (La Lucha) Coto Brus	julio de 1986	Puntarenas	7
Itiquis	27-10-1990	Alajuela	4
B. Corazón de Jesús. (Uruca)	00-06-1992	San José/Uruca	6
Campabadal	09-12-1993	Turrialba/Cartago	4
Lagunas de Arancibia	30-10-1993	Miramar/Puntarenas	6*
Ortiga (Acosta)	04-11-1994	San José	6
Queb. El Fierro	05-11-1994	Cartago/Tres Ríos	3*
Túnel Zurquí	Desc.	Heredia/San Isidro	1
Bellavista	31-07-1995	Miramar/Puntarenas	1
Turrujal	1995	San José-Acosta	1
Cuesta Chinchilla	09-09-1995	Cartago	1
La Campiña	15-09-1995	San Pedro/San José	4
Campabadal	13-02-1996	Turrialba	1
Santa Teresita (Lajas)	13-02-1996	Turrialba	2
Río Claro-Golfito	03-07-1996	Golfito	3
San Isidro de Dota	28-07-1996	San Isidro	1*
El Llano de Piedra	28-07-1996	San José-El Llano	11
San Miguel (La Virgen)	02-01-1998	Heredia-La Virgen	3
Túnel Zurquí	1998	Heredia-Zurquí	3
San Rafael de Moravia	04-05-1999	Moravia	1
San Rafael de Puntarenas			3*
Lagunas de Arancibia	28-06-2000	Puntarenas-Lagunas de Aranc	8*
Golfito-La Mona	2001	Puntarenas-La Mona	1*
<b>TOTAL</b>			<b>135</b>

Fuente: CNE-2002-05-26

El mismo coincidió con un período de alta precipitación en dicha región. El segundo movimiento sucedió el 28 de julio de 1996 en el mismo lugar, como consecuencia del paso del Huracán César por nuestro país, y posiblemente mediaron las mismas circunstancias que en el anterior deslizamiento (1955).

Para 1996, perdieron la vida once personas, que se encontraban en sus casas en el momento del percance. Para poder recuperar los cuerpos de las once personas que fueron sepultadas por el deslizamiento, acudieron un gran número de habitantes de la zona quienes con picos, palas, además de la ayuda de equipo mecánico, lograron sacar uno a uno los restos.

#### **5.2.14.1 Causas del movimiento de 1955.**

Según información de algunos vecinos de la zona en 1955, en el lugar conocido como Llano de la Piedra, se produjo un desprendimiento y flujo de lodo de proporciones similares a las del 28 de julio de 1996.

Los periódicos de aquel tiempo hacen reseña sobre un temporal muy fuerte que se produjo en octubre de 1955 y que azotó al cantón de Aserrí, la zona de los Santos, Pacífico Central y Sur. El temporal provocó múltiples y devastadoras inundaciones, así como deslizamientos entre Santa María de Dota y San Marcos de Tarrazú, sucedieron más de veinte derrumbes sobre la carretera de acuerdo con lo mencionado en los periódicos (Periódico La Nación, 15 de octubre, 1955).

Según el testimonio de personas que vivían en el Llano de La Piedra, se produjo un deslizamiento que cubrió la totalidad de la carretera y áreas aledañas.

Por lo tanto, debido al fuerte temporal el bloque superior del deslizamiento se asentó, al punto que los vecinos de ese entonces notaron un cambio en la topografía de la ladera, a la vez se formaron algunas grietas de tensión y cuñas deslizadas en el terreno. De esta manera, ya existía un precedente de inestabilidad de la zona.

#### **5.2.14.2 Condiciones generales actuales.**

El deslizamiento Llano de La Piedra se ubica dentro de la Formación Carraigres. Está formando según afloramientos observados por rocas sedimentarias (areniscas, lutitas), y suelos residuales lateríticos (limo arcillosos de color rojo amarillento. Estas rocas se encuentran muy fracturadas, condición que favorece la infiltración y por consiguiente los empujes hidrostáticos en las partes verticales. Además se ha observado que los buzamientos de los estratos son bastante paralelos a la topografía.

Las fuertes lluvias que cayeron durante varios días consecutivos en el mes de julio de 1996, provocaron un deslizamiento de grandes repercusiones en el mismo sitio donde sucedió uno similar en 1955.

Las lluvias producidas por la influencia del Huracán Cesar, evento que azoto a todo el país y específicamente la región de Los Santos, Quepos, Golfito, Pérez Zeledón Parrita, Puriscal y Acosta donde los daños en infraestructura y pérdidas de vidas humanas se dieron.

Además, de la información obtenida se indica que la pluviometría del área indica que desde el mes de mayo ( dos meses antes del deslizamiento) se dieron fuertes lluvias en la región, la cual fue provocando la saturación del material .

El posible que el agua se filtrará por antiguas grietas, por lo que la cuña inestabilizada durante 1995 se satura elevando la presión de poro, hasta que el material llegará a una drástica reducción de su resistencia al corte y se produjera el movimiento.

