

**Instrumentos de apoyo para el  
ANÁLISIS Y LA GESTIÓN DE  
RIESGOS NATURALES**

**Guía para el especialista**

# CONTENIDO

PARTE I. METODOLOGÍA GENERAL.....	4
1 INTRODUCCIÓN .....	4
2 CONCEPTO GENERAL .....	5
2.1 El análisis de riesgos como proceso participativo .....	5
2.2 Partes principales de un análisis de riesgos .....	6
2.3 Análisis de riesgos cualitativos y cuantitativos .....	8
3 EVALUACIÓN CUALITATIVA DE RIESGOS.....	10
3.1 Evaluación de amenazas .....	10
3.1.1 Metodología general para la evaluación de amenazas .....	10
3.1.2 Estimación de probabilidades de ocurrencia de los eventos .....	13
3.1.3 Evaluación del grado de amenaza o peligrosidad .....	13
3.1.4 Resultados esperados de la evaluación de amenazas .....	14
3.2 Evaluación de vulnerabilidad.....	16
3.3 Evaluación del riesgo .....	16
3.4 Informe final.....	17
3.4.1 Propósito del informe final.....	17
3.4.2 Principios que rigen las propuestas o recomendaciones .....	18
3.5 Plan Municipal de Reducción de Desastres.....	19
PARTE 2: EVALUANDO RIESGOS PARTICULARES.....	20
4 FENÓMENOS NATURALES Y DESASTRES EN NICARAGUA.....	20
5 AMENAZAS HIDROLÓGICAS.....	21
5.1 Tipos de amenazas hidrológicas.....	21
5.2 Inundaciones .....	23
5.2.1 Identificación de áreas susceptibles de inundaciones .....	23
5.2.2 Evaluación de las amenazas por inundaciones.....	24
5.3 Crecidas repentinas y aludes torrenciales.....	26
5.3.1 Identificación de áreas de crecidas repentinas y aludes torrenciales .....	26
5.3.2 Evaluación de amenazas por crecidas repentinas y procesos torrenciales .....	27
6 AMENAZAS POR TERRENOS INESTABLES.....	28
6.1 Consideraciones generales sobre terrenos inestables .....	28
6.2 Clasificación de terrenos inestables.....	29
6.3 Identificación de deslizamientos .....	32
6.4 Evaluación de deslizamientos .....	34
7 AMENAZAS POR DERRUMBES .....	35
7.1 Identificación de derrumbes .....	35
7.2 Evaluación de derrumbes .....	36

8	COLADAS .....	36
8.1	Identificación de coladas .....	36
8.2	Evaluación de coladas.....	37
9	AMENAZAS VOLCÁNICAS.....	37
9.1	Tipos de amenaza volcánica.....	37
9.2	Evaluación de amenazas volcánicas .....	39
10	RIESGOS SÍSMICOS .....	41
10.1	Tipos de amenazas sísmicas en Nicaragua .....	41
10.1.1	<i>Fuentes de sismicidad.....</i>	<i>41</i>
10.1.2	<i>Regiones de amenaza sísmica.....</i>	<i>41</i>
10.2	Consideraciones locales .....	41
10.2.1	<i>Fallas superficiales .....</i>	<i>41</i>
10.2.2	<i>Otros factores locales de amenaza .....</i>	<i>42</i>
10.3	Vulnerabilidad a sismos .....	42
10.3.1	<i>Aspectos estructurales.....</i>	<i>42</i>
10.3.2	<i>Otros factores de vulnerabilidad de las construcciones .....</i>	<i>43</i>
11	BIBLIOGRAFÍA .....	45

# PARTE I. METODOLOGÍA GENERAL

## 1 INTRODUCCIÓN

Existen muchas publicaciones relativas a cómo hacer análisis de riesgos por fenómenos naturales, pero buena parte de esos documentos han sido elaborados para realidades muy distintas a las de Nicaragua, por lo que no son aplicables directamente. Proporcionar pautas adaptadas no solo a las necesidades del ámbito municipal de Nicaragua, sino también a las posibilidades que ofrece el marco de trabajo – esto es el objetivo del presente documento el cual forma parte de una serie de dos denominados ***Instrumentos de apoyo para el análisis y gestión de los riesgos naturales en el ámbito municipal***. El primero de ellos está dirigido a las **municipalidades**; este, que es el segundo, está dirigido a los **especialistas** en análisis de riesgos.

Se pretende proporcionar a los especialistas algunas recomendaciones acerca de la metodología a desarrollar para la realización de evaluaciones de amenazas y análisis de riesgos dirigidos a un uso técnico administrativo en las municipalidades; se brinda además criterios muy básicos y fáciles de aplicar para la identificación, tipificación y caracterización de las amenazas.

El énfasis está en los peligros asociados a terrenos inestables, inundaciones y procesos torrenciales; sin embargo se proporcionan también, aunque a manera general, indicaciones para la realización de evaluaciones de amenazas asociadas a otros fenómenos naturales como son el volcanismo y la sismicidad, obviando otros eventos potencialmente peligrosos como los meteorológicos, entre los que están huracanes, tormenta eléctrica (rayos), incendios y sequías.

También se describen algunos conceptos y la metodología para evaluar el grado de amenaza o de peligrosidad, la vulnerabilidad y el riesgo.

Las evaluaciones de amenazas, vulnerabilidades y riesgos deben ser realizadas por profesionales capaces y de diferentes disciplinas, ya que el tema de los desastres requiere de conocimientos que rebasan el campo de una sola especialidad; se necesita tener experiencia y conocimientos en campos tan diversos como la geología, la geotecnia, la hidrología, la economía, la planificación, y hasta las ciencias sociales, entre otros, para poder obtener una visión integral de la problemática de una zona bajo estudio.

## 2 CONCEPTO GENERAL

### 2.1 El análisis de riesgos como proceso participativo

La gestión de los riesgos consiste en una serie de actividades diseñadas para reducir las pérdidas de vidas humanas y la destrucción de propiedades e infraestructuras. Los resultados de este proceso continuo de manejo o gestión de riesgos pueden ser divididos en:

- Medidas para disminuir el riesgo de desastres a largo plazo (prevención), eliminando sus causas como la intensidad de los fenómenos, la exposición o el grado de vulnerabilidad.
- Medidas de preparación cuyo objeto es asegurar una respuesta apropiada en caso de necesidad, incluyendo alertas tempranas oportunas y eficaces, así como evacuación temporal de gente y bienes de zonas amenazadas.
- Medidas de respuesta cuando está sucediendo o ha sucedido un desastre (manejo o gestión de desastres, recuperación, reconstrucción).

Las medidas de prevención<sup>1</sup> incluyen la realización de estudios y análisis para identificar, evaluar y cuantificar el nivel de amenaza, vulnerabilidad y riesgo, así como las acciones para mitigar (reducir) los efectos de los peligros observados. Los estudios y análisis de identificación y evaluación de amenazas y vulnerabilidades están englobados en el denominado **análisis de riesgos**. El análisis de riesgos tiene como objetivo servir como base para la elaboración de los planes de reducción de desastres, y más allá de los planes de desarrollo municipal.

El concepto de trabajo para el **Análisis de riesgos** planteado en este documento y sugerido por varios autores, implica una estrecha interrelación entre los especialistas, la municipalidad y la población. Es importante integrar desde un inicio a miembros de las municipalidades al trabajo de análisis y evaluación con el objetivo de transmitir algunos conocimientos a éstos, entender más de la realidad del municipio y garantizar la continuidad e implementación de las recomendaciones vertidas en el documento resultado del estudio. Así se obtendrá información valiosa sobre zonas a priorizar, eventos desastrosos ocurridos, (ubicación, daños causados etc.), que permiten ahorrar esfuerzos y tiempo. El gobierno municipal como máxima autoridad del municipio, tiene obviamente la potestad de participar en la evaluación proponiendo acciones, obras etc.

El procedimiento implica también la participación de la población en gran parte del proceso de análisis de riesgos, tanto a través de talleres participativos como a través de entrevistas individuales a líderes comunales. Se pretende con esto por una parte el levantamiento de la información histórica sobre desastres ocurridos en la zona o sus alrededores, y por otra parte la integración de la comunidad en la definición y ejecución de las recomendaciones, como por ejemplo participación en comités de prevención y/o emergencia, en obras estructurales participativas como barreras vivas o muros de contención; o en medidas no estructurales como la reforestación de las zonas degradadas ambientalmente.

---

<sup>1</sup> En inglés, el término "prevention" significa "impedir que ocurra un desastres" (es muy fuerte). Por esto en inglés se habla de "prevention and mitigation" para hablar de la prevención.

## 2.2 Partes principales de un análisis de riesgos

La metodología de trabajo sugerida plantea el Análisis de "riesgos naturales"<sup>2</sup> a partir de tres pasos fundamentales que son:

1. **Evaluación de amenazas:** Se realiza a través de inventarios de fenómenos realizados de forma participativa con las municipalidades, los líderes comunales y la población; observaciones y mediciones de campo, análisis y revisión de información científica disponible (mapas, fotos aéreas, informes, etc), con el fin de conocer la probable ubicación y severidad de los fenómenos naturales peligrosos, así como la probabilidad de que ocurran en un tiempo y área específica. Tiene como resultado la elaboración de un mapa de amenazas, el cual representa un elemento clave para la planificación del uso del territorio y constituye un insumo imprescindible para la evaluación de los riesgos actuales y potenciales.

**En una evaluación cuantitativa, la amenaza en un sitio específico se podría caracterizar determinando para cada evento posible (i):**

- $m_i$ : magnitud del evento [definida por profundidad, velocidad, volumen, energía, ...]
- $p(m_i)$ : frecuencia o probabilidad de ocurrencia del evento [en % / año]

Por ejemplo, un sismo de magnitud entre 6,5 y 7,0 sería un evento posible; un sismo de magnitud entre 7,0 y 7,5 sería otro evento posible. A cada uno se le puede asociar una probabilidad anual.

2. **Evaluación de la vulnerabilidad:** Es el proceso mediante el cual se determina el nivel de exposición y predisposición a daños y pérdidas, ante una amenaza específica. Consiste en la identificación y evaluación de los elementos vulnerables y la estimación del porcentaje de pérdidas resultante de un fenómeno peligroso.

**En una evaluación cuantitativa, la vulnerabilidad de los bienes expuestos en un sitio específico a una amenaza específica podría caracterizarse por:**

- $W$ : Valor de los bienes expuestos [\\$]
- $V(m_i)$ : Vulnerabilidad específica, o porcentaje del valor expuesto que se perdería ante el impacto de un evento de magnitud  $m_i$

**Factores de vulnerabilidad:**

Es importante saber, en una sociedad, cuales son los factores o causas que conllevan a la construcción de vulnerabilidad (o a su reducción). Por ejemplo, la falta de recursos económicos o la falta de conocimientos acerca de las amenazas puede llevar a instalarse en zonas de amenaza.

3. **Evaluación del riesgo:** Un análisis de riesgo consiste en estimar las pérdidas probables para los diferentes eventos peligrosos posibles. Evaluar el riesgo es relacionar las amenazas y las vulnerabilidades con el fin de determinar las consecuencias sociales, económicas y ambientales de un determinado evento.

**Con las notaciones anteriores, el riesgo  $R$  se puede definir por:**

- $R_i = p(m_i) \times W \times V(m_i)$       [\\$ / año]

**Percepción del riesgo:**

Se debe tomar en cuenta que los actores sociales (población, autoridades) tienen una percepción del riesgo que puede ser influenciada por sus valores, su experiencia, sus prioridades. La

<sup>2</sup> Los llamados "riesgos naturales" no son naturales, puesto que la vulnerabilidad, que siempre es necesaria para que haya riesgo, es construida por la sociedad. Sin embargo, el concepto se usa aquí por su comodidad.

evaluación del riesgo deberá ser lo más objetiva posible, aunque los valores y las prioridades de los actores deben tomarse en cuenta cuando se formulan las recomendaciones.

**Recomendaciones:**

Una vez identificado un sitio de coexistencia de vulnerabilidad y amenazas y evaluado el riesgo asociado se pueden elaborar las correspondientes recomendaciones para la reducción de riesgos. En particular, las evaluaciones de riesgo sirven como base para incorporar medidas de mitigación, lineamientos de uso del suelo y otras recomendaciones a los planes estratégicos de desarrollo a nivel nacional, municipal, de cuencas e inclusive a nivel micro en el diseño de proyectos de construcción o infraestructura.

