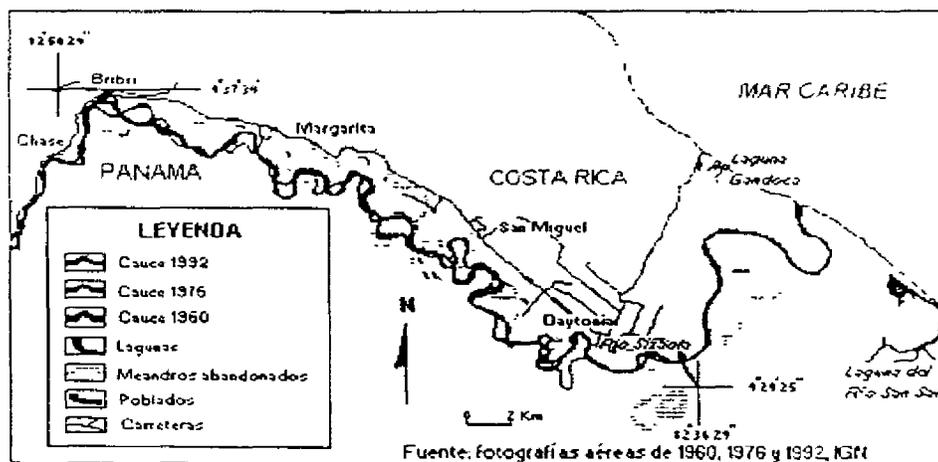


UNIVERSIDAD NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DEL MAR
ESCUELA DE CIENCIAS GEOGRAFICAS

ZONIFICACION DE AMENAZAS POR INUNDACION EN EL VALLE DEL RIO SIXAOLA



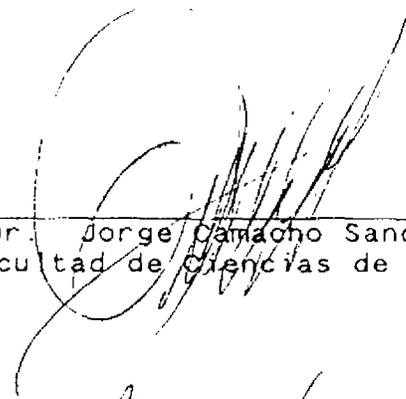
Tesis de grado para optar al título
de licenciado en Geografía Física

GUSTAVO BARRANTES CASTILLO

CAMPUS OMAR DENGO

1996

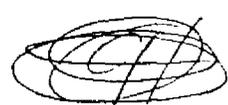
TRIBUNAL EXAMINADOR



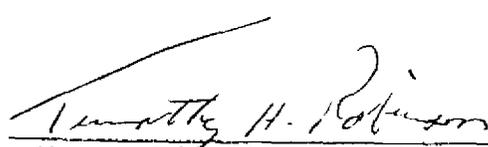
Dr. Jorge Camacho Sandoval
Decano de la Facultad de Ciencias de la Tierra y del Mar



M.A. Omar Arrieta Chavarria
Director de la Escuela de Ciencias Geográficas



Lic. Gonzalo Hernández Ramírez
Director de tesis



Msc. Timothy H. Robinson
Lector de tesis



Ing. Rolando Coto Alvarado
Lector de tesis

DEDICATORIA

Al Dr. Wilhelm Gunther Vahrson, no solo por su valioso aporte en la elaboración de esta investigación, también por haberse constituido en un modelo de disciplina y tenacidad para mí.

AGRADECIMIENTO

Un profundo agradecimiento a los miembros del programa de investigación MADE: Gonzalo Hernández, Ligia Hernando, Marilyn Romero, Sergio Sánchez, Hannie Achío y Ginette Rey, por su colaboración y apoyo durante la elaboración de este documento.

Al M.Sc. Timothy H. Robinson y al Ing. Rolando Coto por sus oportunas sugerencias y valiosa ayuda.

A la Comisión Nacional de Emergencia por el financiamiento parcial de este documento, en particular a José J. Chacón y Douglas Salgado por su colaboración.

A la Br. Yanet Sandy por su invaluable colaboración en la elaboración del material cartográfico.

A los funcionarios de la Sección de Estudios Básicos (tanto de hidrología como de meteorología) del Instituto Costarricense de Electricidad por su trato humano e incondicional.

Finalmente a las personas que pacientemente me contaron las amargas experiencias vividas durante las grandes inundaciones, en cada uno de los pueblos.

INDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN Y ABSTRACT.....	i
INTRODUCCION.....	ii
I. PLANTEAMIENTO Y JUSTIFICACION DEL PROBLEMA.....	1
1.1 Objetivo general.....	7
1.1.1 Objetivos específicos.....	7
II. REVISION BIBLIOGRAFICA.....	9
2.1 Conceptos generales.....	9
2.2. Medidas para la reducción de las pérdidas causadas por desastres naturales.....	10
2.2.1 Modificación del evento físico.....	10
2.2.2 Modificación de la vulnerabilidad humana.....	12
2.3. Zonificación de amenazas por inundacion.....	15
2.4. Frecuencia de las inundaciones.....	20
III. METODOLOGIA.....	23
3.1 Levantamiento de las unidades geomorfológicas de la llanura.....	24
3.2 Determinación de los niveles máximos alcanzados por las mayores inundaciones....	25
3.3 Clasificación de las áreas de acuerdo a su respectivo nivel de amenaza.....	27
3.4 Recomendación en el uso del suelo.....	30
3.5 Análisis preliminar de vulnerabilidad.....	32
IV. UBICACION DEL AREA DE ESTUDIO Y CARACTERIZACION	

GENERAL DE LA CUENCA.....	33
4.1 Ubicación.....	33
4.2 Caracterización general de la cuenca.....	35
4.2.1 Cobertura vegetal y Uso del suelo.....	37
4.2.1.1 Reseña histórica.....	38
4.2.1.2 Uso actual.....	40
4.2.2 Clima.....	43
4.2.3 Geología.....	46
4.2.4 Geomorfología.....	50
4.2.4.1 El proceso de las inundaciones.....	62
V. INUNDACIONES OCURRIDAS EN EL VALLE DEL RIO SIXAOLA..	66
5.1 Inundaciones históricas.....	66
5.2 Inundaciones registradas.....	67
5.3 Eventos no reportados.....	76
VI. ANALISIS HIDROLOGICO DE LOS EVENTOS EXTREMOS.....	80
6.1 Período de retorno de los mayores eventos registrados en el Valle de Sixaola.....	82
VII. RESULTADOS: ZONIFICACION DE AMENAZAS POR INUNDACION.	86
7.1 Análisis preliminar del riesgo por inundación en el Valle de Sixaola.....	91
7.1.1 Poblados con muy alto riesgo de inundación.....	91
7.1.2 Poblados con alto riesgo de inundación.....	92
7.1.3 Poblados con moderado riesgo de inundación.....	94
7.1.4 Poblados con Bajo riesgo de inundación.....	98
7.2 Limitaciones.....	106
VIII. CONCLUSIONES.....	109
5.1 Conclusiones.....	109
5.2 Recomendaciones.....	112