Además, debido a la fuerte actividad sísmica generada en Puriscal durante 1990, con un mayor evento en diciembre de ese año y posteriormente en la región de Limón ocurrió el Terremoto de Telire (1991), que de acuerdo con versiones de algunos vecinos indican que observaron grietas en el área inestable.

La zona de Los Santos es una región afectada ocasionalmente por fenómenos sísmicos, pero desde 1989 no se presenta una secuencia sísmica de importancia. El evento principal de magnitud 4.4 grados en la escala de Richter fue ubicado a 19.5 km al oeste de San Marcos de Tarrazú, a una profundidad de 28.3 km. Este sismo tuvo una serie de réplicas.

En 1991, hubo un período de actividad sísmica en la localidad de San Pablo de León Cortés a consecuencia del terremoto de Limón del 22 de abril de ese año.

Durante 1996 sólo se registró un sismo de importancia en la zona de los Santos que fue el 21 de febrero ubicado a 2 km al suroeste de Santa María de Dota a una profundidad de 33 km con una magnitud de 3.1 grados en la escala Richter.

Ha raíz de las fuertes precipitaciones y la existencia de grietas generadas por los movimientos sísmicos la cuña existente se deslizó. Parte del bloque superior se movilizó se ubico en el sector medio del deslizamiento, que por su geometría (cuello de botella), quedo detenido. A raíz del desplazamiento se originaron fracturas en ambos lados del deslizamiento que pueden ampliar la sección transversal en ese sitio, además en la época lluviosa se presentan algunas nacientes y corrientes de agua que proviene tanto de los sectores laterales como de la base de dicho bloque.

Vista general del deslizamiento Llano de Piedra, el cual sepultó 11 personas y destruyó 11 casas. El área a partir de esta fecha fue declarada como un sector de Alto Riesgo por deslizamiento.

Las directrices establecidas para este sector en particular y no en su totalidad del Llano de Piedra fue la de no autorizar permisos de construcción tanto para viviendas nuevas o reparaciones.

#### **5.2.14.3 Características del deslizamiento Llano de La Piedra.**

Según la clasificación mediante la relación Espesor/Longitud, para el caso de estudio se ha considerado un espesor promedio de 35 metros, con una longitud de 350 metros en la dirección del talud.



De acuerdo con la clasificación de Varnes, el deslizamiento de Llano de La Piedra se cataloga como un movimiento complejo del terreno, lo cual corresponde a un deslizamiento rotacional en la parte superior y luego se comporta como un flujo.

Debemos indicar que de acuerdo con la estación pluviométrica del ICE en Santa María de Dota se registro un alto nivel de precipitaciones en los meses de mayo, junio, y julio de 1996. De hecho, el día anterior al deslizamiento (27 de julio), representó el día más lluvioso del año en esa zona, con una cantidad de 271 mm. por lo tanto, la lluvia constituyó el agente principal de disparo del movimiento.

Las laderas del cerro donde se ubica el deslizamiento del Llano de La Piedra, poseen inclinaciones que pueden variar de  $25^{\circ}$  a  $30^{\circ}$  dependiendo del sitio, lo cual representó un factor importante para que el material se desplazará rápidamente una longitud considerable.



Vista general del deslizamiento Llano de La Piedra, 6 años después del evento del 28 de julio de 1996, por efectos indirectos de las fuertes lluvias del Huracán Cesar.

Debido al origen del suelo que corresponde a sedimentario muy alterado favoreció posiblemente debido a la baja resistencia al corte a lo largo de los planos, buzamiento en la misma dirección que la superficie de ruptura.

En la actualidad prácticamente 6 años después de haberse dado el deslizamiento, las condiciones volvieron a la normalidad donde los dueños de los cafetales aledaños sembraron más y trazaron un camino. Inclusive, después del evento algunas familias se fueron, demolieron sus casas y otros se ubicaron en el mismo sitio o simplemente algunas viviendas son ocupadas solamente en verano para los recolectores de café del área que provienen de otras zonas alejadas.

### 5.3 ANALISIS GENERAL DE LA AMENAZA POR SISMICIDAD

La historia de desastres causados por terremotos muestra claramente una estrecha relación entre la magnitud del desastre y las condiciones geológicas y sociales. El análisis de eventos con características destructivas permite identificar las causas de tal efecto.

Por lo tanto, Costa Rica y en especial el área de estudio no esta exenta de problemas por amenaza sísmica, ya que existen fallas locales activas y lineamientos que de una u/o otra forma atraviesan áreas pobladas y que pueden generar a futuro movimientos sísmicos de importancia, ocasionando daños civiles, infraestructura e impactos al ambiente en caso de grandes deslizamientos.

En la actualidad se conocen por medio de trabajos de investigación los sismos severos de características destructivas, que han ocurrido en el pasado y volverán inevitablemente a ocurrir en el futuro, causando serios daños en las actividades económicas y sociales del país, si no se toman las medidas del caso.