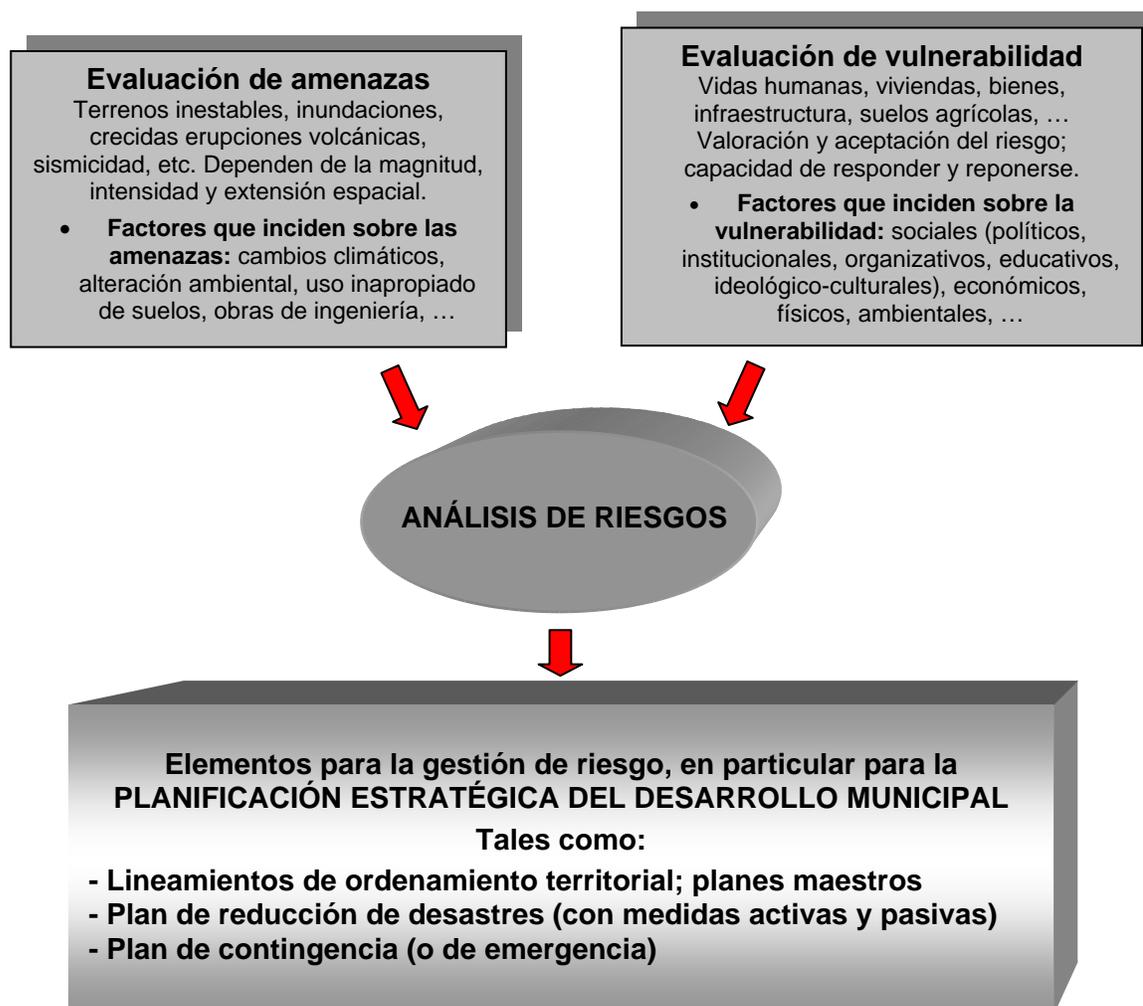


Fig. 1: Estructura general de un análisis de riesgos

## 2.3 Análisis de riesgos cualitativos y cuantitativos

### Condiciones de aplicación

Existen diversos métodos para el análisis de riesgos debidos a amenazas naturales; sin embargo todos plantean una metodología de evaluación que distingue Amenazas y Vulnerabilidades. Entre los métodos que se utilizan están los métodos de análisis cualitativos y cuantitativos. Los métodos cuantitativos pueden aportar, cuando son aplicables, un grado de objetividad superior. Sin embargo, la escasez de datos prohíbe generalmente su aplicación consecuente. Además, para permitir una eficiente gestión del riesgo, es generalmente más importante identificar correctamente las causas profundas (o factores) que causan el riesgo y que influyen sobre su dinámica (es decir sobre su crecimiento o su reducción), tanto del lado de las amenazas como del lado de las vulnerabilidades, que disponer de datos "exactos" sobre los riesgos en sí.

En este documento se plantea por consiguiente una metodología de trabajo basada en análisis cualitativos. No obstante se dan, a continuación, algunas indicaciones sobre métodos cuantitativos, ya que estimaciones numéricas de intensidad o de probabilidad de un fenómeno, o incluso cálculos de riesgo pueden sustentar en ciertos casos una afirmación cualitativa sobre el riesgo.

### Los métodos cuantitativos

Los métodos cuantitativos para el cálculo de riesgo implican generalmente el uso de análisis estadísticos y probabilísticos para determinar la probabilidad de ocurrencia de los fenómenos, la vulnerabilidad de los elementos en riesgo y el riesgo inducido. El método a aplicar depende de la recurrencia del fenómeno y de su variación espacial. Algunos ejemplos se muestran en la tabla siguiente.

Tabla 1: Tipos de análisis cuantitativos de amenazas

RECURRENCIA Y VARIABILIDAD ESPACIAL DEL FENOMENO	TIPO DE ANÁLISIS	EJEMPLO
Impactan siempre en la misma área	<ul style="list-style-type: none"><li>- Análisis de frecuencia en función o no de la magnitud del fenómeno</li><li>- Simulaciones a través de métodos probabilísticos o determinísticos</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>-Inundaciones en El Rama</li><li>-Deslizamiento de Selva Negra</li><li>-Tsunamis-maremotos</li></ul>
Impactan en áreas diferentes	<ul style="list-style-type: none"><li>- Espacial en función o no de la magnitud</li><li>- Espacial y frecuencial en función o no de la magnitud</li><li>- Simulación / Modelización con métodos determinísticos y/o probabilísticos</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>-Lahares del San Cristóbal</li><li>-Terremotos</li><li>-Flujos de lava</li></ul>
Impacta una vez solamente	<ul style="list-style-type: none"><li>- Simulación / Modelización con métodos determinísticos y/o probabilísticos</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>-Desastre Casita</li></ul>

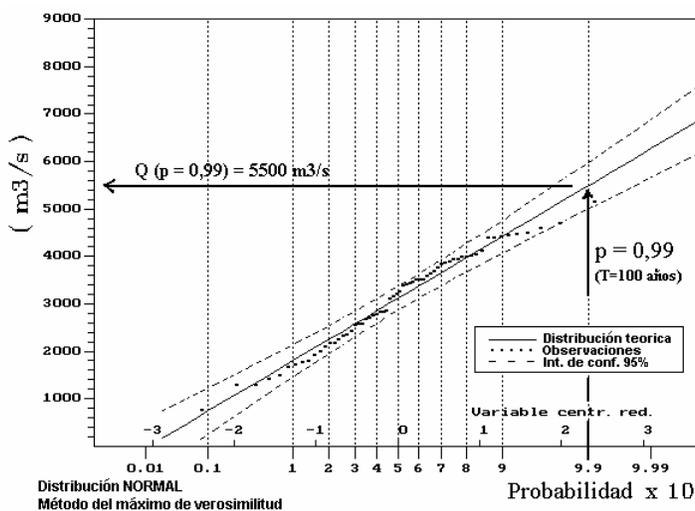
### Métodos cuantitativos para terrenos inestables

Entre los métodos cuantitativos de amplia aplicación para terrenos inestables se encuentran aquellos que calculan la probabilidad de ocurrencia de eventos peligrosos usando *modelos de variabilidad de pendientes, probabilísticos de suelo y rocas así como modelos determinísticos* (factores de seguridad). La probabilidad también puede calcularse combinando el análisis probabilístico con el

análisis semicuantitativo basados en el comportamiento físico del fenómeno tales como: utilizando información de eventos ocurridos en el pasado en un área determinada y durante un tiempo de exposición dado (debido a que el peligro está relacionado, con la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno, en este caso de origen natural); relaciones entre la geomorfología y la geología; precipitación y pendiente del terreno, etc.

### Métodos cuantitativos para fenómenos hidrológicos

En el caso de fenómenos hidrológicos (inundaciones, crecidas repentinas, flujos de lodo y escombros), se utiliza generalmente el análisis de frecuencia para determinar las intensidades de fenómenos asociadas a diferentes probabilidades o períodos de retorno. Por ejemplo, se puede determinar así los caudales asociados a una probabilidad de excedencia anual de 1% (probabilidad de no-excedencia de 99% ó 0,99) en una estación hidrométrica (estación donde se miden los niveles de agua de un río o una quebrada y se estiman los caudales correspondientes).



**Fig. 2: Ejemplo de ajuste de distribución de probabilidad**

Las distribuciones de probabilidad más comunes en hidrología son de tipo Normal, log-normal, Gumbel, log-Gumbel, y Pearson tipo III. Existen papeles de probabilidad en los cuales las observaciones históricas tienden a alinearse a lo largo de una recta cuando el tipo de distribución corresponde al fenómeno analizado. Cuando el tipo de distribución no es apropiado, los resultados del ajuste no deben utilizarse (debe cambiarse el tipo de papel o de distribución).

Para realizar un ajuste de calidad, se necesita por lo menos una serie de 20 máximos anuales observados. La calidad de los datos debe ser analizada previamente.

El análisis de frecuencia es la base para la elaboración de las curvas intensidad-duración-frecuencia que se pueden conseguir en INETER para diferentes localidades del país, y que son la base para los cálculos hidrológicos basados en las precipitaciones.

### Relaciones Intensidad – Probabilidad – Amenaza

Las probabilidades asociadas a los diferentes grados de intensidad posibles para un fenómeno definen su grado de amenaza. El riesgo total se puede obtener luego, estimando el daño para cada intensidad, y calculando el total de los daños esperados ponderados por las probabilidades de ocurrencia.

### 3 EVALUACIÓN CUALITATIVA DE RIESGOS

La aplicación de **métodos cualitativos** para el análisis de riesgos implica el conocimiento preciso de las amenazas, de los elementos en riesgo y de sus vulnerabilidades, pero expresados de forma cualitativa (basados en la experiencia y observaciones de campo). Las probabilidades de los eventos peligrosos son estimaciones realizadas partiendo de la experiencia de los especialistas, las vulnerabilidades y el riesgo son determinados también de forma relativa.

#### 3.1 Evaluación de amenazas

##### 3.1.1 Metodología general para la evaluación de amenazas

El principal objetivo de una evaluación de amenazas (o de peligros) es predecir o pronosticar el comportamiento de los fenómenos naturales potencialmente dañinos o, en su defecto, tener una idea de la probabilidad de ocurrencia de dichos fenómenos para diferentes magnitudes. De este modo, se logra una apreciación del riesgo que se correría en las zonas de influencia de las amenazas, si se utilizaría estas zonas para ciertos usos que implican niveles de vulnerabilidad alta (en particular el uso habitacional).

La metodología de evaluación de amenazas inicia desde la presentación de una oferta técnica a la municipalidad interesada, y la elaboración de un plan de trabajo preliminar. Conlleva etapas de trabajo de campo para las observaciones y mediciones, y otras de oficina para el procesamiento de la información y la elaboración de mapas e informes. Esta metodología plantea trabajar con la base topográfica existente en el país a escala 1:50 000 para trasladar todas las observaciones y análisis de fenómenos peligrosos a planos o mapas hasta un nivel de detalle permitido a esta escala (mapas indicativos de amenaza).

Una vez concluido el acuerdo con la mandante (la municipalidad), la secuencia de acciones más común y efectiva es la siguiente:

- **Definición de necesidades con la mandante** (autoridades municipales en coordinación con la población y las instituciones locales) y establecimiento del plan de trabajo.
- **Recopilación de información general y de antecedentes**, utilizando técnicas participativas con la población (talleres) y otras fuentes.
- **Análisis de fotos aéreas y mapas topográficos**
- **Elaboración de un diagnóstico y evaluación preliminar de campo**
- **Levantamientos semi-detallados de campo**
- **Elaboración de mapas y documentos de apoyo** (fichas, bases de datos...)
- **Elaboración del Plan Municipal de Reducción de Desastres en conjunto con la municipalidad** (evaluación detallada de zonas críticas y sus recomendaciones específicas; recomendaciones generales o integrales a nivel municipal)
- **Elaboración de una propuesta de zonificación territorial** (incluyendo elementos de uso de suelos y potencial de uso, así como el nivel de degradación ambiental)
- **Elaboración de Informe**
- **Validación con los actores locales** (la población, municipalidad y organismos)
- **Consultas suplementarias, finalización de productos y entrega a la municipalidad**

**Fig. 3: Metodología general de los estudios municipales**



En lo referente a la **información a recopilar**, es importante definir el tipo de información requerida y desestimar datos secundarios o exceso de datos socioeconómicos, cuyas fuentes pueden ser mencionadas sin mayor detalle. Es importante identificar fuentes documentales para recabar testimonios personales sobre desastres pasados, signos indicadores de terreno, toponimia, etc. La información obtenida debe ser evaluada antes de ser utilizada, con el fin de verificar su calidad, actualidad y confiabilidad utilizando para esto análisis comparativos, deductivos y correlaciones. En el caso de la información socioeconómica, debe cuidarse que ésta no sea muy antigua o con grandes diferencias temporales.