VI.	BIBLIOGRAFIA.....	115
VII.	ANEXOS.....	120
A	Perspectivas de las acciones de mitigación de las inundaciones en Limón.....	121
B	Aplicabilidad de los modelos HEC-1 Y HEC-2 a la Cuenca del Río Sixoala.....	124
C	Formato de entrevista claves.....	13
D	Determinación de ecuación de mejor ajuste para el cálculo de los periodos de recurrencia de los caudales.....	134
E	Cálculo periodo de retorno de las inundaciones ocurridas en 1988 y 1991.....	139

INDICE DE CUADROS

1	INUNDACIONES OCURRIDAS EN COSTA RICA ENTRE 1951-1990, POR PROVINCIA.....	2
2	INUNDACIONES OCURRIDAS EN LA PROVINCIA DE LIMON ENTRE 1951 Y 1990.....	4
3	POBLACIONES AFECTADAS POR EVENTOS EXTREMOS.....	72
4	DESCARGAS PICG (p), PERIODOS DE RETORNO (T_r) Y DESCARGA MAXIMA OBSERVADA (max) OCURRIDAS EL 11-12 DE AGOSTO DE 1991.....	75
5	INUNDACIONES CON CAUDALES SUPERIORES A 3000 m ³ /seg...	78
6	CAUDALES MAXIMOS INSTANTANEOS ANUALES; ESTACIONES FLUVIOGRAFICAS BRATSI Y SIXAOLA.....	82
7	PERIODOS DE RETORNO DE LOS CAUDALES MAXIMOS INSTANTANEOS ANUALES DE 1988 Y 1991.....	83
8	PERIODOS DE RETORNO DE LOS CAUDALES MAXIMOS INSTANTANEOS ANUALES: ESTACIONES BRATSI Y SIXAOLA.....	ANEXO D

INDICE DE TABLAS

1	ZONIFICACION DE AMENAZAS POR INUNDACIONES.....	31
---	--	----

INDICE DE MAPAS

1	MAPA DE UBICACION.....	34
2	MAPA HIROGRAFICO: CUENCA DEL RIO SIXAOLA.....	36
3	MAPA DE USO DE SUELO: CUENCA DEL RIO SIXAOLA.....	41
4	MAPA GEOLOGICO: CUENCA DEL RIO SIXAOLA.....	47
5	MAPA GEOMORFOLOGICO: CUENCA DEL RIO SIXAOLA.....	52
6	MAPA DE PENDIENTES: CUENCA DEL RIO SIXAOLA.....	54

7	VARIACION ESPACIAL DE LA RED DE DRENAJE EN EL VALLE DE TALAMANCA.....	56
8	MIGRACION DEL RIO SIXAOLA ENTRE 1960 Y 1992.....	58
9	RED DE DRENAJE DEL VALLE DE TALAMANCA.....	64
10	INUNDACIONES EXTREMAS EN EL VALLE DEL RIO SIXAOLA....	71
11	ZONIFICACION DE AMENAZAS POR INUNDACION EN EL VALLE DEL RIO SIXAOLA.....	89
12	AMENAZA POR COMPORTAMIENTO MEANDRICO EN BRIBRI.....	103

INDICE DE FIGURAS

1	INUNDACIONES OCURRIDAS EN COSTA RICA DE 1951 A 1990 POR PROVINCIA... ..	3
2	ESQUEMA IDEALIZADO DE LA ZONIFICACION PROPUESTA.....	29
3	PRECIPITACION PROMEDIO MENSUAL ESTACIONES AMUBRI Y SIXAOLA.....	45
4	PERFIL GEOLOGICO ENTRE LAS LOCALIDADES DE CELIA Y SIXAOLA.....	51
5	FOTOGRAFIA AEREA DE LA LLANURA COSTERA DEL RIO SIXAOLA.....	60
6	LLUVIAS PUNTUALES MAXIMAS ENTRE EL 11 Y 13 DE ABRIL DE 1991 Y ENTRE EL 27 Y 29 DE DICIEMBRE 1988: ESTACION SIXAOLA.....	77
7	LLUVIAS PUNTUALES MAXIMAS ENTRE EL 11 Y 13 DE ABRIL DE 1991 Y ENTRE EL 27 Y 29 DE DICIEMBRE 1988: ESTACION BRATSI.....	77
8	CAUDALES MAXIMOS INSTANTANEOS DIARIOS DE 1988 Y 1991.	77
9	CAUDALES PROMEDIO MENSUAL: ESTACIONES BRATSI Y SIXAOLA.....	81
10	PERIODO DE RETORNO, ESTACION SIXAOLA: UTILIZANDO GUMBEL.....	ANEXO D

- 11 PERIODO DE RETORNO, ESTACION SIXAOLA: UTILIZANDO
LOG-PEARSON TIPO III..... ANEXO D
- 12 PERIODO DE RETORNO, ESTACION BRATSI: UTILIZANDO
GUMBEL..... ANEXO E
- 11 PERIODO DE RETORNO, ESTACION BRATSI: UTILIZANDO
LOG-PEARSON TIPO III..... ANEXO E

Resumen

La llanura aluvial del Río Sixaola, en la provincia de Limón, se ve afectada por constantes inundaciones que lesionan la producción, servicios e infraestructura locales. Las pérdidas van desde cosechas enteras de banano para exportación, destrucción de viviendas, hasta la muerte de habitantes durante los eventos extremos. A falta de recursos para la construcción de estructuras de protección contra inundaciones y en vista de la necesidad de reducir las pérdidas, se hace necesario el desarrollo de una zonificación de amenazas por inundaciones, de manera que se regule el uso actual del suelo y se planifique el desarrollo tomando en cuenta los niveles de amenaza. La zonificación se basa en la geomorfología fluvial de la llanura, aprovechando sus formas características, tales como: terrazas, abanicos aluviales, muros naturales, meandros abandonados. Con estos parámetros geomorfológicos se declaran cuatro zonas con diferentes niveles de amenaza de inundación, a las que se les propone el uso del suelo más apropiado. Las zonas son: Zona De Muy Alta Amenaza, apta para la conservación ambiental, Zona De Alta Amenaza, apropiada para un uso agropecuario, Zona De Moderada Amenaza, en donde se puede dar un uso urbano restringido y Zona De Prevención, propicia para cualquier uso.