Los efectos de cualquier terremoto dependen de una amplia gama de factores, se pueden citar entre algunos de ellos:

- ◆ Los parámetros intrínsecos al sismo: magnitud, tipo de fuente propagación de la señal, localización, profundidad.
- ◆ Condiciones geológicas, en particular las superficiales como: el tipo de suelo, espesor, topografía y saturación del terreno.
- ◆ Condiciones de la sociedad, por ejemplo: la calidad de las edificaciones, preparación de la población ante desastres, normas de diseño y construcciones.

Con las experiencias anteriores de sismos importantes en nuestro país en los alrededores de la región de estudio, es posible mitigar el efecto destructivo de futuros terremotos. Sin embargo, se requiere de la conscientización y el trabajo conjunto de técnicos y políticos, para llegar a normalizar adecuadamente el desarrollo urbano en el país, y a la vez mejorar y supervisar, de una manera enérgica, las prácticas de diseño y construcción.

En la actualidad se hacen esfuerzos en investigaciones de microzonificación de San José , donde involucra recopilaciones en el campo de la geología, la geofísica, la geotecnia, la sismología y la ingeniería sísmica.

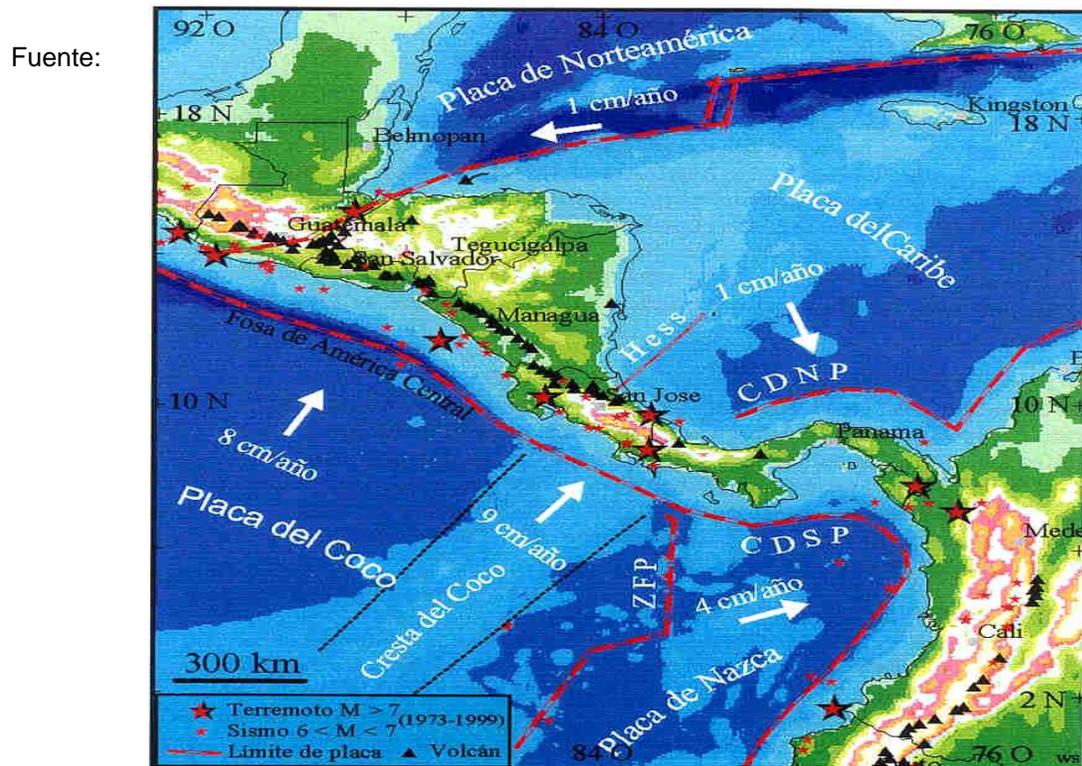
Por lo tanto, para marzo del 2000, se efectuó un estudio de Microzonificación Sísmica donde se establecen los resultados sobre la amenaza sísmica y el comportamiento dinámico de los suelos del Area Metropolitana de San José, en la cual se concentra la mayor parte de la población del país y en donde se desarrollan las principales actividades socioeconómicas del mismo.

### 5.3.1 Fuentes sísmicas que amenazan la zona de estudio.

Los sismos sentidos en la zona de estudio son originados por diferentes fuentes sísmicas y ambientes tectónicos existentes en Costa Rica.

La actividad sísmica resulta de la ubicación de nuestro país en el borde de convergencia entre la Placa Caribe ( o microplaca de Panamá) con la Coco y la Nazca, donde debajo de nuestro territorio y originando los temblores relacionados con el proceso de la subducción y entre la Coco y Nazca se encuentra la zona de fractura de Panamá, que genera mucha sismicidad, que afecta mayormente la zona sur del país y en menor grado la parte central de Costa Rica.

Figura 5. Mapa tectónico regional de Costa Rica y países vecinos (Cortesía W. Strauch, Clement, 2000)



Microzonificación Sísmica, Clement, et al 2000

Otra fuente sísmica importante es la que corresponde con temblores superficiales ocurridos en la zona sur del país y en un menor grado en la parte central de Costa Rica. Además, otra fuente sísmica importante es la que corresponde con temblores superficiales ocurridos dentro de la corteza al interior de la plaza Caribe y de la microplaca de Panamá, o en el límite entre ambos ver figura No. 5.