La **identificación de las zonas de interés especial** se realizará partiendo de entrevistas a las autoridades municipalidades y a la población, con los cuales se puede realizar talleres participativos, con el fin de obtener la información directamente de los afectados e informar a la gente sobre la naturaleza del trabajo, para romper la desconfianza y, una vez que el trabajo ha sido realizado, para informarles sobre las medidas que se pueden tomar (eventualidad de que pueda instalarse algún sistema de observación y alerta, brindar consejos prácticos para el manejo del suelo, el manejo del agua, las construcciones, etc.). La técnica del auto-mapeo se puede utilizar en este contexto.

El especialista debe tener mucho cuidado para no adelantar opiniones sobre el peligro, sobre todo cuando éste parece elevado, para evitar una difusión distorsionada de la información. Estos aspectos son de gran importancia, ya que las metodologías participativas permiten involucrar a la población en las tareas de prevención y contribuyen a despertar o generar una conciencia de riesgo y prevención.

Previo al trabajo de campo, se deben **analizar los mapas topográficos y las fotos aéreas** de la zona, con el objetivo de identificar áreas susceptibles a inestabilidades de terrenos, a inundaciones y procesos torrenciales, a fenómenos volcánicos y sísmicos. Estas actividades iniciales son de gran importancia ya que proporcionan una visión general previa de la situación del área de trabajo, lo que permite ahorrar esfuerzos y dinero al enfocar el trabajo de campo en zonas pre-seleccionadas, en cuya selección es importante incluir a representantes de la municipalidad.

Durante el **trabajo de campo** se debe observar el área en detalle con el objetivo de encontrar evidencias que permitan definir límites, tipología de los fenómenos y grado de actividad en las zonas afectadas, lo cual proporcionará elementos para la evaluación del grado o nivel de peligrosidad del fenómeno, así como estimar la probabilidad relativa de ocurrencia del evento o eventos bajo estudio. El énfasis estará en las zonas de interés especial previamente identificadas, pero el recorrido debe cubrir toda la zona de estudio (observación desde puntos altos).

### 3.1.2 *Estimación de probabilidades de ocurrencia de los eventos*

La probabilidad relativa de ocurrencia de un evento puede ser estimada en base a la experiencia del especialista y las evidencias de actividad e intensidad del fenómeno. Se realiza un análisis relativo (utilizando consideraciones que pueden ser ciertas o no dependiendo de la experiencia del analizador); este análisis consiste en expresar de manera cuantitativa observaciones subjetivas. Ejemplo de ello es lo siguiente: *"en los próximos 10 años es muy probable que ocurra una colada en esta zona"*, lo cual perfectamente puede ser traducido como *"existe un 10% de probabilidad de que ocurra una colada en un año"*. En este caso se hablaría de un período de retorno de 10 años.

Cuando es poco probable que un fenómeno ocurra *"en los próximos 10 años"*, y que su probabilidad solo se puede considerar alta cuando hablamos de *"los próximos 100 años"*, entonces se puede decir que su período de retorno es más bien de alrededor de 100 años.

#### **Períodos de retorno para mapas de amenazas:**

Para la elaboración de mapas de amenazas, no es aceptable limitarse a fenómenos de 10 años de período de retorno, y se deben tomar en cuenta fenómenos menos frecuentes, de períodos de retorno de por lo menos 100 años, preferiblemente más. Si hacemos un mapa de amenaza por inundaciones considerando eventos de 100 años de período de retorno, habrá una probabilidad de alrededor de 50% (o sea: uno en dos) que en los próximos 70 años suceda algún evento que afecte zonas que no hemos marcado como peligrosas. Sin embargo, por otro lado, no es recomendable considerar eventos con períodos de retorno superiores a unos 500 años, ya que, por una parte, será muy difícil imaginar qué podría ser un evento de este tipo y que, por otra parte, tales eventos tendrían una probabilidad demasiado débil para ser consideradas en las tareas de planificación comunes.

#### **Probabilidades altas, medias, bajas:**

Otros métodos semicuantitativos ampliamente utilizados para la estimación de la probabilidad de ocurrencia de un evento, sobre todo en terrenos inestables son los que **relacionan la geomorfología y la geología del área**. Existen dos variantes de este método, las dos se basan en el principio de Varnes que plantea que lo ocurrido en el pasado y presente sirve de guía para saber que ocurrirá en el futuro. Ambas son basadas en la experiencia y juicio del especialista y no implican cuantificación de la probabilidad, sino que la probabilidad es estimada en términos cualitativos como baja, media, alta, o asignándole valores asumidos de probabilidad. Típicamente, una probabilidad baja (pero no muy baja), podría ser de *"entre 0,2% y 1% por año"* (período de retorno entre 100 y 500 años).

### 3.1.3 *Evaluación del grado de amenaza o peligrosidad*

Las clases de peligrosidad que se representan en un mapa de amenaza deben permitir apreciar el riesgo que se correría en un punto del espacio si se le daría a éste un uso común. Son de especial interés las amenazas que ponen en peligro la vida humana y - aunque en menor grado - las que ponen en peligro los bienes de la comunidad (por ej. las infraestructuras importantes) y de los particulares (viviendas, animales, herramientas, mobiliario, etc.). Debido a la concentración de vidas humanas y de bienes que implica, el principal uso del espacio que puede significar riesgos elevados es el de vivienda en asentamientos humanos (pueblos, barrios, urbanizaciones). Por consiguiente, las clases de peligrosidad deberán sobre todo permitir una apreciación del riesgo que correrían, en un lugar del mapa, las vidas humanas (al exterior y al interior de casas o edificios comunes), así como los bienes en las edificaciones.

Los pautas siguientes pueden servir de referencia para establecer clases de amenaza o de peligrosidad, aunque cada tipo de amenaza pueda tener sus particularidades:

**Rojo: peligro alto**

- Las personas están en peligro tanto al exterior como al interior de las viviendas o edificios.
- Existe un alto peligro de destrucción repentina de viviendas y edificios.

ó

- Los eventos se manifiestan con una intensidad relativamente débil, pero con una probabilidad de ocurrencia elevada, y las personas, en este caso, están sobre todo amenazadas al exterior de las viviendas y edificios.

La zona marcada en rojo corresponde esencialmente a una **zona de prohibición**.

**Anaranjado: peligro medio**

- Las personas están en peligro al exterior de las viviendas o edificios, pero no o casi no al interior.
- Las viviendas y edificios pueden sufrir daños, pero no destrucción repentina, siempre y cuando su modo de construcción haya sido adaptado a las condiciones del lugar.

La zona anaranjada es esencialmente una **zona de reglamentación**, donde daños severos pueden reducirse con medidas de precaución apropiadas.

**Amarillo: peligro bajo**

- El peligro para las personas es débil o inexistente.
- Las viviendas y edificios pueden sufrir daños leves, pero puede haber daños fuertes al interior de los mismos.

La zona amarilla es esencialmente una **zona de sensibilización**.

**Blanco: ningún peligro conocido, o peligro despreciable según el estado de los conocimientos actuales**

### 3.1.4 Resultados esperados de la evaluación de amenazas

Como resultado de la evaluación de amenazas (o peligros) se generan dos tipos de **mapas**; sin embargo, su elaboración está en función de la disponibilidad de documentos e información básica. El producto de la evaluación de amenazas deberá hacer uso de los materiales disponibles. Los mapas topográficos a escala 1: 50 000 son inevitables, porque son los únicos que cubren prácticamente todo Nicaragua. Existen proyectos en curso para obtener mapas a escalas más grandes, sin embargo a la fecha no se han concretado, entonces lo más adecuado es trabajar a escala 1: 50 000.

Según la realidad nacional los mapas factibles de realizar son:

- Mapas de inventario de fenómenos
- Mapas indicativos de amenazas o peligros

Por economía o por escala, no siempre es posible realizar separadamente estos mapas, por lo que, en la situación actual, y en términos realistas, lo más asequible es levantar mapas-inventarios con indicaciones genéricas sobre el grado de amenaza y algunas pautas de gestión (entre ellas una propuesta de zonificación territorial).

El uso de SIG permite contar con una perspectiva de mejorar progresivamente la cartografía sin necesidad de iniciar cada vez nuevos trabajos de base.

## **1- Mapa inventario de fenómenos**

**Escala aconsejada:** 1:50 000

**Objetivo:** señalar la existencia de fenómenos o procesos o zonas susceptibles de ser escenario un evento catastrófico.

### **Contenido:**

- Delimitación lo más precisa posible de los fenómenos naturales, incluyendo todas las zonas afectadas. Cuando estas áreas no se pueden ubicar precisamente en los mapas topográficos actuales, es mejor marcarlas con un signo y un código, o referirlas a alguna referencia geográfica notable (progresiva de carretera, cerro importante, pueblo, etc.)

En especial:

- Indicación de frentes o zonas generadoras de derrumbes, coladas, deslizamientos u otros fenómenos, etc.
- Delimitación indicativa (hasta donde sea posible por la escala) de las franjas de inundación (lecho mayor y lecho menor) y de las llanuras de aluvionamiento probables (precisión muy relativa, por lo que, para evitar suspicacias, deberá insertarse una advertencia sobre su nivel de validez cartográfica).
- Indicación aproximada de los lugares donde el cauce presenta estrangulación, obstáculos que puedan entorpecer el flujo de las corrientes y las áreas con material no consolidado que puede sufrir movilización por crecida o erosión.

## **2- Mapa indicativo de amenazas**

**Objetivo:** Indicar el grado o nivel de peligro de los diferentes fenómenos naturales identificados así como su evolución a través del tiempo. Puede incluir una propuesta de zonificación territorial considerando las amenazas identificadas y el nivel de degradación de los suelos, entre otros.

**Escala aconsejada:** 1:50 000

### **Contenido:**

- Delimitación, lo más precisa posible, de las zonas de amenaza alta, media y baja para los diferentes fenómenos evaluados.
- Ubicación indicativa de los sitios críticos y elementos expuestos.
- Zonificación del territorio.

Si las condiciones o cualquier razón no permiten realizar un análisis integrado de riesgos, pueden elaborarse informes intermedios de esta fase de evaluación de amenazas, en los que deben plantearse todas las recomendaciones posibles y viables. Este informe proporcionará algunas pautas para ser integradas en los planes de desarrollo municipal.

### 3.2 Evaluación de vulnerabilidad

La vulnerabilidad constituye un sistema dinámico, que surge como consecuencia de la interacción de una serie de factores y características (externas e internas) que convergen en una comunidad o área particular. A esta interacción de factores se le conoce como *vulnerabilidad global*. Esta vulnerabilidad global puede dividirse en varias vulnerabilidades o factores de vulnerabilidad, todos ellos relacionados entre sí: vulnerabilidad física; factores de vulnerabilidad económicos, sociales y ambientales. (Wilches-Chaux, 1993)

La *vulnerabilidad física* se refiere a la localización de asentamientos humanos en zonas de amenaza, como por ejemplo en las laderas de los volcanes, en las llanuras de inundación de los ríos, al borde de los cauces, en zonas de influencia de fallas geológicas, etc. La *vulnerabilidad estructural* se refiere a la falta de implementación de códigos de construcción y a las deficiencias estructurales de la mayor parte de las viviendas, lo que conlleva a no absorber los efectos de los fenómenos naturales; la *vulnerabilidad natural* se refiere a aquella que es inherente e intrínseca a todo ser vivo, tan solo por el hecho de serlo.

Los factores de vulnerabilidad económicos y sociales se expresan en los altos niveles de desempleo, insuficiencia de ingresos, poco acceso a la salud, educación y recreación de la mayor parte de la población; además en la debilidad de las instituciones y en la falta organización y compromiso político, al interior de la comunidad o sociedad. Se ha demostrado que los sectores más pobres son los más vulnerables frente a las amenazas naturales.

Un análisis de vulnerabilidad es un proceso mediante el cual se determina el nivel de exposición y la predisposición a la pérdida de un elemento o grupo de elementos frente a una determinada amenaza o peligro. La vulnerabilidad puede ser definida por tres niveles: **baja, media y alta**; también puede ser expresada como un **porcentaje** de elementos que pueden sufrir daño o destrucción (pérdida) sobre un total, aunque es difícil establecer una referencia de carácter absoluto. Los porcentajes pueden ser establecidos en función de las características del área, del tipo de fenómeno, de la densidad y frecuencia de ocupación humana, densidad de construcciones, etc.

Debido a la escala de trabajo (1:50 000), no es posible realizar verdaderos mapas de vulnerabilidad, ya que estos corresponden a una fase de estudios detallados y no es del todo viable, para áreas grandes como son las de los municipios, en realidades como las de Nicaragua. Por ello, se recomienda introducir la variable de vulnerabilidad dentro de los mapas de inventario o de amenaza a través de indicaciones que evidencien los elementos o grupos de elementos más vulnerables en zonas de mayor peligro. Por cuestiones de legibilidad, lo mejor es marcar la vulnerabilidad como parte de los sitios críticos, con un signo y un número que remita a una ficha.