ABSTRACT

The alluvial plain of the Sixaola River, Province of Limón, Costa Rica, is frequently affected by flooding that can harm the local (agricultural) production and (economic) infrastructure, for example losses of banana production, housing and people which are common occurrences in this area. Lack of resources to construct flood protection devices has created the need to identify zones of varying hazard of inundation based on the fluvial geomorphology of the existing floodplain features. In this manner the morphodynamics of the river course (terraces, meanders, abandoned river channel) and land use will be studied resulting in the identification of four zones of low to high flood potential with an appropriate suggested land use category given the identified level of risk. The zones are: Zone of Very High Hazard; suitable for environmental conservation, Zone of High Hazard, land and cattle farming, Zone of moderate Hazard; restricted urban use, and Zone of prevention; favorable for any type of land use.

INTRODUCCION

A través de su historia, el hombre ha buscado la forma de convivir con la naturaleza en forma dominante. En esta relación hombre-naturaleza ambos llegan a afectarse en busca de un equilibrio que favorezca al hombre y sus actividades.

No obstante la dinámica propia de los procesos naturales pueden generar eventos que escapan al control del hombre provocando severos trastornos a éste, sus actividades y sus bienes, tales como: huracanes, tormentas, terremotos, deslizamientos inundaciones, etc. A estos eventos se les ha llamado "desastres naturales", y el hombre ha aprendido a hacerles frente durante su historia.

Sin embargo en los últimos años, a nivel mundial, se han incrementado las pérdidas provocadas por desastres naturales en proporción al crecimiento de la población mundial, lo que ha llevado a la organización de Las Naciones Unidas a declarar a la década de los 90s como el decenio internacional para la reducción de los desastres naturales (LAVELL, 1987).

La magnitud del impacto provocado por los eventos naturales generadores de desastres está en función, por un lado, de la dimensión propia del evento natural, y por el otro de las características socio-culturales de las sociedades afectadas (nivel tecnológico, personal capacitado, disponibilidad de recursos, percepción del riesgo, planificación oportuna). Es por esto que aunque los desastres naturales ocurren constantemente alrededor del mundo, los países subdesarrollados son especialmente afectados, debido a que en su medio no sólo se presentan condiciones físicas inestables, como en las economías desarrolladas (propensión a inundaciones, deslizamientos, tornados, huracanes etc.), si no que sus condiciones socio-económicas (pobreza extrema, desorganización, exposición, etc) facilita el que un evento natural produzca severas consecuencias (LAVELL, 1987).

Como país subdesarrollado, Costa Rica no escapa a esta suerte, viéndose afectado por una gran cantidad de eventos naturales capaces de generar desastres, como por ejemplo deslizamientos, tormentas tropicales, flujos de piroclastos, etc. Uno de estos eventos naturales reviste especial importancia por su frecuencia y daños acumulativos. Se trata de las inundaciones, eventos que en alguna medida benefician al hombre, al renovar y fertilizar los suelos (TREFETHEN, 1987), pero que a su vez introduce un riesgo constante a los habitantes de las llanuras de inundación. Por la aptitud agrícola de las tierras aluvionales no es conveniente abandonarlas, se debe procurar la búsqueda de mecanismos que le permitan al hombre su explotación, sin arriesgar su propia vida y el capital invertido.

Específicamente en la vertiente Caribe de Costa Rica son muy frecuentes las inundaciones debido a sus características climáticas. En la mayoría de los casos las inundaciones son de carácter regional, pero también se presentan en las diferentes cuencas dependiendo de la concentración de las lluvias.

La cuenca del Río Sixaola, es una de las más afectadas por constantes y severas inundaciones, su llanura de inundación es un territorio ampliamente utilizado en actividades de subsistencia y agroexportación, no obstante su utilización se ve amenazada por la ocurrencia de periódicas inundaciones que destruyen los cultivos, las casas, matan animales domésticos y pueden cobrar vidas humanas.

Esta investigación pretende contribuir a lograr reducir las pérdidas generadas por las inundaciones en la llanura aluvial del Río Sixaola, generando un impacto positivo sobre la sociedad y la economía local y regional en el mediano plazo. Se trata de desarrollar una zonificación de amenazas por inundaciones que permita corregir el uso peligroso actual del suelo y servir como base en la planificación del desarrollo local.

1. PLANTEAMIENTO Y JUSTIFICACION DEL PROBLEMA

Los desastres naturales son eventos naturales que afectan a comunidades más allá de sus capacidades de respuesta, traduciendo en serios daños a la infraestructura, actividades económicas e incluso a la pérdida de vidas humanas (SMITH, 1992).

Los últimos estudios sobre desastres naturales, a nivel general, denotan un aumento en el número de víctimas, sin que existan pruebas de cambios sustanciales en los patrones de comportamiento de los eventos naturales que los originan, por lo que se sugiere que este incremento está relacionado con una mayor exposición de personas, bienes, servicios y actividades económicas a peligros naturales (WIJKMAN & TIMBERLALSE, 1985).

Por otro lado, los desastres naturales tienden a concentrarse en los países subdesarrollados. Sanissis citado por LAVELL (1987) indica que alrededor del 90% de estos desastres naturales ocurren en los países pobres de Asia, Africa y América Latina. Lavell atribuye este fenómeno a la correspondencia, en un mismo espacio, de condiciones físicas inestables (geológicas, geomorfológicas y climáticas) con bajos niveles de desarrollo, permitiendo que un evento natural se convierta fácilmente en un desastre, en otras palabras a una mayor vulnerabilidad humana ante los eventos peligrosos.

Dentro de los desastres naturales las inundaciones han estado experimentando el mayor incremento, como lo demuestra el estudio realizado por el "grupo de investigación sobre desastres naturales", retomado por WIJKMAN & TIMBERLALSE (1985), donde se indica un fuerte incremento en las personas afectadas en la década de los sesenta, pasando de 5.2 millones en 1960 a 15.4 millones en 1970. Por su parte CALVO (1984), señala que el riesgo natural más extendido y experimentado a nivel mundial son las inundaciones.

Costa Rica es un país subdesarrollado, donde en las áreas peligrosas se sostienen actividades económicas, infraestructuras y poblaciones expuestas a constantes pérdidas. Del mismo modo que a nivel mundial en este país las inundaciones son uno de los más frecuentes y destructivos desastres.