### **5.3.2 Los temblores de la zona de subducción**

Los temblores relacionados con la subducción de Costa Rica se deben a la penetración de la placa de Coco bajo la placa Caribe y la microplaca de Panamá. La profundidad de estos eventos varía desde unos 10 km. bajo el piso oceánico del Pacífico de Costa Rica hasta 150 km. bajo la zona central del país. Los sismos que ocurren a lo largo del plano entre las placas son llamados temblores interplaca y aquellos que ocurren dentro de la placa del Coco por la subducción y que tienen profundidades intermedias entre los 40 y 200 km., se clasifican como sismos intraplaca (ocurren internamente dentro de la placa del Coco cuando esta se introduce en el manto).

De acuerdo con la información disponible se efectúa un análisis sobre las fuentes sísmicas interplaca de profundidad menor a 40 km. que podrían afectar de una u/o otra forma el área de estudio.

### **5.3.3 Zona sísmica de Nicoya (área 2).**

Es una fuente sísmica interplaca. Fue definida originalmente por Morales (1985); se ubica en el margen convergente de Costa Rica, frente a la costa Pacífica y se extiende desde Cabo Velas hasta Cabo Blanco. Tiene capacidad de generar grandes eventos, con magnitud hasta 7.7, tal como fue el terremoto del 5 de octubre 1950. Según Protti y otros (1994), esta zona sísmica está restringida entre 10 y 40 km. de profundidad. Para eventos de magnitud entre 7.0 y 7.7 en esta zona sísmica, Montero (1986), estableció un período de recurrencia entre 20 y 30 años.

### **5.3.4 Zona sísmica de golfo de Nicoya (área 3).**

Es una fuente sismogénica que comprende la entrada del Golfo de Nicoya y la zona de Herradura hasta la desembocadura del río Grande de Tárcoles. De acuerdo con Protti y otros (1994), el borde oeste de esta zona sísmica está relacionado con una contorsión del plano de subducción de la placa Coco, en la que el ángulo subducción hacia el este de dicho límite se hace suave, adquiriendo menor inclinación. Protti y otros (1994) la llamó la contorsión brusca de Quesada y puede ser asociada con el límite oeste de las serranías oceánicas que se están subduciendo bajo el Pacífico Central de Costa Rica. Esta fuente sísmica puede generar intensidades máximas de VII.

### **5.3.5 Zona sísmica de Quepos- Sierpe (área 4)**

Esta fuente sísmica se extiende desde Punta Judas hasta la desembocadura del río Sierpe, abarcando entonces la costa pacífica central de Costa Rica. No se ha establecido aún la recurrencia sísmica en esta zona, un evento muy importante sucedió en el año 1952 y tuvo una magnitud de 7.0 y el último evento grande ocurrido fue el 20 de agosto de 1999, con una magnitud de 6.9

### **5.3.6 Zona sísmica Osa-Golfito (área 5):**

Se extiende de noroeste a sureste, desde la desembocadura del río Térraba hasta Punta Burica. Al sur limita con la Fosa Mesoamericana y al norte con la falda sur de la Cordillera de Talamanca. Los principales eventos han sido relacionados con el proceso de subducción han causado en la zona de Osa intensidades de VIII o más.

Con relación a la recurrencia de los temblores originados en la zona de subducción, se ha observado que los mismos ocurren en ciclos sísmicos alrededor de cada 40 años.

### **5.3.7 Zonas sísmicos superficiales y fallamiento cortical periférico**

De acuerdo con estudios geológicos y tectónicos previos, la zona del Valle Central y alrededores, es un área con fallas geológicas importantes. En tiempos históricos y recientes estas han provocado temblores de considerable magnitud.

### **5.3.8 Zona sísmica del fallamiento Candelaria (área 13)**

Esta área sísmica es donde se encuentra el sistema de Falla Candelaria. La traza de la principal falla de este sistema se ubica en los diversos mapas geológicos de Costa Rica; tiene un trazo rectilíneo y se extiende por más de 33 km desde su extremo noroeste, ubicado al oeste de Puriscal hasta la confluencia de los ríos Candelaria y Pirris. Por su extensión y características geométricas se considera que es un fallamiento capaz de generar eventos de magnitud cercana a 7.0.

### **5.3.9 Zona sísmica Puriscal-Virilla (área 12)**

Las principales fallas activas que pertenecen a este sistema son: la Picagres, Jateo, San Antonio, Víbora y Virilla. Las cuatro primeras presentaron un importante incremento en su actividad sísmica entre mayo y setiembre de 1990, generando un evento principal el 30/06/90 de magnitud 5,1 (ML), que causó daños en la zona de Puriscal, Según Montero y otros generando un evento principal el 22/12/90 (MW= 6.0), denominado Terremoto de Piedras Negras.