### 3.3 Evaluación del riesgo

Para realizar análisis de riesgos, las evaluaciones de amenazas y vulnerabilidades son el primer paso. Las evaluaciones de riesgo pueden elaborarse a partir de una apreciación relativa del nivel de amenaza, de las indicaciones relativas a la vulnerabilidad global, y de la frecuencia de los fenómenos, mostrando una zonificación donde se indique el grado o nivel de amenaza y se le correlacione con el nivel de concentración de población y de inversiones o infraestructura.

Con los recursos existentes y la escala de trabajo, no puede realizarse un mapa de riesgo propiamente dicho, pero sí pueden elaborarse mapas indicativos de amenazas con calificaciones de riesgo relativo. En particular, se puede llamar la atención sobre la existencia de lugares de alto riesgo mediante la representación de **sitios críticos**.

## 3.4 Informe final

### 3.4.1 Propósito del informe final

El informe, resultado de este análisis de riesgos, pretende convertirse en un instrumento técnico-administrativo para la prevención de desastres. Está dirigido básicamente a un uso administrativo en las municipalidades ya que pretende servir como un documento técnico de base que aporte elementos importantes para ser considerados a la hora de elaborar los planes de desarrollo a nivel municipal, integrando la visión de las amenazas naturales como un factor de potencial retraso económico, social y cultural.

De igual manera, proporcionará información importante para ser utilizada en el ordenamiento territorial del municipio, tal como la zonificación del uso de suelo, sobre la base de su nivel o susceptibilidad a las amenazas.

El documento técnico debe ser presentado usando un lenguaje claro, sencillo (sin muchos tecnicismos), conciso, de fácil comprensión, y ser lo más descriptivo que se pueda. Puede acompañarse de fotos, esquemas y mapas con el fin de explicar de mejor forma su contenido y por tanto que sea entendible para todos. No es necesario abundar en cuestiones académicas o de ciencias puras (geología, hidrología, etc.) o en información general que puede ser encontrada en otras fuentes bibliográficas.

El documento puede contener recomendaciones en dos niveles de análisis y de propuesta: uno administrativo y otro técnico.

Las recomendaciones correspondientes al primer nivel (relacionado más a la prevención pasiva) deben ceñirse al marco legislativo y reglamentario vigente, es decir que deben ser aplicables por el municipio sin mayores problemas jurídicos, dentro del ámbito de sus competencias. En caso de posible conflicto de competencias o superposición de funciones institucionales, se recomienda la negociación entre las partes implicadas o un esquema de reparto de responsabilidades. Sólo cuando se vea que alguna recomendación o propuesta de reforma reglamentaria es factible dentro de la potestad municipal deben hacerse recomendaciones específicas en ese sentido. Ejemplos de éstas son las ordenanzas que puede emitir el Alcalde para regular la construcción de viviendas en la llanura de inundación de ríos, o prohibiendo la construcción de viviendas e infraestructuras en zonas de inestabilidad de terreno.

Las recomendaciones referidas al segundo nivel deben orientarse a propuestas concretas, tras hacer una descripción del fenómeno, un análisis de su evolución y consecuencias potenciales (previsión de escenarios de crisis).

Al momento de proponer soluciones de prevención activa (trabajos de estabilización o de defensa) siempre deben tomarse en cuenta las posibilidades financieras y técnicas del municipio y el nivel de riesgo existente. Una propuesta costosa o muy complicada no será aplicada en los municipios debido a las condiciones de los mismos.

Los factores culturales, ideológicos y socioeconómicos son un componente muy importante dentro de la evaluación de riesgos y en el momento de hacer las propuestas, medidas extremas como la evacuación generan conflictos sociales y problemas administrativos muchas veces insuperables, por lo que deben considerarse todos los factores para hacer recomendaciones viables de realizar.

### *3.4.2 Principios que rigen las propuestas o recomendaciones*

El especialista debe tener en consideración que las propuestas técnicas y normativas deben regirse por principios como:

**Principio de factibilidad:** teóricamente la mayoría de problemas de inestabilidad tienen soluciones, pero a alto costo o con recursos técnicos inalcanzables. Muchas veces se da el caso de especialistas que recomiendan obras imposibles sólo por salvar su responsabilidad o cuando no tienen suficiente competencia en el tema. Por lo general se debe sacrificar una mayor eficiencia en aras de la factibilidad, siempre que la solución planteada reduzca el peligro hasta niveles aceptables.

**Principio de economía:** las propuestas deben ser realistas, es decir, realizables con los recursos ordinarios de un municipio más eventuales aportes externos. En cualquiera de los casos, los fondos disponibles nunca son suficientes por lo que se debe escoger soluciones intermedias destinadas a reducir el peligro más que evitarlo o anularlo.

**Principio de uso multipropósito:** la mayoría de municipios tienen escasos recursos, por lo que las inversiones deben regirse por un imperativo de optimización. En este sentido, las propuestas técnicas tendrían que orientarse a satisfacer varias necesidades o resolver otros problemas, además del referido a peligros. Ejemplo: sistemas de drenaje asociados a sistemas de abastecimiento de agua potable.

**Principio de compatibilidad ecológica:** cada ambiente requiere obras o medidas preventivas o de tratamiento que estén acorde con su entorno ecológico. Al diseñar obras de tratamiento, por ejemplo, se debe prever su impacto sobre la red hidrográfica, biotipos específicos, etc.

**Principio de compatibilidad urbana:** las obras o medidas destinadas a mitigar peligros deben estar integradas al estilo arquitectónico y a la funcionalidad de los núcleos y espacios urbanos, sin perturbar el funcionamiento de sistemas y redes de transporte y otros servicios.

**Principio de no-conflicto:** una propuesta planteada no debe implicar la generación de conflictos (especialmente de propiedad o de funcionalidad), por lo que al momento de hacerla se deben analizar los posibles efectos secundarios y los diferentes elementos implicados.

**Principio de integración y participación:** cualquier propuesta técnica que se emita debe considerar la integración y participación de la población. Dado el poco presupuesto con que cuentan las alcaldías, se puede recomendar obras que pueden realizarse de manera participativa, por ejemplo obras como barreras vivas para controlar la erosión, reforestación etc., lo que ayuda a la integración y apropiación de los proyectos por parte de la población.

En términos ideales, lo mejor sería que el producto final sea entregado en forma de fichas para una base de datos computarizada y de mapas digitalizados para ser incorporadas a un SIG. La realidad económica y tecnológica del país, en general, y de los municipios, en particular, no permite alcanzar este propósito en cualquier municipalidad, al menos en el corto y mediano plazo, pero es una posibilidad que no debe perderse de vista.

### 3.5 Plan Municipal de Reducción de Desastres

Un análisis de riesgos naturales tiene como objetivo brindar elementos para la realización de Planes Municipales de Reducción de Desastres; y estos a su vez deben ser incorporados dentro de los Planes Estratégicos de Desarrollo a nivel nacional o municipal. Un plan de reducción de desastres es un documento de uso administrativo a nivel municipal (urbano y rural), que está dirigido a mitigar o evitar los efectos que puedan causar los eventos peligrosos identificados sobre la vida y la economía del municipio.

Es realizado tomando como base o referencia los estudios de evaluaciones de amenazas y sus mapas indicativos, así como las propuestas de zonificación territorial realizadas. Se debe considerar también los elementos de vulnerabilidad y riesgos. Las principales medidas de mitigación se pueden dar a mediano y largo plazo e incluyen tanto medidas de planificación del desarrollo como estructurales. Puede contener lineamientos o recomendaciones generales sobre zonificación y grado de seguridad de las diferentes áreas del municipio; indicación de las áreas aptas para crecimiento urbano y otros usos intensivos, en función de los peligros, la accesibilidad y la integración a los sistemas de servicios y articulación territorial. Todos estos lineamientos pueden ser incorporados a los planes estratégicos de desarrollo a nivel municipal.

Las zonas de seguridad para uso urbano o emplazamiento de infraestructura o cambios de uso del suelo deben ser definidas según una jerarquía de factores donde la amenaza es determinante:

- Áreas peligrosas
- Áreas de reserva cultural o ecológica
- Áreas de reserva agrícola y forestal

Esta información se trasladada a un mapa - negociado, donde se conjugan y equilibran los aspectos técnicos con los imperativos socioeconómicos y hasta políticos. Un mapa totalmente técnico no es realista y si quiere ser tal corre el riesgo de no ser utilizado. Por ello es que debe negociarse entre la municipalidad, el técnico y la población.

## PARTE 2: EVALUANDO RIESGOS PARTICULARES

### 4 FENÓMENOS NATURALES Y DESASTRES EN NICARAGUA

Los fenómenos naturales de origen geológicos, meteorológicos, e hidrológicos (erupciones volcánicas, terremotos, inestabilidades de terrenos, inundaciones, huracanes, tsunamis), representan una amenaza real que influye de manera negativa en el desarrollo económico y social de un país y/o un municipio vulnerables, representando fácilmente, cuando ocurren desastres mayores, un 10% del producto interno bruto (PIB) del país en pérdidas directas.

A nivel del país, las principales amenazas, por el impacto económico que han demostrado tener en el pasado, son los terremotos y los fenómenos hidrometeorológicos. Cada municipalidad suele tener amenazas principales con las cuales se relacionan los grandes daños del pasado. Sin embargo, no se deben olvidar las amenazas que producen daños pequeños, pero repetidos, los cuales a la larga pueden generar pérdidas y daños mayores que las grandes catástrofes. Por otro lado, siempre existe una percepción aguda de las amenazas que recientemente han producido daños importantes o que amenazan actualmente a un municipio o una comunidad, pero es necesario tratar cada amenaza con objetividad y con la profundidad que se merece.

La historia geológica de la tierra indica que han sucedido fuertes cambios, en el transcurso de miles de millones de años, tal que la fisonomía actual de la superficie ha sido construida a través de sucesos dinámicos que implican erupciones volcánicas, movimientos de masa tanto verticales como horizontales y otros eventos que modifican lentamente o aceleradamente la superficie de la tierra. En Centro América el rasgo tectónico actual es una fosa tectónica con una profundidad de unos cinco mil metros que marca la zona de convergencia de las dos placas tectónicas (Coco y Caribe), que controlan tanto la sismicidad como el volcanismo activo en Nicaragua.

Muchos de los procesos geológicos potencialmente peligrosos tienen su origen en los procesos tectónicos, tales como erupciones volcánicas y terremotos, los que a su vez pueden generar peligros secundarios como indicado en la tabla a continuación.

La degradación ambiental provocada por la actividad humana también contribuye en gran medida a acelerar los fenómenos peligrosos e incrementar los riesgos, especialmente aquellos relacionados a la inestabilidad de terrenos, inundaciones y procesos torrenciales, ya que la deforestación, el manejo de las cuencas sin planificación, el uso intensivo del suelo, las prácticas agrícolas inadecuadas, la ocupación de las llanuras de inundación de los ríos etc., incrementan la intensidad y la probabilidad de los fenómenos, o la vulnerabilidad, según el caso.

Existe generalmente una diferencia temporal marcada entre los fenómenos de inestabilidad de terrenos y los torrenciales o hidrológicos. Los primeros responden a procesos más largos y lentos, mientras que los segundos (inundaciones) tienen un proceso más concentrado en el tiempo, porque responden a episodios cortos de lluvia intensa o ruptura de una represa. Sin embargo, es necesario aclarar que existen, en el caso de las inundaciones, condiciones preparatorias que pueden ser de larga data. La importancia del factor tiempo debe ser tomada en cuenta cuando se diseñan estrategias de prevención y de tratamiento para no caer en acciones u obras puntuales, que no tienen efecto real sobre la raíz del problema o, lo que es peor, pueden tener efectos contraproducentes.

**Tabla 2: Procesos geológicos primarios y secundarios**

<b>Amenazas naturales</b>	
<b>Procesos primarios (Fenómenos naturales)</b>	<b>Procesos secundarios (Efectos)</b>
Huracanes, lluvias	Inundaciones y procesos torrenciales: erosión, flujos de detritos (deslaves), flujos de lodo, lahares (en volcanes)
Erosión hídrica	Deslizamientos de terreno, derrumbes, coladas o flujos superficiales
Sismicidad	Terremotos, tsunamis o maremotos, deslizamientos de terreno, derrumbes, flujos superficiales
Volcanismo	Caídas de cenizas, flujos o coladas de lava, flujos piroclásticos, lahares, temblores

Existen algunos criterios que permiten identificar un fenómeno potencialmente peligroso y que están basados en las experiencias de diferentes especialistas. Estos criterios permiten identificar y tipificar los fenómenos según sus evidencias de campo. A continuación se proporcionan criterios específicos para algunas amenazas y, en ciertos casos, para las vulnerabilidades y los riesgos correspondientes.