En el cuadro Nº1 ARROYO Y LAVELL (1990) muestran un acelerado incremento en la incidencia de inundaciones en Costa Rica. En este cuadro se resalta una tendencia ascendente de las inundaciones a nivel nacional, especialmente marcado en la década de los 80s.

CUADRO Nº 1
INUNDACIONES OCURRIDAS EN COSTA RICA ENTRE 1951 y 1990
POR PROVINCIA

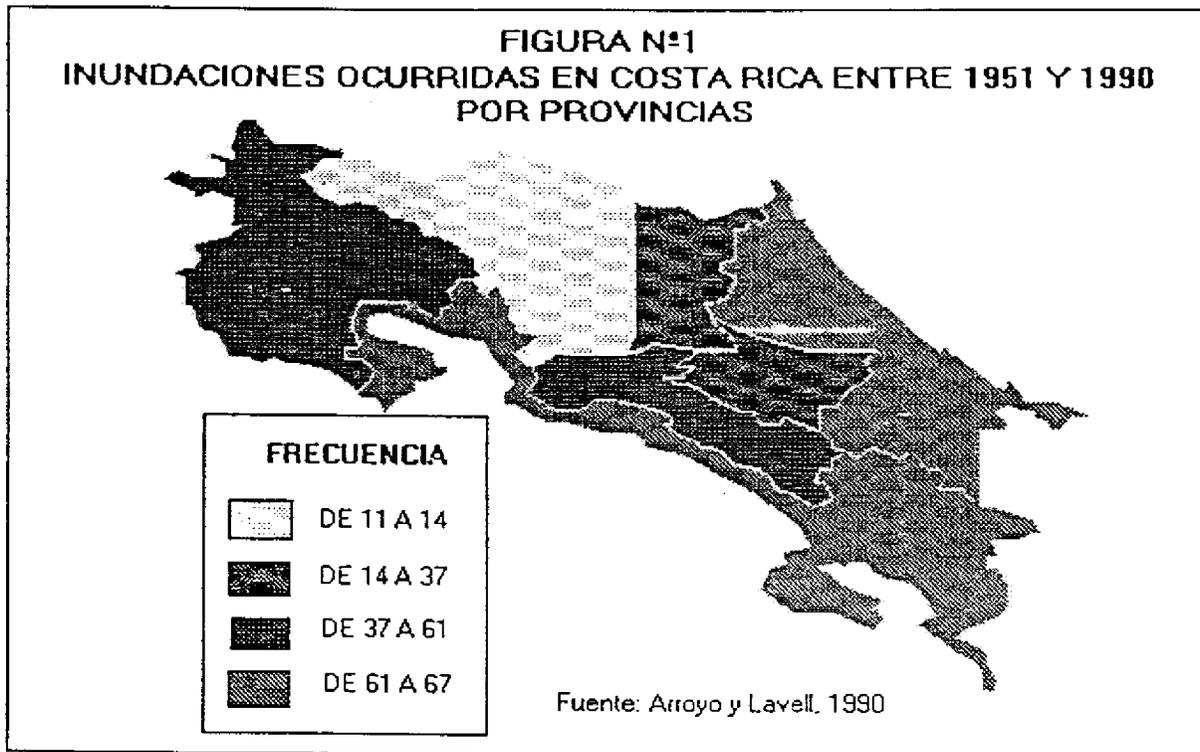
PROVINCIA	INUNDACIONES			
AÑOS:	51-60	61-70	71-80	81-90
SAN JOSE	2	9	11	15
CARTAGO	4	16	5	11
PUNTARENAS	18	9	18	16
HEREDIA	1	5	1	7
GUANACASTE	16	8	8	14
ALAJUELA	1	2	4	4
LIMON	3	12	9	43
TOTAL DEL PAIS	44	61	55	119

Modificado de: ARROYO, L.; LAVELL, A. 1990. Costa Rica; zonas de riesgo: vulnerabilidad física y social.

Al analizar los datos del cuadro no se debe perder de vista que la fuente principal utilizada la constituyen los registros periodísticos. Por lo tanto el incremento puede atribuirse parcialmente al mejoramiento en la cobertura de los medios de comunicación masiva (ARROYO Y LAVELL, 1990). No obstante puede sospecharse que una causa de peso la constituye la expansión demográfica, caracterizada por la falta de planificación, lo que ha

llevado a aumentar la densidad de las construcciones en zonas peligrosas. En todo caso, estas cifras evidencian la necesidad de atender el problema de las inundaciones urgentemente.

Como se aprecia en la figura N° 1, las dos provincias más afectadas por inundaciones son las provincias de Puntarenas y Limón, ambas provincias costeras.



Entre 1951 y 1990 Limón experimentó el mayor número de inundaciones (67 eventos). De estos eventos el 64% ocurrieron en la década de los 80s, lo que indica un recrudecimiento del problema. Ahora a un nivel más detallado, como se observa en el cuadro N°2, se puede apreciar que la cuenca más afectada por las inundaciones,

en la Vertiente Caribe, es la del río Reventazón-Parismina; sin embargo su extensión incluye territorios en dos provincias (Cartago y Limón), también se observa que las cuencas de los ríos Limoncito, Matina y Sixaola presentan frecuentes inundaciones.

CUADRO Nº 2

INUNDACIONES OCURRIDAS EN LA PROVINCIA DE LIMON ENTRE 1951 y 1990

CUENCA	INUNDACIONES				
	AÑOS:	51-60	61-70	71-80	81-90
Río Reventazón		3	3	2	7
Río Limoncito		-	1	2	8
Río La Estrella		-	1	1	6
Río Bananito		-	1	-	4
Río Matina		-	2	-	8
Río Pacuare		-	2	1	1
Río Chirripó		-	1	2	1
Río Sixaola		-	1	1	8

Modificado de: ARROYO, L.; LAVELL, A. 1990. Costa Rica; zonas de riesgo: vulnerabilidad física y social.

Debe resaltarse que en las cuencas del Reventazón, Limoncito y Matina existe un importante desarrollo urbano, no así en la cuenca del Río Sixaola donde el uso urbano es limitado. Esta característica de la cuenca resalta la necesidad de planificar el desarrollo urbano, en vista de que un crecimiento desplanificado del área habitacional implicaría un aumento de las pérdidas futuras.

VAHRSON et, al. (1990), en su comentario al mapa "Amenazas de inundaciones en Costa Rica", informa que, propiamente en el cantón de Talamanca, se han presentado problemas con las inundaciones en los poblados ubicados tanto en la parte media de la cuenca del Río

Sixaola, como también en la parte baja, en los poblados de Bratsi, Chase, Bribrí, Daytonia, San Miguel, Finca Palma, Riversides, Isla Grande, Finca Clarita, Margarita, Gandoca, Olivia y Sixaola, así como en algunas localidades panameñas. Indica además, que las actividades agrícolas (básicamente plantaciones bananeras y cultivos de subsistencia, ubicados en las partes más bajas de la cuenca) se han visto afectadas por las inundaciones.