### 5.3.10 Zona sísmica Escazú-Guarco (área 15)

Se localiza al sur y sureste del Valle Central y comprende las fallas de Escazú-Bello Horizonte, Aserrí-Jericó, Aguacaliente, Orosi y Navarro. Esta fuente podría generar sismos máximos de 6.5 grados.

De acuerdo con el trabajo efectuado de Fernández , 1995, sobre el Análisis sísmico en la parte Central de Costa Rica y evaluación del Hipotético Sistema de Falla Trascurrente de Costa Rica, se indica los fallamientos que se incorporan dentro de las hojas topográficas que enmarcan parte del área de estudio de la Cuenca Superior del Río Pirris.

Fig. 6. Mapa estructural del Valle Central de Costa Rica.

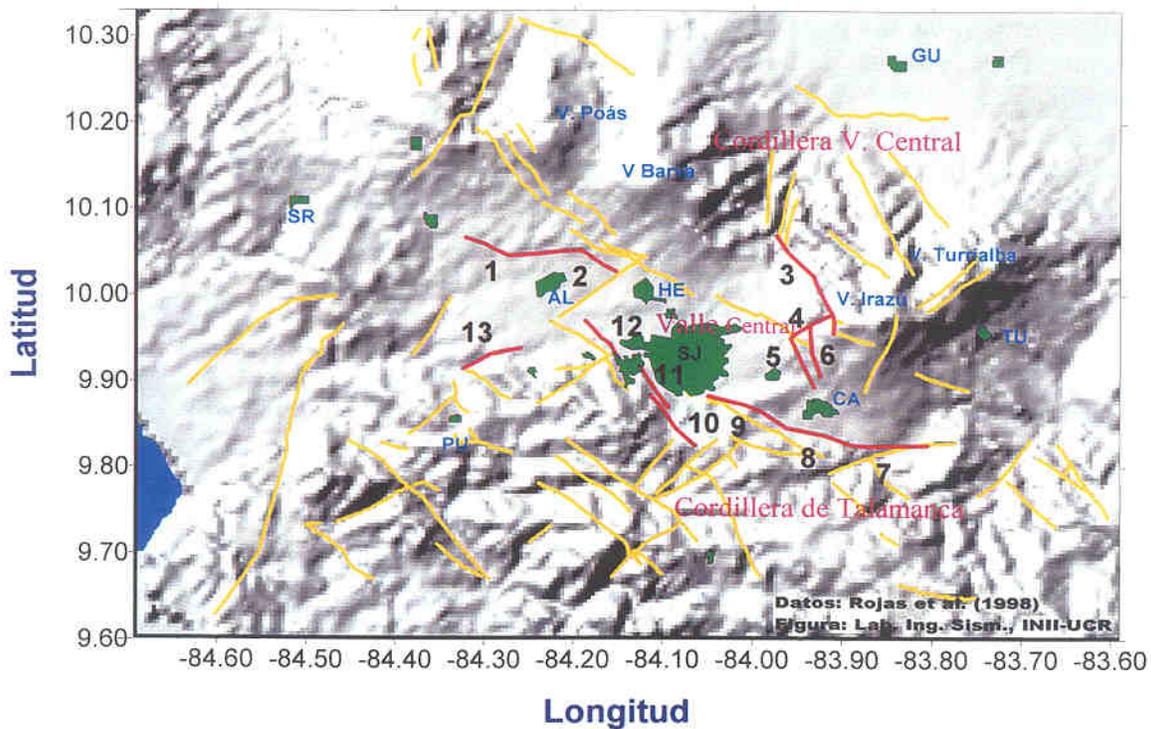


Fig. I-2. Mapa estructural del Valle Central de Costa Rica.

Las mismas corresponden a las hojas topográficas escala 1:50000 del IGN, Carraigres, Tapantí, Dota y Vueltas que a continuación se detallan.

### 5.3.11 Area correspondiente a la hoja topográfica Carraigres (Z9).

El fallamiento ha sido muy estudiado y descrito en Arias y Denyer (1990a), donde se menciona que hay dos sistemas muy bien definidos. Ver figura 7

## Figura 7

### **5.3.12 Zona sísmica Jaris-Corralillo (área 14)**

Se extiende a lo largo de 42 km desde la unión de los ríos Jaris y Virilla por el extremo noroeste, hasta cerca de San Pablo de León Cortés en el extremo sureste. Esta falla se puede dividir en varios segmentos, en algunos de los cuales se ha encontrado actividad sísmica (Fernández, 1995). Por la capacidad de la misma de generar eventos de magnitud hasta 7.0.

El fallamiento ha sido muy bien estudiado y descrito en Arias y Denyer (1990a) aquí se menciona que hay dos sistemas muy bien definidos que son: 1-El fallamiento NO-SE y 2- El fallamiento NE-SO.

Los rangos de magnitud y profundidad de los sismos son 1,2-4,9 grados y 1-30 km respectivamente, el promedio de la profundidad de los temblores es 12,7 km. Casi todas las fallas tienen sismicidad en su cercanía, pero sobresalen las fallas Resbalón, Salitral, Tablazo, Patio de Agua y Falla Corralillo.