## **5 AMENAZAS HIDROLÓGICAS**

### **5.1 Tipos de amenazas hidrológicas**

Las amenazas hidrológicas las constituyen: las inundaciones, las crecidas repentinas y los aludes torrenciales (o flujos de lodo y escombros). Las crecidas repentinas se refieren al paso de gran cantidad de agua en periodos de tiempo muy cortos y a grandes velocidades, mientras que las inundaciones son cantidades de agua fuera de su cauce natural, que se producen en tiempos relativamente más largos. "Aludes torrenciales" se refiere al transporte de sedimentos (tierra, bloques, escombros) en gran concentración. Todos estos son fenómenos ampliamente relacionados puesto que, por ejemplo, las inundaciones se producen a partir de una cierta intensidad de crecida.

En función de la velocidad del escurrimiento y de la velocidad con la cual se producen las variaciones de nivel de las aguas, los fenómenos hidrológicos pueden clasificarse en: **ascensionales y torrenciales, lentos y repentinos, estáticos y dinámicos.**

Los procesos **ascensionales o inundaciones** ocurren por lo general en las partes medias y bajas de las cuencas y son producidas por lluvias fuertes o continuas que sobrepasan la capacidad de absorción de los suelos y por la insuficiente capacidad de descarga de las quebradas, riachuelos y ríos (represamiento). Se manifiestan por la elevación paulatina del nivel de agua. Se producen especialmente en zonas de baja pendiente (<2%), a orillas de lagos, lagunas, etc. Dan oportunidad para que las comunidades asentadas en las riveras de los ríos o lagos puedan trasladarse a lugares más seguros, hasta que los niveles del agua vuelvan a la normalidad, sin embargo causan daños o desplomes por remojamiento de cimientos o sobresaturación de bases.

Las tierras relativamente planas, adyacentes a ríos y riachuelos, que se inundan cuando un determinado curso de agua rebalse su cauce, son conocidas como **llanuras de inundación** y son sujetas a inundaciones recurrentes. No son usuales en las partes altas de las cuencas, porque las pendientes transversales del cauce son altas. El ancho de la llanura de inundación es función de los caudales, de la topografía, de la cantidad de sedimentos transportados, de la dureza del fondo y de las paredes del cauce. Debido a su naturaleza cambiante, las llanuras de inundación no son estáticas ni estables, por lo que pueden constituir un peligro para las actividades de desarrollo.

Las **crecidas torrenciales o repentinas** se pueden producir a partir de un incremento súbito de la escorrentía dentro de una cuenca hidrográfica (tormenta, huracán), y por la ocurrencia de fenómenos que cambian el comportamiento hidráulico del torrente, tales como rupturas de presas artificiales o naturales (debidas a coladas o deslizamientos hacia el cauce) donde el agua liberada de forma súbita arrasa el material del dique y de sus bordes, avanzando como una gigantesca ola. En este último caso puede aumentar el porcentaje de sólidos hasta formarse un alud torrencial. Suelen originarse en las partes altas y medias de las cuencas (pendientes  $>2\%$ ), presentan fuerte capacidad de arrastre y erosión debido a las velocidades rápidas. Se caracterizan por la alta velocidad del agua, por el tamaño y la alta energía de los materiales transportados (árboles, bloques), y por la débil profundidad del flujo. Pueden evolucionar hacia flujos de lodo y escombros (aludes torrenciales), muchas veces impredecibles. Este tipo de fenómenos a veces no dan lugar a ningún tipo de alerta o aviso de evacuación a las comunidades localizadas dentro de las áreas afectadas.



**Fig. 4 y 5: Fenómenos torrenciales** (Fuente: Besson, 1996)

Los **aludes torrenciales**, o flujos de lodo y escombros, también llamados "lavas torrenciales", tienen características similares a las crecidas repentinas (pendientes fuertes, alta velocidad y energía, fuerte capacidad de erosión), pero se caracterizan además por concentraciones de sedimentos muy elevadas, las cuales cambian el comportamiento reológico (manera de fluir) del flujo. Son capaces de transportar bloques de roca de hasta varios metros de diámetro.

Los fenómenos hidrológicos dependen de las condiciones climáticas, de las condiciones naturales de la cuenca hidrográfica, del material de las riberas de los ríos, de la pendiente del cauce o canal y de la evolución de las actividades humanas (gestión de suelos, ocupación de las riberas, presencia de represas, etc.). Algunas crecidas resultan en beneficios para la agricultura; sin embargo las crecidas fuertes suelen poner en peligro la población y las infraestructuras.

## 5.2 Inundaciones

### 5.2.1 Identificación de áreas susceptibles de inundaciones

Una zona de inundación se puede identificar en el campo observando la superficie del suelo para detectar indicios geológicos, hidrogeológicos, geomorfológicos (forma del relieve), pedológicos (suelos), edafológicos (vegetación) y otros, como por ejemplo humedad del terreno, áreas con aguas empozadas, socavación de suelos, terrazas de aluviones, sedimentos, zonas con vegetación baja o vegetación dañada y líneas de escombros. Se puede también identificar a través de comparaciones de imágenes de satélites o fotos aéreas con el fin de determinar los cambios durante periodos de tiempo específicos. En las figuras 6 y 7 se pueden observar algunas características de llanuras de inundación, poco después de una crecida extraordinaria (huracán Mitch, 1998).

**Tabla 3: Criterios de identificación de zonas de inundación**

Algunos criterios de campo para la identificación de llanuras de inundación	
Geomorfológicos	- áreas muy planas, ubicadas a lo largo de los ríos; presencia de zonas de erosión y de terrazas.
Geológicos	- terrenos compuestos por depósitos no consolidados, derivados de sedimentos transportados por el río. (estratos de lodo, arena, limo y gravas), que son muy erosionables durante las inundaciones y crecidas. - suelos de diferentes características, muy heterogéneos
Hidrológicos	-lecho menor y mayor -terreno sujeto a inundaciones periódicas por un río padre. -en ríos pequeños la llanura de inundación se encuentra solo en el interior de la curva del meandro. -presencia de lagos de forma semi lunar (meandros abandonados) -presencia de diques naturales de sedimentos gruesos que se depositan durante las inundaciones - áreas pantanosas o áreas con suelos reteniendo altos niveles de humedad
Vegetación	-diferencias de vegetación -vegetación perturbada por efectos de inundaciones anteriores



**Fig. 6 y 7: Llanura de inundación del río Choluteca, Honduras**

(Fotografías: R. Carreño)

### 5.2.2 Evaluación de las amenazas por inundaciones

Los procesos ascensionales o inundaciones se describen en términos de su frecuencia. Por ejemplo, una inundación de 100 años de período de retorno se refiere a un evento con una probabilidad de excedencia anual de 1% (es decir: hay un por ciento de probabilidad que suceda, durante un año dado, una inundación igual o todavía más fuerte). Para fines prácticos se delimitarán, en los mapas indicativos de amenaza, cuando esto es posible, las zonas afectadas por fenómenos de por lo menos 100 años de período de retorno.

Cuando se realiza un análisis detallado de la amenaza por inundación, los límites de las llanuras de inundación de diferentes períodos de retorno (10 años, 50 años, 100 años, etc.) se pueden reflejar en un mapa con el fin de identificar las áreas donde la amenaza es más o menos significativa. Además, la información se suele completar por indicaciones sobre la profundidad del agua y su velocidad. La amenaza por inundación siempre se considerará grande cuando la profundidad del agua puede llegar a tener la altura de una persona o de un piso de edificio (1,50 ó 2,00 m), aunque sea con una probabilidad débil (100 años o más de período de retorno).

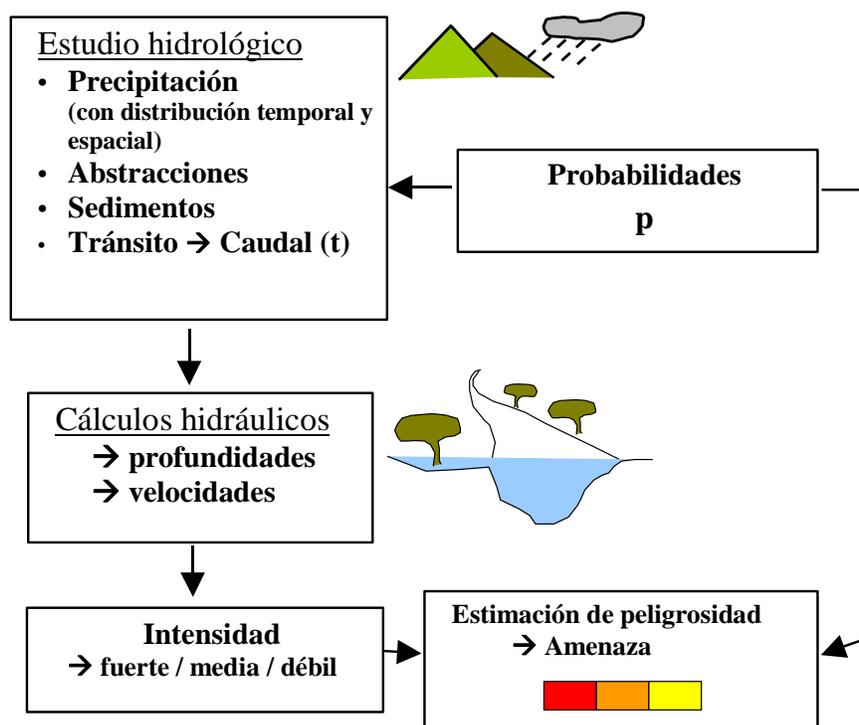


Fig. 8: Secuencia de cálculos hidrológicos e hidráulicos partiendo de las precipitaciones

Cálculos hidrológicos e hidráulicos (Fig. 8): Para realizar un estudio detallado para alguna zona de interés definida (a orillas de una quebrada o un río) y aprovechar los datos de precipitación (curvas intensidad-duración-frecuencia) que existen para las diferentes partes del país, el procedimiento más común es empezar por un estudio hidrológico de la cuenca vertiente. Para la probabilidad considerada (por ej. 1% / año) se determinan las precipitaciones más desfavorables (intensidades de precipitación en función del tiempo y del espacio); se estiman luego las abstracciones (parte de la lluvia que no contribuye directamente a la escorrentía, debido a la interceptación, la infiltración etc.) para obtener la precipitación efectiva (se utiliza a menudo el "coeficiente de escorrentía" o los

números de curva SCS). Luego, se aplican modelos precipitación-escorrentía y modelos de tránsito de avenidas (fórmula racional, hidrograma unitario, onda cinemática, etc.) para obtener el hidrograma (caudal en función del tiempo) en la zona de interés. Para esta zona, un cálculo hidráulico (por ej. con la fórmula de Manning) permite luego determinar las profundidades y velocidades máximas alcanzadas durante el pico de la crecida. Finalmente, las profundidades y velocidades permiten definir las intensidades del fenómeno las cuales, en conjunto con las probabilidades asociadas, permiten a su vez definir el grado de amenaza (ver por ej. Loat y Petraschek, 1997). Detalles de los métodos hidrológicos se pueden consultar en Aparicio (1999) y Chow y otros (1994). Para los cálculos hidráulicos, ver por ej. Chow (1994). Se pueden utilizar software como el WMS o el HEC-1 para los cálculos hidrológicos y programas como el HEC-RAS para los cálculos hidráulicos.

Cuando existe una estación hidrográfica cercana (medición continua de niveles del agua de un río) con por lo menos 20 años de observaciones (lo cual es muy difícil encontrar en Nicaragua) y se dispone además de buenos registros de aforos (relación entre el nivel y el caudal), se puede proceder a un ajuste de distribución de probabilidad de los caudales, y determinar directamente sobre esta base (sin pasar por las precipitaciones) los caudales que corresponden a cierta probabilidad, para luego proceder a los cálculos hidráulicos.

Análisis de los lechos mayor y menor y de las terrazas sedimentarias: Es una forma sencilla de establecer el nivel de peligro por inundaciones, pudiendo tomarse los límites laterales (siempre que se pruebe geológicamente que no son muy antiguos) de los depósitos aluviales (y, en menor medida, de los depósitos fluviales), que pueden indicar las alturas máximas de crecidas en el pasado. Estos mismos pueden servir para definir el lecho mayor. En consecuencia, puede atribuirse al lecho menor un nivel de peligro alto (crecidas con períodos de retorno menores a 10 años y/o de gran profundidad) y al lecho mayor un nivel de peligro medio a bajo (períodos de retorno de 100 años o más, con profundidades inferiores a unos 1,50 m). Fotografías aéreas y de satélites, de diferentes fechas, también pueden utilizarse en este análisis.

Las cotas de crecidas históricas son otra forma de definir niveles de peligro, en función de las observaciones y datos históricos. A partir de estos datos se puede indicar una cota para crecidas medias (por ejemplo para períodos de retorno estimados de diez a cincuenta años), y una cota de crecidas grandes (crecida centenaria), en función del perfil transversal del cauce. Cuando la sección transversal del cauce no varía, se puede asumir que las cotas de inundación solo varían por la pendiente general del terreno. Para luego delimitar las áreas inundables, es aconsejable hacer perfiles topográficos transversales, sobre todo en las zonas donde el río tiene un cauce ancho y orillas bajas.