ARROYO & PATTERSON (1988), señalan que el problema de las inundaciones, en el Río Sixaola, ha llevado a la construcción de diques de tierra, tanto del lado panameño como del costarricense, para proteger las plantaciones de las compañías bananeras instaladas en la parte baja de la cuenca. A pesar de ésto entre las consecuencias más lamentables provocadas por las inundaciones se reporta la muerte de tres personas y la desaparición de otras tres (DESTRUCCION EN el Atlántico, 1988 y CNE, 1993).

La frecuencia de las inundaciones en el Valle del Río Sixaola, y por ende el deterioro en las condiciones socio-económicas de sus habitantes y en algunos casos, la pérdida de vidas humanas, lleva a la necesidad de buscar medidas que conduzcan a una reducción de las pérdidas ocasionadas por las inundaciones.

Para atender este problema se plantea, en esta investigación, la realización de una zonificación de amenazas por inundación. Con esta zonificación se procura que la dinámica natural del río Sixaola no se convierta en un impedimento al crecimiento económico, al poner bajo riesgo la inversión de capitales y la vida de sus pobladores, sino, más bien, que se reconozcan las áreas propensas a inundarse, en orden decreciente de peligro y se sugiera el uso del suelo más adecuado para cada una de ellas, en una relación costo-beneficio.

De esta manera se tendrá una medida de prevención a bajo costo, si se la compara con los costos de construcción,

mantenimiento y vida útil de obras ingenieriles (tendientes a la regularización parcial o total del cauce o su confinamiento). La carencia de recursos y las condiciones geográficas tanto físicas como humanas de la Región Caribe apuntan a la zonificación como una medida pertinente (anexo A "Perspectivas de las acciones de mitigación de las inundaciones en Limón").

Tras la realización de esta zonificación se evidenciará el nivel de amenaza a que están expuestos los diferentes centros poblados del valle, sirviendo como fundamento para la toma de decisiones en función de prevenir y mitigar el riesgo a las inundaciones. Una vez identificadas las zonas de amenaza debe procurarse una restricción en el uso del suelo, evitándose reiteradas pérdidas humanas y materiales, que afectan no sólo a la economía local, sino también a la economía global del país, debido a la pérdida, reparación y reconstrucción de infraestructura y servicios, la destrucción de la producción agropecuaria para consumo local y exportación, por la movilización de recursos estatales para atender la emergencia e iniciar la recuperación del área.

1.1 Objetivo general

Elaborar una zonificación de amenazas por inundación como medida para la reducción de las pérdidas generadas por las inundaciones a que se ven expuestos los habitantes y actividades económicas en la llanura de inundación del Río Sixaola. El objetivo que se persigue es brindar un instrumento de planificación que permita reducir las pérdidas constantes, mediante el reconcimiento de las áreas propensas a inundarse y su frecuencia. Dicha zonificación no sólo permitirá corregir las tendencias actuales a un uso del suelo potencialmente peligroso, si no además, brindará una base para la planificación del desarrollo en el Valle de Río Sixaola.

1.1.1 Objetivos específicos

Caracterizar, en forma general, los componentes hidrológicos, geológicos, geomorfológicos, uso del suelo, cobertura vegetal y clima, de la cuenca para evaluar su papel en las inundaciones.

Establecer el número, frecuencia y causa de las inundaciones ocurridas en el Valle de Sixaola.

Analizar la morfodinámica del cauce con base en fotografías aéreas, trabajo de campo, y su relación con las inundaciones.

Evaluar la posibilidad de aplicar los modelos de simulación HEC-1 y HEC-2, para la identificación de las áreas inundables a partir de los períodos de retorno.

Elaborar un mapa de zonificación de inundaciones a partir del nivel de amenaza en cada zona.

Proponer medidas de mitigación y prevención ante el riesgo a que se expone la población e infraestructura.

II. REVISION BIBLIOGRAFICA

2.1 Conceptos generales

Si bien los conceptos clásicos relacionados con los desastres naturales están convencionalmente definidos por la Oficina Para la Reducción de los Desastres de las Naciones Unidas (UNDRO), cabe definir como se van a interpretar en esta investigación, antes de entrar en el detalle de las inundaciones:

Primeramente como "Desastre Natural" se entenderá el evento natural que afectó a comunidades determinadas más allá de sus capacidades de respuesta, traducándose en serios daños a la infraestructura, actividades e incluso a la pérdida de vidas humanas (ONU. UNDRO, 1976).

Por "Amenaza o Peligro Natural" se entiende como un proceso natural que por sus características puede ocasionar daños (ONU. UNDRO, 1976).

"Vulnerabilidad Natural" se refiere al grado de exposición de una comunidad dada a una amenaza natural determinada (SMITH, 1992).

Al unir estos dos últimos conceptos se llega al concepto de "Riesgo Natural" el cual hace referencia a un evento natural específico que puede afectar a una organización social específica en un lugar y en un momento dado (ONU. UNDRO, 1976).

Al aplicar estos conceptos al caso específico de las inundaciones se tiene que "amenaza por inundación" se refiere a la posibilidad de que una inundación produzca daños en un lugar dado, "vulnerabilidad a las inundaciones" se refiere al grado de exposición de una comunidad dada a una inundación y finalmente el "riesgo de inundación" es la posibilidad de que una inundación determinada afecte a una comunidad determinada en un momento dado.

2.2. Medidas para la reducción de las pérdidas causadas por desastres naturales

Con la finalidad de reducir las pérdidas ante peligros naturales, SMITH (1992) propone la posibilidad de tomar dos grandes caminos, que a pesar de ser distintos no son excluyentes, estos son: **modificación del evento físico y modificación de la vulnerabilidad humana.**

2.2.1 Modificación del evento físico

Este enfoque va dirigido a buscar la reducción del potencial dañino asociado a un peligro particular, por medio de algún grado de control físico sobre los procesos involucrados. Para lograrlo se puede actuar por dos vías, la primera por medio del "control ambiental" y la segunda por lo que Smith llama "resistencia al peligro".

El control ambiental busca atacar las causas del problema, modificando el ambiente. El problema medular de esta vía consiste en que el grado actual de conocimiento científico no permite un satisfactorio control ambiental que evite completamente el peligro (SMITH, 1992). En el TALLER REGIONAL DE CAPACITACION PARA DESASTRES (1988), se señalaron dos prácticas de control ambiental para el caso de las inundaciones:

- Regulación de la escorrentía mediante reforestación
- Prácticas de manejo de cuencas.