### **5.3.13 Area correspondiente a la hoja topográfica Tapanti (Z10).**

En la parte norte del área, están trazadas las principales fallas del sureste de Cartago y la sección inicial del Sistema de Fallas Guarco-Coris que extienden desde el sureste de Cartago hasta el sureste de San José y constituyen la primera sección de un sistema mayor que corre por el flanco noroeste de la Cordillera de Talamanca y en algunos tramos al pie de ella. Son fallas de rumbo casi este-oeste excepto la Falla Navarro que se orienta un poco más al suroeste, perpendicular a ésta hay otro sistema de orientación NNO en el que destaca la Falla Orosi-Aguacaliente, la que comienza al este de Tapantí y el alineamiento del Río Taus.

Tal actividad se concentra principalmente en el extremo izquierdo del área, concordantemente con pequeñas fallas de la zona. Según alineamientos de epicentros, se confirma que las siguientes son fallas activas: Falla Río Patarrá, la ubicada al norte de la Falla Quebrada Queverí.

Las fallas mejor conocidas de esta zona son: Navarro, Aguacaliente el tramo inicial del sistema Guarco-Coris, no muestran gran actividad. No obstante, Montero y Morales (1988) en Fernández, 1995 ubicaron el sismo histórico de 1951 (M=5,0) cerca de la Falla Navarro.

#### **5.3.14 Area correspondiente a la hoja topográfica Dota (Z13).**

Los sismos de acuerdo a la información de Fernández, 1995 se concentran cerca de los alineamientos formados por los ríos, siendo los más importantes el Pirris, Cañas y naranjo. El Río Pirris es desviado dos veces en forma muy brusca y en dirección NO-SE en concordancia con la orientación de las fallas Palo Seco y Nápoles.

La mayoría de las fallas son de rumbo noroeste. Las que presentan mayor evidencia de actividad reciente son: Palo Seco, Cañas y Nápoles. Una característica de la sismicidad de la Hoja Dota es su mayor profundidad respecto a otras zonas, aquí ocurren muchos sismos con profundidades que oscilan entre 20 y 30 km indicado en la figura No. 8.

De hecho caso todos los mecanismos focales corresponden a eventos de profundidad mayor a 20 km y es menos probable que tengan relación con lineamientos superficiales. Ellos indican fallamiento normal, transcurren e inverso.

#### **5.3.15 Area correspondiente a la hoja topográfica Vueltas (Z14).**

Al igual que en otras áreas, los temblores de ésta ocurren en un rango de profundidades que oscila entre 1 y 30 km, siendo su promedio 14 km. En cuanto a su magnitud varían entre 1,6 y 4,8 predominando aquellas sismos con magnitudes entre 2 y 3 Ver figura 10.

En toda la zona se observa concordancia entre alineamientos sísmicos y alineamientos de ríos, o sea, casi todos los epicentros se localizan cerca del cauce de los ríos principales de la zona. Tal es el caso de los ríos Pirris, Brujo, Savegre y Grande de Orosí. Este último, por el evidente alineamiento sísmico cerca de él, es propuesto como una falla activa. Las áreas A, B, C y D por los alineamientos epicentrales en ellas, sugieren fallas en sus respectivas direcciones.

Se desprende del análisis de la sismicidad y el fallamiento de las anteriores zonas descritas por Fernández, 1995 que en la parte central de Costa Rica hay un patrón conjugado de fallas con orientación noroeste-sureste y noreste-suroeste respectivamente.

El sistema de fallas de orientación noroeste es el mejor definido y el que tiene las fallas más extensas; tiene su mejor expresión al suroeste de la zona investigada, principalmente en las zonas Z3, Z8, Z9, Z10 y Z13.

Por lo tanto, se desprende de esta información sobre la situación de fallamientos activos y lineamientos en el área de estudio y alrededores que cualquier liberación de energía en cualquier punto del país puede indirectamente afectar una región determinada.

FIGURA 8

Por consiguiente es necesario una implementación de planes reguladores donde se integren al menos los trazados de las fallas y lineamientos y de fomentar mayores estudios de casos específicos en la región de Los Santos.

En la actualidad a raíz del proyecto Hidroeléctrico Pirris, se ha efectuado estudios exhaustivos en cuanto fuentes sísmicas, fallas y aspectos de neotectónica y por lo tanto, se tiene una buena información al respecto.

El sitio de presa, cuyo eje ha sido precisado muy recientemente, se encuentra en una secuencia de capas de rocas sedimentarias, está entre dos estructuras de falla mayores denominadas falla Garrobo, aproximadamente 250 m aguas arriba del posible sitio de presa, y falla Zapote, unos 250 m aguas abajo.

En el mapa general de fallas, se indican todos los sistemas del área para correlacionarlos a futuro e implementarlos a los planes reguladores de los tres cantones de la Zona de Los Santos.

A raíz del proyecto hidroeléctrico Pirris los estudios referente a fallas locales han sido muy exhaustivos principalmente en los alrededores del embalse. De acuerdo con la información de Barrantes, 2000, ICE las evidencias de fallamiento son: espejos de falla, estrías, hidrotermalismo, desplazamiento de estratos, brecha de falla entre otros. Sin embargo, la falta de continuidad de los afloramientos y la cobertura vegetal, no permiten observar estas estructuras en su totalidad, por lo tanto, se pierden algunas características como extensión y principales efectos.