Para el norte de Nicaragua y gran parte de Honduras, los límites de las crecidas ocasionadas por el Mitch son una buena referencia y pueden tomarse como nivel de crecida extrema o como lecho mayor. (En otras partes de Nicaragua, las crecidas del Mitch no han sido verdaderamente extremas). Sin embargo, en el caso que algún segmento de la cuenca haya sufrido un exceso de sedimentación (es decir elevación del cauce), es posible que las futuras crecidas sean más altas (aunque los fenómenos extremos tienden a compensar esta elevación, erosionando su cauce durante la fase de subida de la crecida). Se debe tener en consideración que los procesos que originan mayores daños son las inundaciones con erosión de orillas, en particular si en la ribera comienzan a avanzar meandros. De igual manera las obstrucciones tales como diques naturales o artificiales y embalses son factores a considerar para la evaluación del peligro.

## **Vegetación e inundaciones: mitos y realidades**

Cuando ocurren crecidas e inundaciones fuertes, es muy frecuente escuchar que estos fenómenos "se deben a la deforestación, a la falta de protección de nuestras cuencas".

Está bien establecido que la cubierta vegetal quita humedad del suelo por transpiración. También es cierto que la deforestación produce una pérdida de suelo orgánico que es favorable para la infiltración de la lluvia. Se conoce además el efecto de interceptación de las gotas de lluvia por parte del follaje. Se podría entonces esperar que la cubierta vegetal retenga una parte importante de las aguas de una tormenta, contribuyendo de este modo a una disminución de la magnitud de las crecidas.

Sin embargo, en el caso de una tormenta muy fuerte, el efecto de esta capacidad de almacenamiento de la vegetación podría ser bastante pequeño, en especial si la tormenta es precedida por varios días o semanas de mucha precipitación que hayan llenado los espacios de retención. El único efecto favorable de la vegetación que subsistiría en este caso sería el de facilitar la infiltración hacia las capas profundas del suelo. Se ha comprobado que en un suelo completamente desnudo se puede dar, en ciertas condiciones, un efecto de impermeabilización superficial ("sealing" en inglés) que incrementa mucho el escurrimiento.

Por consiguiente - al menos que se pueda observar que la deforestación conduce a la formación de una capa dura e impermeable en la superficie del suelo, o que se esté urbanizando una cuenca - el efecto de la deforestación sobre las crecidas extremas (tipo 100 años y más de período de retorno) podría ser relativamente débil, mientras el efecto sobre las crecidas pequeñas sí podría ser importante. Una influencia substancial de la deforestación se puede observar a menudo cuando el enfoque está en la recarga de los acuíferos, ya que esta última se da en gran medida por las pequeñas lluvias que ocurren a lo largo de todo el año.

Entonces, la razón por la cual se observa a veces una crecida o inundación extraordinaria es probablemente más bien, sencillamente, una precipitación extraordinaria. Cabe mencionar que las posibles variaciones climáticas por cambio climático global (a escala planetaria) podrían además aumentar sensiblemente la frecuencia de precipitaciones fuertes en el futuro (aunque todavía no se puede saber con certeza cuales serán los cambios en los patrones de lluvia).

## **5.3 Crecidas repentinas y aludes torrenciales**

### *5.3.1 Identificación de áreas de crecidas repentinas y aludes torrenciales*

La identificación de las áreas de crecidas repentinas se realiza siguiendo metodologías similares a las utilizadas para las inundaciones, generalmente se hacen de forma simultánea. Consiste en utilizar fotografías aéreas y de satélites, así como mapas topográficos y recorridos de campo, con el fin de identificar y delimitar cauces potencialmente peligrosos, observar sus características, evaluar las pendientes longitudinales y laterales, la vegetación y el tipo de suelos, e identificar áreas susceptibles a erosión, considerando los siguientes parámetros indicativos:

pendientes < de 2%: presentan un potencial de sedimentación y/o inundación

pendientes entre 2 y 6%: presentan un potencial para crecidas repentinas y erosión

pendientes > 6%: presentan un alto potencial erosivo. Se pueden formar aludes torrenciales.

Los fenómenos torrenciales también pueden ser identificados a partir de datos históricos recabados entre la población a través de talleres participativos; así como por observaciones de campo para identificar las zonas de sedimentación como son los conos de deyección que constituyen uno de los principales criterios para identificar la amenaza por aludes torrenciales. Sin embargo, este criterio es muchas veces de difícil apreciación, puesto que los conos de deyección están enmascarados por la vegetación o por fenómenos erosivos. Para detectar cauces o drenajes susceptibles de generar

procesos torrenciales, se puede entonces considerar la pendiente longitudinal la presencia de material que podría ser movilizado en la cuenca alta, en las orillas y en el fondo del cauce.



**Flujos de lodo y escombros** (Fotografías: J. Rubio y G. Morán)

**Fig. 9: Zona de inicio**

**Fig. 10: Cauce (zona de tránsito)**

**Fig. 11: Depósito (espesor: 1m)**

### 5.3.2 Evaluación de amenazas por crecidas repentinas y procesos torrenciales

Para la estimación de los niveles de amenaza debidos a fenómenos torrenciales es importante considerar lo siguiente (ver Fig. 9 - 11):

- Frecuencia de ocurrencia y magnitud de eventos históricos
- Cantidad de material aluvional depositado durante eventos pasados (extensión, espesor)
- Presencia de deslizamientos y de material suelto río arriba (disponible para futuros flujos)
- Presencia o potencial de formación de obstáculos en el cauce, naturales o artificiales, que podrían romperse.

Si se han identificado conos de deyección activos, deberán representarse con el nivel de amenaza correspondiente. Para aludes torrenciales, un espesor de 1m (aunque sea con un período de retorno tipo 100 años) ya debe considerarse una amenaza alta. A lo largo de un cauce, sin embargo, la calificación del nivel de peligro torrencial es difícilmente compatible con las escalas de los mapas existentes, por lo que es difícil representarla en mapas indicativos de amenazas. No obstante, se pueden dibujar líneas gruesas con flechas a lo largo de los cauces para representar amenazas por fenómenos torrenciales. Se recomienda además recurrir a fichas auxiliares y grafismos indicativos. Se puede agregar cortes topográficos transversales, fotos, diagramas, etc, para especificar al menos lo siguiente:

- áreas de origen y de depósito de sedimentos
- sitios susceptibles a procesos torrenciales, en especial a aludes torrenciales
- límites de la llanura de inundación, lecho mayor y lecho menor
- nivel máximo de crecidas históricas
- presencia de obstáculos y estrangulamientos sobre el cauce

## **6 AMENAZAS POR TERRENOS INESTABLES**

### **6.1 Consideraciones generales sobre terrenos inestables**

Cuando se habla de terrenos inestables, de manera general y sencilla, se hace referencia a un movimiento del terreno hacia abajo de la pendiente. En particular, se origina cuando en las pendientes naturales decrece la capacidad para resistir las fuerzas de gravedad, las cuales entran en fases de desequilibrio a causa de las modificaciones geométricas del relieve, originadas por factores como la disminución de la cohesión interna, la presión de agua, etc. Los terrenos inestables pueden movilizarse de forma lenta, rápida y extremadamente rápida, 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. Pueden activarse o acelerarse a causa de terremotos, erupciones volcánicas, precipitaciones, aumento de nivel de aguas subterráneas, por erosión y socavamiento de los ríos.

El movimiento de terrenos es perceptible y se le llama deslizamiento, colada o flujo superficial, derrumbes etc. Puede presentarse como material en caída libre por los acantilados o en masas fragmentadas o integra que se deslizan por las pendientes de los cerros o en coladas fluidas. Las velocidades de movilización de estos fenómenos pueden variar desde unos centímetros por año hasta alcanzar unos 200 km/hora. Pueden durar unos pocos segundos o algunos minutos, o pueden ser graduales o lentos durante varias horas o años.

Los factores que contribuyen a producir y a disparar un movimiento en masa son múltiples; rara vez actúa uno solo. Hay factores que contribuyen a crear una situación de inestabilidad en una masa de terreno, como puede ser la topografía regional con sus pendientes naturales, la geometría propia de los taludes, la naturaleza de la roca y/o suelo, la presencia de discontinuidades en una masa rocosa y la estratificación de la roca (orientación y ángulo de inclinación de la roca), la presencia de depósitos profundos arcillosos en la secuencia litológica, las características mecánicas de la roca (resistencia a la deformabilidad y a la compresibilidad), el estado de esfuerzo que actúa en el interior de una masa material, el grado de alteración hidrotermal de las rocas, etc.

Otros factores determinantes son las precipitaciones pluviales normales y extraordinarias, la filtración de agua pluvial en el terreno, las variaciones de temperatura, la erosión, la acción humana de deforestación y cortes de taludes, el asentamiento humano en las laderas y otros fenómenos naturales, como sismos, erupciones volcánicas e inundaciones.

Estos factores pueden ser permanentes y variables. Los factores permanentes son las características del terreno como la pendiente y la geología entre otros. La alternancia de litologías con características mecánicas diferentes y la presencia de arcilla, la fracturación de las rocas y la alteración hidrotermal representan un factor de inestabilidad de naturaleza geológica permanente.

Los factores variables son las características del terreno que cambian rápidamente como resultado de algún evento gatillo o acelerador. Entre ellos están la humedad del suelo debido a intensas precipitaciones, la elevación del nivel de aguas subterráneas, vibraciones del suelo etc.

Los deslizamientos rápidos y los derrumbes se incuban durante largos períodos y sólo aguardan un factor desencadenante para producir un episodio catastrófico (sacudidas sísmicas, lluvias intensas, explosiones, cortes de talud u otras intervenciones humanas, etc.). Sin embargo buena parte de los deslizamientos superficiales recientes corresponden al desenlace de un proceso lento y de larga duración conocido como deslizamiento pelicular (que afecta la capa superficial de suelos) y que al sobresaturarse fluyen como un líquido viscoso. Los deslizamientos rápidos y fenómenos afines están relacionados, en la gran mayoría de casos, con procesos de aceleración de deslizamientos mayores y complejos, pertenecientes a la categoría de deslizamientos lentos y permanentes.

## 6.2 Clasificación de terrenos inestables

Los movimientos en masa son fenómenos que ocurren generalmente combinados y son de naturaleza compleja, siendo por ello muy difíciles de clasificar; sin embargo algunos autores, entre ellos D.J. Varnes (1978), J.N. Hutchinson (1968), Skempton y Hutchinson (1969) y otros, han propuesto clasificaciones para los movimientos en masa que ocurren con más frecuencia. Existen clasificaciones de deslizamientos atendiendo al tipo de movimiento, al contenido de agua, a la velocidad del movimiento, a la profundidad de la superficie de ruptura, y al estado de la actividad.

Los deslizamientos (que son una parte de los llamados movimientos de masa o terrenos inestables) pueden ser clasificados según su actividad en:

**Subestabilizados a lentos:** cuando presentan movimientos de 0-2 cm/año

**Poco activos:** cuando presentan movimientos de 2 a 10 cm /año

**Activos con fases rápidas:** cuando presentan movimientos con velocidades mayores a 10 cm/año.

Atendiendo a la profundidad de la superficie de ruptura los deslizamientos se clasifican como sigue:

**Deslizamiento superficial:** La profundidad de la superficie de ruptura está entre 0 y 2 m.

**Deslizamiento semi-profundo:** la superficie de ruptura tiene profundidades entre 2 y 10 m.

**Deslizamiento profundo:** la profundidad de la superficie de ruptura es mayor de 10 m

Una de las clasificaciones más utilizadas para distinguir los terrenos inestables o movimientos en masa se basa sobre el tipo de movimiento (Clasificación de Varnes): **derrumbes o caídas, basculamiento, arrastre, deslizamientos, y flujos o coladas**. De estos los más comunes en Nicaragua son los derrumbes o caídas, los deslizamientos y los flujos o coladas.

### 1. Derrumbes o caídas:



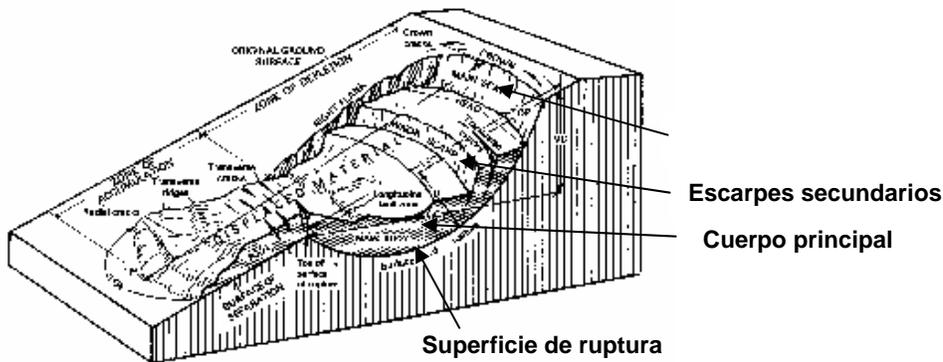
La masa de rocas o el bloque de rocas se desprende de una ladera y cae por acción de la gravedad, sin tener una superficie real de deslizamiento. El material se acumula en la base del acantilado formando una pendiente, lo que generalmente constituye una amenaza adicional, ya que puede removilizarse.