DUNNE & LEOPOLD (1978) afirman, basados en otras investigaciones, que se ha sobrevaluado el efecto de estas prácticas sobre las inundaciones y si bien son importantes no garantizan su control. Cabe destacar, en el caso específico de la

cuenca del río Sixaola, que la cobertura vegetal en la sección alta de la cuenca se ha logrado conservar a través de una protección legal, al formar parte del Parque Nacional Chirripó y del Parque Internacional De La Amistad (FUNDACION NEOTROPICA, 1987), a pesar de esto las inundaciones son frecuentes y destructivas.

Por otro lado la resistencia al peligro involucra la aplicación de decisiones y construcciones ingenieriles en función de amortiguar el impacto del peligro. A este respecto el TALLER REGIONAL DE CAPACITACION PARA DESASTRES (1986), indica varias medidas en el caso de las inundaciones:

Retención parcial o total de las aguas de crecientes en embalses de acumulación o de retardamiento.

Desvío de las aguas de inundación hacia sectores donde los efectos pueden ser menos críticos.

Regularización de los cauces para acelerar el flujo hacia aguas abajo, mediante la supresión de obstáculos (sedimentos, troncos, vegetación, meandros, umbrales, estrechamientos, etc.)

Confinamiento del curso de agua en su cauce mayor y el menor, sensiblemente en la dirección general del flujo (diques y jarillones)

Debe resaltarse que estas medidas tienen una vida útil, y requieren de mantenimiento (CURSO INTERNACIONAL CONTROL DE INUNDACIONES, 1989), por otro lado, debido generalmente a los costos, estas obras no son construidas para soportar los mayores eventos, más bien están hechas para soportar eventos de magnitud específica de acuerdo a estimaciones de costo-beneficio (SMITH, 1992). Cuando estas tres condiciones no se toman en cuenta, se introduce un nuevo riesgo, correspondiente al efecto de percepción

de una completa seguridad ante las obras ingenieriles, lo que llevaría a los pobladores a acercarse más al cauce (COLOQUIO DE GEOGRAFOS ESPAÑOLES, 1986).

No obstante, DUNNE & LEOPOLD (1978) señalan que éstas son las medidas más usadas y con más fuerte soporte tecnológico, pero que las experiencias negativas en algunos sitios, tales como rompimiento de presas y destrucción de diques, han llevado a los investigadores a buscar medidas no estructurales en tanto sea posible.

El Valle de Sixaola es una área fronteriza, de escaso desarrollo urbano, donde las actividades principales son la producción de banano para exportación y la agricultura de subsistencia, la primera cuenta con la capacidad para invertir en medidas de resistencia a las inundaciones como diques, no obstante la segunda no genera suficientes ganancias, por lo que su atención debe ser asumida por el Estado. El costo de construcción y mantenimiento de obras ingenieriles es elevado y la infraestructura bajo riesgo es poca y de bajo costo, por esta razón y las apuntadas anteriormente no es recomendable utilizar este camino en la reducción de pérdidas por inundaciones.

2.2.2 Modificación de la vulnerabilidad humana

El segundo camino a tomar en la reducción de las pérdidas ante un peligro natural es la modificación de la vulnerabilidad humana, éste implica un cambio en las actitudes humanas (SMITH, 1992), se trata más bien de ajustar las actividades sociales al peligro. Su ámbito de acción es muy variado, involucra medidas como: preparación comunal, sistemas de atención de emergencia, medidas legales, financieras, sistemas de pronóstico y alerta, propuestas de uso del suelo, etc.

Las medidas tales como: coordinación de ayuda internacional, coordinación interinstitucional, preparación comunal y sistemas de atención de emergencia, son atendidas, en nuestro país, por la Comisión Nacional de Emergencia. entidad que coordina las acciones antes y durante los desastres. Estas medidas son muy útiles en la reducción de las pérdidas por inundaciones, máxime si se toma en cuenta que la pérdida de vidas humanas es considerada como la mayor pérdida, no obstante sus acciones son enfocadas para actuar durante e inmediatamente después del evento peligroso, por lo que no previenen la ocurrencia de gran parte de las pérdidas.

En lo referente a los sistemas de alerta y pronóstico, tienen el problema de dejar un corto plazo para disminuir las pérdidas, si bien son de gran utilidad, no siempre son del todo efectivas (SMITH, 1992). Los problemas fundamentales que plantea son la veracidad del pronóstico y el corto tiempo que se tiene para actuar después de emitida la alerta, así por ejemplo, en el caso de que una alerta por inundación amerite evacuar un área, el tiempo del que se dispone es corto y por lo general no alcanza para proteger los bienes materiales, por otra parte la infraestructura no se puede trasladar y lo más grave es que algunas personas se resisten a ser evacuadas (SMITH, 1992).

La planificación del uso del suelo como medida de reducción de las pérdidas, no tiene un efecto inmediato, más bien su ámbito de acción es el mediano y largo plazo, al contrario de los pronósticos y las alertas. Lo que se busca con esta medida es una gestión del uso del suelo de acuerdo a los distintos niveles de peligrosidad, de manera que la mayor inversión en infraestructura y densidades de personas, no se ubiquen en los sitios de mayor peligro.

Esta vía de acción procura que la intensidad del uso del suelo esté en función del grado de peligrosidad potencial de cada área. No obstante como señala el Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de la ONU (ONU. DEPARTAMENTO DE ASUNTOS ECONOMICOS Y

SOCIALES, 1977)), no siempre es posible la gestión del uso del suelo porque podría implicar conflictos en varios sentidos como son: uso actual de áreas peligrosas, intereses de grupos locales, lo costoso de la relocalización y sus conflictos comunales asociados, la presión sobre el suelo y la falta de percepción del peligro.

Sin embargo para contrarrestar estas problemáticas, se utilizan políticas que desalienten la ocupación de estas áreas como por ejemplo: campañas de concientización a la población, bajos seguros a cosechas e infraestructuras, relocalización de edificios gubernamentales, no otorgamiento de créditos, no brindar servicios públicos, como por ejemplo agua y electricidad, entre otros, en estas áreas peligrosas.

A pesar de esta limitación la planificación del uso del suelo es muy útil en comunidades que están todavía creciendo y con terrenos aún no desarrollados (SMITH, 1992), precisamente porque permite corregir las tendencias negativas del desarrollo y aprovechar el suelo de la mejor manera. Este es el caso del Valle de Sixaola, en donde el crecimiento urbano es limitado y predomina un uso del suelo agropecuario, y las inundaciones periódicas lesionan el crecimiento local.