Se presenta un resumen de las principales fallas analizadas por personeros del ICE para el Proyecto Hidroeléctrico Río Pirris de acuerdo con informe de Barrantes, et al , ICE, junio, 2000.

- Falla Garrobo
- Falla Colmena
- Falla Sandí
- Falla Pedro
- Falla Quebrada 2
- Falla San Luis
- Falla Bosque
- Falla San José
- Falla Cárcava
- Falla San Carlos
- Falla Paso
- Falla Flor
- Falla La Isla
- Falla San Rafael

**Fig 9. Mapa del potencial de reactivación de las fallas en el embalse del >P. H Pirris (Barrantes, et al ICE, junio 2000)**

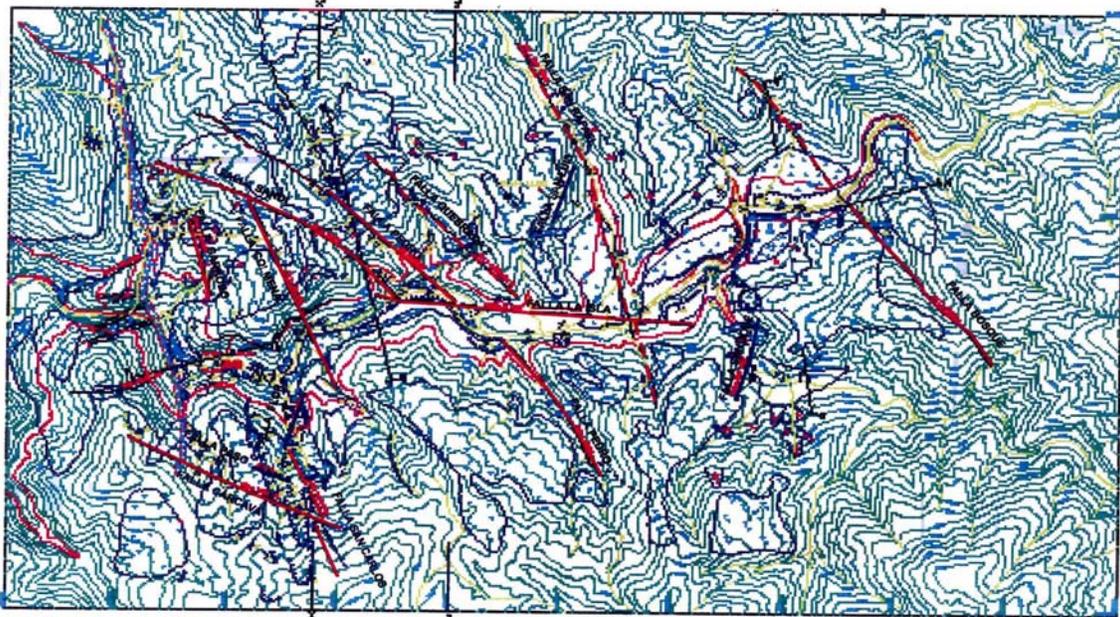


Figura 10.

## **5.4 MATRIZ DE LAS AMENAZAS NATURALES EN EL AREA DE LOS SANTOS**

En esta sección se pretende unificar las amenazas naturales que afectan de una u/o otra forma el área de Los Santos tanto en infraestructura, viviendas y ambiente, con la finalidad de que las personas conozcan sobre la problemática y sus posibles implicaciones que cualquier tipo de obra puede estar expuesta ante los efectos de una amenaza como se indican en la matriz siguiente en los cuadros No. 1 y No. 2.

La Cuenca Hidrográfica del Río Pirris presenta en la actualidad un gran efecto erosivo intenso causado por el uso irracional del suelo, esto por efectos de cultivos de café en terrenos no clasificados para este tipo de siembra. Se han generado una serie de fenómenos tales como problemas de inestabilidad de laderas, erosiones intensas, reptaciones, deslizamientos que aunado a la alta precipitación del área se conjugan para generar desbordamientos de cauces tanto de pequeñas acequias, quebradas y ríos, así como, represamientos que dependiendo del caudal y forma del cauce pueden generar avalanchas.

Dicho deterioro se debe a una serie de acciones antrópicas de tala de bosques, ausencia de prácticas de conservación de suelos y laderas, contaminación de cursos de agua por ausencia de control y tratamiento de aguas servidas y de los desechos sólidos, construcción de obras hidráulicas con poca capacidad de caudal, así como, el uso inadecuado del espacio al realizarse asentamientos en zonas de alto riesgo.

Por lo tanto, al existir en la cuenca una alta susceptibilidad por deslizamientos, avalanchas y la generación de inundaciones o aumentos drásticos de caudal, ocasiona que esta combinación de fenómenos aumente las crecidas del caudal de las quebradas y ríos provocando la afectación de las riberas y desbordamientos en las áreas aledañas, que se vieron rebasadas en su capacidad de conducción.