**Fig. 12: Derrumbes**  
(Fuente: Varnes, 1978)

### 2. Deslizamientos:

Se definen como el movimiento de una masa de rocas o suelos a lo largo de una superficie de

ruptura. Implica tanto fenómenos lentos como episodios rápidos. El movimiento puede ser de tipo rotacional, traslacional, plano o complejo. Pueden ser superficiales o profundos.

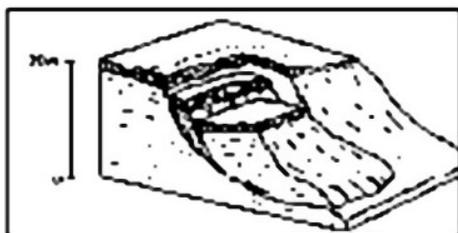


**Fig. 13: Esquema de deslizamientos** (Fuente: Turner y Schuster, 1996)

**Deslizamientos Subestabilizados:** Se refiere a masas inestables que tienen una actividad mínima o están estabilizados. Significa que fueron activos en tiempos pasados y que actualmente no se mueven al haber cambiado las condiciones que facilitaban su actividad (cambios climáticos, erosión o profundización de cauces -lo que los ha dejado “colgados”- o por haber alcanzado una pendiente inferior a la de su ángulo de reposo).

En ambos casos se asume que no representan mayor peligro.

**Deslizamientos peliculares:** el terreno presenta una morfología típica de cáscara de naranja, con pequeñas ondulaciones, con diámetros promedio de hasta 1 metro y profundidades entre 1 y 2 metros. Evoluciona hacia una forma de escalones o rombos que se conoce como *camino de vaca*. Este tipo de deslizamientos afecta fundamentalmente la cubierta edáfica, depósitos aluviales y coluviales finos, generalmente sobre pendientes mayores a 20°. La velocidad de movimiento de este fenómeno es lenta; sin embargo es susceptible a degenerar en coladas y deslizamientos rápidos tipo coladas de lodos y detritos. Es un fenómeno que ocurre mucho en la región Central y Norte de Nicaragua, relacionado fundamentalmente al uso intensivo e inadecuado del suelo. La única forma de detectarlos es por su típica apariencia ondulada (cáscara de naranja y caminos de vaca), especialmente en terrenos de cultivo o pastoreo. Es importante identificarlos, por las coladas que pueden originar.



**Deslizamientos rotacionales:** Existe una superficie de ruptura cóncava o curvada sobre la cual se mueve la masa inestable. Se puede originar en terrenos cohesivos, isotrópicos u homogéneos y rápidamente evoluciona hacia mecanismos más complejos.

**Fig. 14: Esquema de deslizamiento rotacional** (Fuente: Turner y Schuster, 1996)



**Fig. 15: Cáscara de naranja**

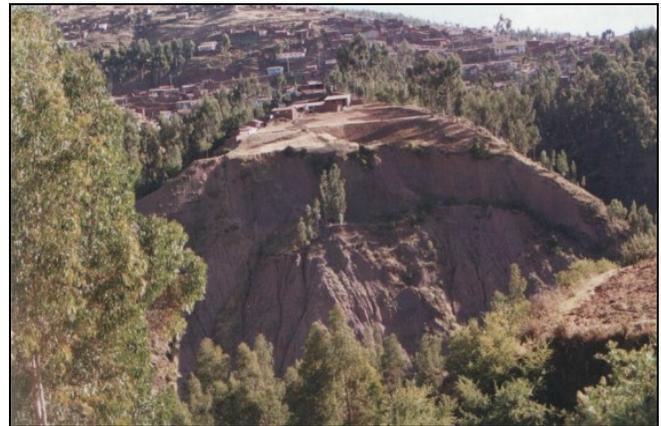


**Fig. 16: Caminos de vaca** (Fotografías: R. Carreño)

Deslizamientos traslacionales: la masa se desplaza a lo largo de una superficie de ruptura planar o ondulada. Son relativamente mas cortos que los deslizamientos rotacionales. Ejemplo de ello se observa en la foto abajo presentada.



**Fig. 17: Deslizamiento rotacional**



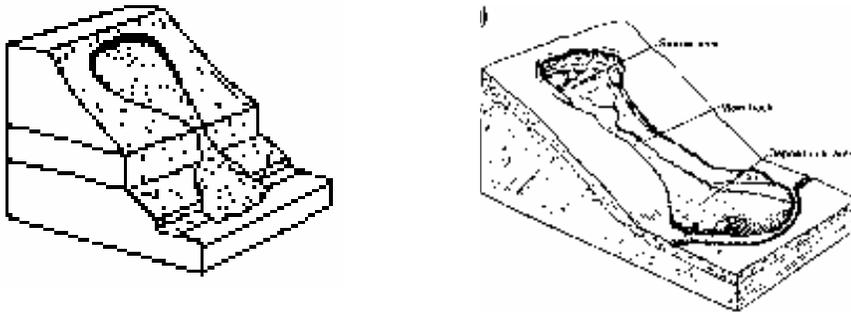
**Fig. 18: Deslizamiento traslacional** (Fotos: R. Carreño)

Coladas: son el resultado del movimiento de una masa de material sobresaturado, casi en estado líquido, de carácter rápido y generalmente formando un perfil longitudinal alargado con un cono terminal. La superficie de corte o ruptura usualmente no se preserva. El material en movimiento generalmente corresponde a los primeros niveles de suelo o a la cobertura vegetal. Si este material llega a un curso de agua podría contribuir a la formación de flujos de lodo y escombros y otros procesos torrenciales combinados.

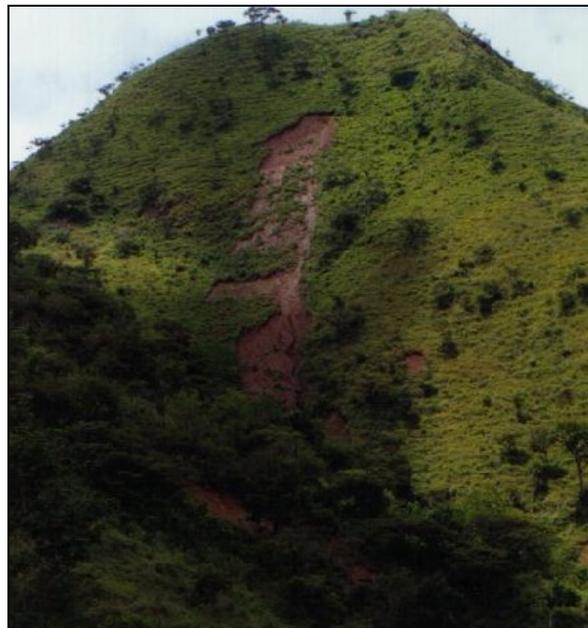
En dependencia del tipo de material desplazado y de la cantidad de agua involucrada puede haber coladas de lodo, de tierra y de detritos o de escombros.

- a) Coladas de lodo: el material en movimiento es una mezcla de material de granulometría fina como arcilla con abundante agua.
- b) Coladas o flujos de detritos: son flujos de material granular y escombros que presentan una matriz areno-arcillosa que en su conjunto se movilizan a través de canales preexistentes o formados por el mismo flujo. Frecuentemente presentan altas densidades con un 80% de sólidos por peso. El material grueso forma, a los lados del canal, estructuras conocidas como levees (producto de la fricción), mientras que el material fino continúa su movimiento hacia abajo.

Los lahares son flujos de detritos que se producen en las laderas de los volcanes, están compuestos por cenizas volcánicas y fragmentos de rocas.



**Fig. 19 y 20: Coladas de lodo y tierra** (Fuente: Turner y Schuster, 1996)



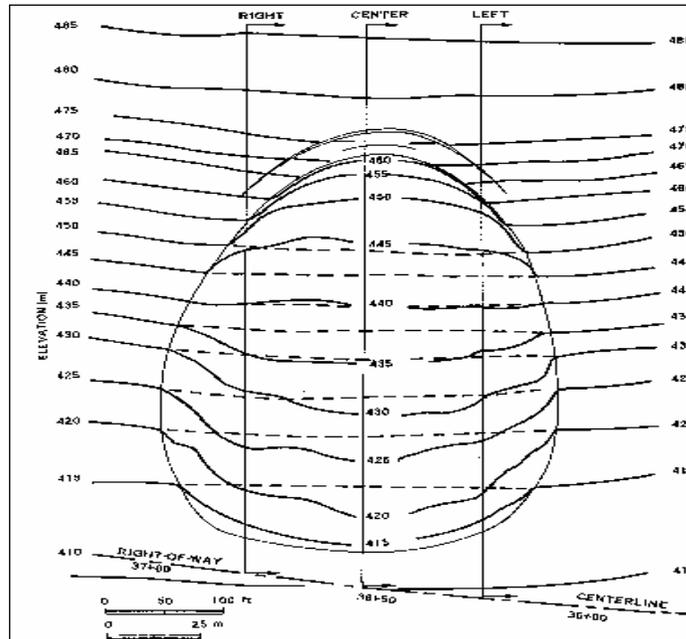
**Fig. 21: Coladas de tierra** (Fotografía: R. Carreño)

### 6.3 Identificación de deslizamientos

Los terrenos deslizamientos pueden ser identificados a través de observaciones e interpretaciones de los mapas geológicos y topográficos, de fotografías aéreas de diferentes años así como observaciones de campo.

En los **mapas topográficos** es posible observar disturbios o discontinuidades en las curvas de nivel (curvas no paralelas o caóticas) y relacionarlas con terrenos inestables. Para ayudar a visualizar estas discontinuidades pueden realizarse perfiles topográficos y geológicos, tanto en las áreas afectadas como en las áreas no afectadas; en mapas antiguos como en los más recientes, lo cual permite comparar la topografía y definir las áreas en deslizamiento. La densidad y tipo de drenaje es otro factor a considerar así como los cursos de ríos desviados. Toda esta información debe ser verificada en el campo.

La delimitación de los deslizamientos, en algunos casos, también puede realizarse a través de la observación de las curvas de nivel, trazando las líneas limitantes en los puntos de inflexión de las curvas como se muestra en la figura siguiente, lo cual debe ser verificado en el terreno.



**Fig. 22: Delimitación de deslizamientos en mapas topográficos**

(Fuente: Turner y Schuster, 1996)

La identificación de los terrenos inestables en fotografías aéreas, es una herramienta importante para la evaluación de los movimientos de terrenos y su delimitación espacial. Es posible identificar los terrenos inestables partiendo de la ubicación de depresiones de terreno, escarpes pronunciados, nichos de arranque, topografía ondulada, diferencias de coloración que sugiere cambios de litología o de dureza de las rocas, cambios de vegetación, zonas húmedas etc, como se muestra en los siguientes gráficos.

Los terrenos inestables pueden ser identificados en el campo partiendo de observaciones e interpretaciones generales de las cuencas, tanto de sus características geomorfológicas entre las que se destacan la presencia de un escarpe, un nicho de arranque, zona deprimida, topografía ondulada, zona de acumulación etc, como de sus características geológicas tales como fracturación, grado de alteración, tipo de roca, competencia de la roca, orientación de las estructuras, espesor de la capa de suelo, presencia de manantiales o zonas húmedas etc.

En la siguiente tabla se presentan algunos criterios para la identificación de terrenos inestables en el campo:

**Tabla 4: Criterios para la identificación de deslizamientos**

<b>Criterios por tipo</b>	
Geomorfológicos	Terrenos en ligeras depresiones, relieve ondulado, existencia de escarpas y contra pendientes. Fuerte pendiente en la cabecera o nicho de arranque, seguido de una contra pendiente y un cuerpo ondulado.
Geológicos	Rocas alteradas, discontinuidad de afloramiento no explicados por fallas, estructuras de forma irregular, capas de suelo relativamente potente, material poco consolidado o deleznable.
Hidrogeológicos	Abundancia relativa de agua (zonas con mayor verdor que en sus vecindades), régimen cambiante de manantiales, aparición de pantanos en las cabeceras y al pie de los deslizamientos, desviación de ríos hacia la orilla opuesta.
Vegetación	Existencia de plantas típicas de zonas húmedas, troncos torcidos y /o inclinados, ruptura de raíces y raíces tensas, cubierta de pasto discontinuo.
Infraestructura	Postes inclinados, cables tensos o catenaria excesiva, casas y otras construcciones agrietadas o inclinadas, grietas u ondulaciones y hundimientos en los pavimentos, cercos desplazados o descuadrados.
Toponimia	Muchos deslizamientos o zonas de inestabilidad tienen nombres característicos como Cerro de Agua, Volcán, Zompopo, Zompopero, Cerro Partido etc.
Históricos	Testimonios de eventos pasados.