La combinación de la gestión del suelo, las medidas de atención de desastres y la planificación del desarrollo, pueden asegurar una significativa disminución de las pérdidas por inundaciones en el Valle de Sixaola. La gestión del suelo sólo es posible realizarla con un buen reconocimiento de los sitios peligrosos, información de la que no se dispone en el Valle de Sixaola. No obstante, sí se cuenta con un buen trabajo en el campo de la atención a la emergencia ante un desastre.

La identificación y delimitación de las zonas peligrosas ante inundaciones implica el desarrollo de una zonificación de amenazas por inundación. Sin embargo, para lograr una eficiente reducción de

las pérdidas por inundación, se requiere que la planificación del desarrollo se fundamente en la zonificación, acompañada por medidas que desmotiven la inversión en las áreas peligrosas, tales como bajos seguros, no ofrecer servicios públicos, no otorgamiento de permisos de construcción, códigos especiales para construir en las áreas peligrosas, etc.

2.3. Zonificación de amenazas por inundaciones

Una zonificación de amenazas consiste en dividir la superficie del suelo en áreas de acuerdo al grado de amenaza actual o potencial de ocurrencia de un evento (VERGARA, 1987). Con la realización de una zonificación de inundaciones se busca identificar las áreas que se inundan y clasificarlas de acuerdo a su frecuencia, una vez identificadas las zonas se busca ajustar el uso del suelo al potencial de inundación en cada zona. De esta forma la zonificación actuará como un instrumento para la prevención de daños causados por las inundaciones.

En el área de estudio hay escasos trabajos realizados sobre peligros por inundaciones. Los trabajos existentes son parte de estudios a nivel nacional, por lo que no se enfatiza el problema de las inundaciones en el Valle del Río Sixaola, ni sugieren posibles soluciones, a continuación se describen brevemente:

ARROYO & PATTERSON (1988), se refieren a la cuenca del río Sixaola de manera general, describiendo sus características geomorfológicas, e indicando que se han presentado inundaciones.

HERNANDEZ (1990), presenta un mapa de amenazas de inundaciones en Costa Rica a escala 1:500.000, en donde se enmarca al área de estudio como área con amenaza de inundación. En esta

zonificación, Hernández se basa en información periodística, de boletines hidrológicos y meteorológicos, y algunos trabajos específicos, para que a través de su interpolación y extrapolación -considerando la topografía y la geomorfología- se establezcan, sobre un mapa base 1:500.000, las zonas inundables.

Es evidente la necesidad de trabajos detallados que cubran el área a gran escala, que permitan valorar el nivel de riesgo específico a que se expone la población, infraestructura y actividades económicas en el Valle de Sixaola.

Se han hecho zonificaciones de inundaciones en otras áreas, aplicando diferentes metodologías y para diferentes regiones del país, a continuación hace un sumario de éstas:

BADILLA (1980), desarrolla una zonificación en la sección inferior de la cuenca del río Tempisque, constituida por un área prohibida, área restringida y área de advertencia. Estas áreas se definieron a partir de registros hidrológicos de crecidas, complementados con una revisión periodística de la cual extrae las áreas inundadas. Con esta información establece un cuadro donde coloca una columna con la crecida, seguida por otra con el área inundada según los reportes periodísticos y trabajo de campo. Con las dos columnas anteriores establece la frecuencia de inundación en cada área.

Badilla, deja por fuera los aspectos geomorfológicos y se apoya fuertemente en los registros periodísticos, para establecer la frecuencia de inundación y delimitar las zonas. Otras investigaciones que han utilizado la fuente periodística, señalan que no es precisa (ARROYO & LAVELL, 1990; DUNNE & LEOPOLD, 1978), conforme se retrocede en el tiempo la cobertura de los periódicos es menor, por otro lado los periodistas tienen la tendencia actual

a tratar los desastres naturales de una manera sensacionalista, exagerando su impacto.

ARCE y MOYA (1989) por su parte, elaboraron un modelo físico-social, en el que intentan reproducir las características de la cuenca, usando las variables: meteorología, cobertura vegetal, geomorfología, geología, geometría, formaciones de suelos y aspectos sociales. Estas variables son agrupadas de manera que reflejen un diagnóstico de la situación actual de manejo de la cuenca en relación a las inundaciones. Como resultado se esboza un plan general de ordenamiento de la cuenca, para mitigar el efecto de las inundaciones.

Como se aprecia, ARCE & MOYA (1989) se centran en la elaboración de un diagnóstico sobre el problema de las inundaciones, del cual parten para sugerir medidas de manejo de la cuenca. Sin embargo DUNNE & LEOPOLD (1978) argumentan que las medidas enfocadas al manejo de la cuenca no llegan a un control efectivo de las inundaciones.

GARCIA (1990) aborda las inundaciones, en el caso de la ciudad de Turrialba, propone un enfoque de análisis a nivel de cuenca hidrográfica, en el cual contempla las variables: geomorfología, hidrología, clima, cobertura vegetal y acción antrópica. De esta manera intentó recrear las condiciones que generan las inundaciones, a la vez identifica cuales son las áreas bajo riesgo. Concluye con una serie de recomendaciones para el uso del suelo, junto con medidas ingenieriles, plasmadas en un mapa.

En el caso del río Sixaola la utilización de medidas estructurales de alto valor, no es viable desde el punto de vista económico, por tratarse de un río mucho mayor y en donde el desarrollo urbano es bastante limitado.

La metodología empleada por ARCE Y MOYA (1989), al igual que GARCIA (1990), enfocan a la cuenca como un sistema funcional, no obstante las variables son atendidas en forma general y no se profundiza sobre las características específicas de la llanura aluvial, que controlan el proceso de inundación. Se requiere de un estudio más profundo que contemple la influencia de la geomorfología aluvial, sobre la distribución espacial de las inundaciones.

Por otra parte, a nivel internacional se recomienda la utilización de la geomorfología para la determinación del riesgo de inundación. Se trata de la determinación de áreas inundables a partir de la geomorfología característica de la llanura de inundación y el factor de riesgo que ésta representa (ONU. DEPARTAMENTO DE ASUNTOS ECONOMICOS Y SOCIALES, 1977):

"Las condiciones locales de una inundación están íntimamente relacionadas, con relación de causa a efecto, con la microtopografía de la llanura inundable, por lo que los mapas geomorfológicos o edafológicos detallados constituyen una ayuda de valor incalculable para la definición de esas condiciones variables".