De igual forma, tanto los problemas de inestabilidad de laderas, avalanchas e inundaciones se pueden agravar con el hecho de los posibles efectos de la sismicidad local o regional, dado que, el área presenta una serie de sistemas de fallas locales muy importantes que en los últimos años han generado sismos de magnitudes considerables.

Es preciso conocer la forma que los efectos de los fenómenos se pueden interactuar y de establecer el posible impacto que puede tener en una determinada comunidad, sobre las condiciones de vida de la población y las actividades económicas de la región así como, el medio ambiente.

En el área de estudio debemos considerar que tanto las lluvias generadas durante el período lluvioso o en casos extremos debido a efectos de las depresiones, tormentas o huracanes, generan un desencadenamiento de fenómenos.

Las inundaciones, deslizamientos y avalanchas de lodo tienen impactos negativos en cualquier sociedad y por lo tanto, los sectores sociales, agricultura, vial, salud, vivienda, al dañarse, destruirse las viviendas y pérdida de enseres domésticos, afectación a los establecimientos de salud y su equipamiento, centros escolares y su mobiliario, ver mapas de inundaciones en anexo

De igual forma, resulta muy afectada la infraestructura física al dañarse o destruirse los sistemas urbanos y rurales de agua potable y saneamiento, los sistemas de generación, transmisión y distribución de electricidad y las redes de caminos, sus puentes y otras obras de drenaje como diques.

Es necesario consignar el hecho de que los efectos indirectos de los huracanes y los impactos sobre los sectores sociales y económicos a su vez contribuyen al mayor deterioro de las cuencas hidrográficas, lo constituye un círculo vicioso.

La explicación de las causas de la gravedad de los daños reside en las vulnerabilidades físicas y en las debilidades en la gestión de los organismos respectivos.

Por lo tanto, las vulnerabilidades físicas específicas se pueden clasificar como la falta de un adecuado conocimiento sobre las amenaza, insuficiencia de pronósticos oportunos y confiables acerca de los eventos extremos, cuencas hidrográficas deterioradas por el hombre, vulnerabilidad de los asentamientos humanos, vulnerabilidad en las actividades productivas.

A pesar de los esfuerzos que las instituciones del estado han realizado de identificar e informar sobre las amenazas de cada cantón, el conocimiento que se tiene de las diferentes amenazas a que esta sujeto cada cantón es limitado.

Una ventaja recae sobre las amenazas de tipo meteorológico como los huracanes, las tormentas tropicales donde se dispone del Instituto Meteorológico Nacional (IMN) el cual oportunamente la da un seguimiento sobre los eventos que puedan afectar al país y a los cantones de Santa María de Dota, Tarrazú y San Pablo.

El conocimiento acerca de los procesos de la geodinámica externa que tiene lugar en la cuenca hidrográfica del Río Pirris, hasta la fecha están siendo investigados. Además, no se tiene un adecuado inventario de los recursos disponibles en las cuencas y de las utilidades actuales y futuras de los mismos.

Es necesario que se establezca una estrategia que prevé adoptar a la cuenca hidrográfica como la unidad para planear el desarrollo con prevención y mitigación, elaborándose planes reguladores y proyectos que tomen en cuenta todos los recursos: agua, suelo, bosque, en ellas disponibles, los compatibilicen con las demandas actuales y futuras de todos los sectores incluyendo agricultura,

generación de electricidad y aseguren con ello un uso integral y la conservación de los recursos.

Por lo tanto, se propone la siguiente matriz donde se involucran las diferentes amenazas naturales y de los eventos hidrometeorológicas que afectan el área, descritos en los cuadros No. 1 y No. 2

**Cuadro No. 1**  
**Matriz de las Amenazas Naturales en la Región de los Santos**

Amenaza	Factor	Infraestructura				
		Caminos en general	Diques	Puentes	Tendido eléctrico	Torres de comunicación
Deslizamientos	Antrópicos	X				
	Naturales	X			X	X
Inundaciones	Planicies de inundación	X	X	X		
	Inundaciones urbanas					
Sismicidad	Local	X		X	X	
	Regional	X			X	
Fenómenos hidrometeorológicos	Disturbio/On da	X		X	X	
	Tormenta	X		X	X	
	Huracán	X	X	X	X	X

Fuente. Julio Edo. Madrigal Mora-CNE

**Cuadro No. 2**  
**Matriz de las Amenazas Naturales en la Región de los Santos**

Amenaza	Factor	Viviendas, condición social y ambiental				
		Viviendas	Medio ambiente	Migraciones temporales	Beneficios de café	Clínicas
Deslizamientos	Antrópicos	X				
	Naturales	X	X	X		
Inundaciones	Planicies de inundación	X	X	X	X	X
	Inundaciones urbanas	X		X		
Sismicidad	Local	X	X	X	X	X
	Regional	X	X	X	X	X
Fenómenos Hidrometeorológico	Disturbio/On da	X	X	X	X	
	Tormenta	X		X	X	
	Huracán	X	X	X	X	