VERSTAPPEN (1988) manifiesta que la inspección geomorfológica es un buen criterio para el establecimiento del riesgo. Señala que un mapa geomorfológico es un buen punto de partida para la elaboración de un mapa de zonificación de amenazas, complementado con mapas que muestren la distribución de eventos pasados. A partir de este mapa de amenazas se puede elaborar una proyección sobre el potencial de los daños.

De acuerdo con las recomendaciones del Departamento De Asuntos Económicos Y Sociales y las de Verstappen, se utilizarán, en esta investigación, las formas geomorfológicas de la llanura aluvial como criterios para la realización de una zonificación de las áreas bajo amenaza de inundación.

VERSTAPPEN (1982) sugiere usar las formas de la llanura aluvial, poniendo especial énfasis en: muros naturales, pantános, lagunas oxbow y barras de arena. No obstante en esta investigación se sugiere conferir, también, un especial énfasis a las terrazas aluviales como criterio de zonificación, debido a que entre las terrazas quedan desniveles del terreno de relativa importancia (e.j. el desnivel entre la terraza del río y la terraza sobre la que se asienta Bribrí es de alrededor de 5m), los cuales pueden actuar como límite a la expansión de una crecida. Es decir el límite o pared de una terraza puede funcionar como retenedor de la inundación, al encontrarse varios niveles de terrazas, éstos pueden actuar dependiendo del caudal de la crecida. Según VERSTAPPEN (1982) las unidades geomorfológicas de la llanura pueden ser obtenidos a partir de fotografías aéreas o imágenes de satélite, sin embargo por el costo y nivel de detalle se usarán solamente las fotografías aéreas.

Otra sugerencia de VERSTAPPEN (1982), apunta a la utilización de imágenes de satélite o fotografías aéreas que muestren el área cubierta por una inundación violenta, para su mapeo. La altura del agua se obtendrá de las marcas sobre el terreno. No obstante, no se dispone en el país de imágenes de satélite de gran escala y en las bandas requeridas o fotografías aéreas de inundaciones importantes ocurridas en esta área. DUNNE & LEOPOLD (1978) sugieren que la información necesaria puede obtenerse de los depósitos o marcas de inundación, entrevistas a testigos, reportes periodísticos y fotografías, por lo que la extensión y profundidad de inundaciones históricas se puede determinar con base en el trabajo de campo.

Es necesario señalar que la desventaja de las zonificaciones de amenazas, basada en mapas geomorfológicos, radica en que no precisan la recurrencia de los eventos. Generalmente se asumen dos enfoques para las zonificaciones: el primero estático, determinado en función de la gravedad acumulativa de los daños, y el otro

probabilístico, considerando la frecuencia de los acontecimientos, ésta última implica el trazado de curvas de periodicidad, que muestran la frecuencia y magnitud de los acontecimientos peligrosos para un período de tiempo y en una superficie dada (VERGARA, 1987).

Con el fin de obtener un buen criterio sobre la distribución temporal de los caudales que han producido inundaciones extremas del Río Sixaola, se puede utilizar la teoría de las probabilidades, más concretamente la teoría de los valores extremos, consistente en distribuciones teóricas de valores, con la que se obtiene el período de retorno de dichos caudales.

2.4. Frecuencia de las inundaciones

Tanto en las zonas extratropicales como en las tropicales, las distribuciones teóricas más utilizadas han sido la distribución de valores extremos tipo I (conocida como Gumbel) y la Log-Pearson tipo III (VAHRSON & FALLAS, 1988, ESTADOS UNIDOS. INTERAGENCY ADVISORY COMMITTEE ON WATER DATA. 1982).

La ecuación Gumbel y la Log Pearson tipo III se presenta a continuación:

Gumbel : la distribución tipo I, de acuerdo con FALLAS (1992), se obtiene a partir de cualquier distribución exponencial que conlleve a una función exponencial al incrementar el valor de x .

$$P(x) = 1 - e^{-\left\{ \left[\frac{G_n (x - \bar{x}) + u}{S_x} \right] \right\}} \quad (1)$$

Donde:

- P : Probabilidad de tener un evento x mayor o igual que x
- e : Base de los logaritmos naturales
- G_n: Desviación estándar poblacional
- u : Media poblacional

Sx: Desviación estándar de la muestra

El intervalo de excedencia se obtiene como se muestra a continuación:

$$Tr = 1/P(1)$$

Donde Tr es el Intervalo de recurrencia

Log-Pearson tipo III: la distribución Log-Pearson tipo III, según FALLAS (1992), puede utilizarse para ajustar prácticamente cualquier tipo de distribución.

$$\text{Log } x = \bar{X} + KS \quad (2)$$

Donde:

- \bar{x} : Media Logarítmica
- K: $2/G(((Kn-G/6)G/6+1)^3 - 1)$
- Kn: Desviación estándar normal
- G: Coeficiente de asimetría de los logaritmos
- S: Desviación estándar de los logaritmos
- Log x: Logaritmo del evento extremo

Ambas metodologías son recomendables por lo que en este estudio se aplicarán las dos con el fin de obtener un dato lo más aproximado posible al real, como lo hace MORA (1992) con la estación El Humo. Debe resaltarse que el grado de certeza de ambos métodos depende fundamentalmente de la longitud del registro (LINDSEY, 1990). En otras palabras entre mayor sea el registro mayor es la confiabilidad que se le pueden dar a las estimaciones, y por el contrario con un registro corto disminuye la confiabilidad.

En este mismo sentido, la metodología propuesta por SANCHEZ (1989) permite un significativo acercamiento a la distribución espacial de los caudales, según han sido seleccionados los períodos de retorno. En el caso específico de la cuenca del Río Sixaola la veracidad de sus resultados es dudosa, debido a la escasa

disponibilidad de información, estos aspectos se discuten ampliamente en el anexo B "Aplicabilidad de los modelos HEC-1 y HEC-2 a la cuenca del río Sixaola".

A partir de la información obtenida de los estudios respectivos a este campo, se concluye que la forma más viable en procura de la reducción de las pérdidas por efecto de las inundaciones, en el caso del Valle del Río Sixaola, es mediante la elaboración de una zonificación de amenazas por inundación. Su realización se basará en la geomorfología de la llanura aluvial atendiendo a la relativa frecuencia con que se inundan formas aluviales tales como: muros naturales, pantanos, lagunas oxbow, cursos antiguos, terrazas y abanicos aluviales. De esta forma se tendrá una zonificación de amenazas por inundación que servirá como guía para la planificación en el uso del suelo en el Valle del Río Sixaola y por consiguiente a una reducción de las pérdidas ocasionadas por las inundaciones.