**Fig. 23: Ruptura de pasto y suelo**



**Fig. 24: Escarpe vivo** (Fotografías: R. Carreño)

## 6.4 Evaluación de deslizamientos

Existen numerosas formas de cuantificar la amenaza, pero sus bases son siempre discutibles, por lo que sigue siendo más aconsejable limitar la escala de calificación de amenaza a tres categorías (baja, media, alta).

En el caso de los países centroamericanos, la calificación del nivel de amenaza geodinámica sólo puede lograrse a partir, fundamentalmente, de criterios subjetivos, pero fundados en sólidos conocimientos teóricos y en una sólida experiencia (métodos cualitativos).

En el ámbito de los **deslizamientos**, el grado de amenaza o de peligro podría ser establecido en función de la velocidad estimada del deslizamiento o de sus compartimentos.

**Nivel de peligro alto**

Se califican con nivel de peligro alto, aquellos deslizamientos **activos**, que presentan fuerte actividad o sufren procesos de aceleración, además de importantes modificaciones de la topografía, la infraestructura del sitio se observa fuertemente dañada, los árboles están inclinados, hay fracturas en el suelo y abundancia de manantiales por lo que se asume una velocidad de movimiento alta. En los grandes deslizamientos, ésta velocidad puede variar por zonas o sectores, pudiendo haber deslizamientos secundarios que se mueven más rápido que otros, por la pequeñez de la escala no es posible hacer mayores diferencias.

**Nivel de peligro medio**

Son deslizamientos **subactivos** aquellos que presentan velocidades estimadas promedio inferiores a unos 3 cm/año. Pueden presentar algunos compartimentos más activos. El movimiento del terreno puede causar daños a la infraestructura, tales como fracturas en paredes y muros; se pueden observar deformaciones en las tuberías superficiales, como líneas de tendido eléctrico o telefónico, agua potable etc. Sin embargo aún podría estabilizarse el deslizamiento a través de obras o medidas de mitigación.

**Nivel de peligro bajo**

Esta categoría engloba una serie de fenómenos de inestabilidad con muy baja actividad o que no están del todo declarados. Sin embargo existen evidencias como pequeñas fracturas en la infraestructura o presencia de deslizamientos peliculares que pudieran acelerarse eventualmente.

**7 AMENAZAS POR DERRUMBES**

**7.1 Identificación de derrumbes**

Las zonas susceptibles de provocar derrumbes corresponden a acantilados rocosos, zonas fracturadas o diaclasadas de fuerte pendiente, que en Centroamérica son frecuentes al pie de las llamadas mesas, en las escarpas de deslizamientos y en zonas de cambio litológico, donde las rocas más duras dejan resaltos o tienen taludes más empinados o a zonas donde el hombre ha realizado cortes de talud (carreteras, canales, etc).

**Tabla 5: Criterios para la identificación de zonas de derrumbe**

<b>Criterios por tipo</b>	
Geomorfológicos	Zonas rocosas o acantilados de fuerte pendiente, existencia de conos coluviales con fragmentos angulosos, zona de acumulación al pie del acantilado.
Geológicos	Afloramientos rocosos fuertemente fracturados (Fallas, diaclasas, juntas), rocas alteradas, rocas intemperizadas.

Vegetación	Cubierta vegetal ausente en zonas activas, abundante en zonas inactivas.
Toponimia	Nombres típicos: El Derrumbadero, El Pedregal, Las Piedras etc.
Históricos	Testimonios de pobladores.

## 7.2 Evaluación de derrumbes

Para hacer una calificación de peligros, se debe saber que las franjas de peligro derivado de derrumbes están en relación directa con la distancia del acantilado susceptible de producirlos, al grado de fracturación, estado de la roca y volumen en movimiento. La franja más peligrosa es la más cercana a la pared rocosa y puede ser determinada aproximadamente por el tamaño mayor de los bloques caídos de roca. El peligro se reduce a medida que el material está más lejos de esa pared y el tamaño de los bloques disminuye. Una situación especial se da cuando al pie de la zona susceptible de producir derrumbes se encuentra una quebrada, pues en este caso, el derrumbe puede provocar un taponamiento de la quebrada, seguido por un desfogue (transferencia de peligro).

Los mapas a escala 1: 50 000 no permiten delimitar de manera precisa las zonas de derrumbe, debido a que, por lo general, se trata de franjas relativamente pequeñas. Con la escala de trabajo basta con señalar, lo más precisamente posible, los lugares donde haya más susceptibilidad o densidad de derrumbes. Puede recurrirse adicionalmente a croquis, fichas descriptivas y fotos. Si se trata de carreteras o canales, la ubicación puede indicarse citando las progresivas donde se encuentran las zonas peligrosas o alguna referencia geográfica o antrópica conocida.

**Tabla 6: Criterios para la evaluación de derrumbes**

Nivel de peligro	Efectos indicadores visibles
Bajo	- Rocas duras pobremente fracturadas, cono coluvial sin indicios de actividad reciente y cubierto de vegetación
Medio	- Rocas con alteración moderada, fracturación inicial pero fracturas no muy abiertas o cerradas
Alto	- Rocas con fuerte alteración y profundidad de alteración - Presencia de fracturadas abiertas y diaclasadas - Alto grado de intemperismo - Escorrentía superficial o fuentes de agua - Conos coluviales vivos, sin cobertura vegetal y bloques recientes

## 8 COLADAS

Las coladas son fenómenos bastante comunes en Nicaragua. Están relacionados frecuentemente con el uso inadecuado e intensivo de los suelos, la deforestación y la degradación ambiental de cuencas. Generalmente son de pequeñas dimensiones, desplazando volúmenes modestos de material, pero pueden causar daños grandes. El material en movimiento generalmente corresponde a los primeros niveles de suelo o a la cobertura vegetal. El fenómeno involucra una masa de material saturado.

### 8.1 Identificación de coladas

Ver Tabla 7 a continuación.

## 8.2 Evaluación de coladas

Una evaluación del nivel de peligro generado por las coladas se basa fundamentalmente en la densidad de estas coladas en una determinada área y en la frecuencia de ocurrencia de las mismas. Son zonas con mayor susceptibilidad a este tipo de fenómenos aquellas que presentan deslizamientos superficiales o peliculares comúnmente conocidos como caminos de vacas o cáscaras de naranja.

Tabla 7: Criterios de identificación de zonas de coladas

Tipo	Criterios de identificación
Coladas de tierra	El escarpe principal es de forma cóncava, presenta los flancos curvados, con estructura de flujo. Es posible diferenciar algunos lóbulos al pie de la colada.
Coladas de lodo	El material movilizado es predominantemente arcilloso con abundante agua. El escarpe principal puede tener forma curvada, circular o de botella. El cuerpo es alargado.
Coladas de detritos	El material movilizado se compone de escombros de rocas y árboles. Presenta matriz fina de composición areno-arcillosa. El escarpe principal es en forma de V y comúnmente presenta estrías. Su parte inferior es alargada y de poca profundidad.

## 9 AMENAZAS VOLCÁNICAS

### 9.1 Tipos de amenaza volcánica

Los estudios de los peligros volcánicos deben ser sustentados sobre una base de información e investigaciones acerca de los volcanes incluyendo levantamientos geológicos y geofísicos, caracterizaciones petrográficas y geoquímicas de los productos emitidos. También se suele realizar dataciones para conocer la edad de la actividad o productos generados; sin embargo dado las condiciones económicas de los municipios, este tipo de estudio no es factible de realizar debido a su alto costo.

Los resultados de estos estudios constituyen la base para conocer el comportamiento eruptivo pasado, con el objetivo de entender el comportamiento actual y poder predecir el comportamiento futuro del volcán bajo estudio.

Entre los peligros asociados al volcanismo están: Flujos de lava, flujos piroclásticos, terremotos, caídas de piroclastos y emisión de gases. Otros peligros provocados indirectamente son los deslizamientos de terrenos, avalanchas de detritos, maremotos, lahares e incendios y sismos.

**Flujos de lava:** es material rocoso fundido debido a las altas temperaturas del interior de la tierra. Dada sus bajas velocidades el movimiento de los flujos de lava rara vez constituyen amenazas para la vida, sin embargo en casos excepcionales su velocidad de emisión puede variar considerablemente desde unos pocos metros a varios de kilómetros por hora dependiendo de la fluidez de las lava. El mayor peligro relacionado a flujos de lava representa el daño parcial o la destrucción total por enterramiento o incendio.

**Flujos piroclásticos:** son masas calientes de material piroclástico y gases que se movilizan rápidamente a ras de la superficie a velocidades con un rango de 10 a varios cientos de metros por

segundo. Estos flujos son muy comunes en muchos volcanes andesíticos y dacíticos y en calderas silíceas, presentan una amplia gama de composición, temperatura y volumen. El mayor peligro de una erupción volcánica radica en las coladas y flujos piroclásticos debido a la violencia y rapidez con que se desencadenan, arrasando todo lo encontrado en un alcance de hasta 10 km desde el centro eruptivo.

**Caídas de tefras:** La tefra está constituida por fragmentos de roca y lava que han sido expulsados hasta la atmósfera y que luego caen sobre la superficie terrestre. La tefra varía de tamaño desde ceniza (2mm), a lapilli (2-64mm) hasta bloques y bombas (<64mm) que pueden alcanzar diámetros de hasta varios metros. Las densidades varían desde pómez y escorias vesiculares de baja densidad, hasta cristales y fragmentos líticos muy densos.

Las caídas de tefra constituyen el peligro directo de mayor alcance derivado de erupciones, al incrementarse la distancia desde el centro de emisión la tefra presenta una disminución en el tamaño del grano y forma depósitos más delgados. Se considera que la devastación total puede ser producida bajo una potencia de 1 metro de tefra, mientras que bastan 40-50cm para que mueran los árboles y apenas 10cm para que se pierdan las cosechas y los pastos.

**Gases volcánicos:** El magma contiene gases disueltos, los cuales escapan hacia la atmósfera, tanto durante las erupciones como mientras el magma permanece en la superficie. Gases con composición geoquímica similar pueden también ser emitidos por sistemas hidrotermales. El gas volcánico más abundante es el vapor de agua, el dióxido de carbono, monóxido de carbono, óxidos de azufre, ácido sulfhídrico, cloro y fluor.

Los efectos de los gases volcánicos están relacionados directamente con su concentración, la cual decrece con la distancia desde su punto de emisión, ya que el gas es diluido por el aire. Normalmente los efectos nocivos están restringidos en un radio de 10km desde el punto de emisión.

**Avalanchas de escombros:** las caídas de escombros, los deslizamientos de masas y las avalanchas volcánicas pueden constituir tanto, eventos pequeños como movimientos de masa muy voluminosos. Las avalanchas han ocurrido en estrato volcanes o conos compuestos, algunos han ocurrido después de varios meses de actividad precursora sísmica otras han ocurrido con aparente escaso aviso. Los factores que inducen este tipo de fenómenos son las alteraciones hidrotermales, las intrusiones magmáticas, la erosión y las fracturación, las cuales pueden causar superficies de deslizamiento. Este debilitamiento progresivo puede conducir a que se produzca el deslizamiento, aunque es más probable que este se produzca a raíz de sismos o terremotos. *Estas avalanchas tienen mucha movilidad, por lo que viajan muy lejos. El impulso obtenido les permite vencer a su paso barreras topográficas de hasta centenares de metros de altura.* Estas avalanchas destruyen lo que encuentran a su paso y cambian la topografía. Adicionalmente se pueden generar a partir de lahares y crecientes.

**Lahares y crecientes:** Los lahares son mezclas de fragmentos rocosos que presentan matriz arcillosa, movilizados por agua que fluyen rápidamente y se originan en las pendientes de los volcanes. Sus propiedades están controladas por el tamaño de los granos y el contenido de agua. Los lahares y las crecientes son los miembros terminales de una serie continua de procesos que varían desde lahares densos dominados por flujos laminares hasta crecientes de aguas turbulentas. Las crecientes incorporan cada vez más sedimentos convirtiéndose en lahares, este proceso se denomina hinchamiento. Por otro lado los lahares se diluyen sea por el incremento de contenido de agua o por la pérdida de sedimentos, transformándose en flujos de crecientes muy concentrados denominados descargas terminales de lahar.

Existen varios mecanismos que pueden generar lahares y que están indirectamente relacionados a la actividad volcánica tales como: represas formadas por flujos de lava, avalanchas de escombros, flujos piroclásticos o bordes cratéricos que pueden fallar por desbordamiento o derrumbe, aguaceros torrenciales sobre tefra recientemente depositada u otro material no consolidado también pueden formar lahares. También se pueden formar lahares cuando ocurren simultáneamente tormentas y columnas eruptivas convectivas.

Los lahares amenazan las vidas humanas y las propiedades tanto en las faldas de los volcanes como en los valles que los drenan. Debido a su alta densidad y a su velocidad, los lahares pueden destruir la vegetación y hasta estructuras importantes a lo largo de sus rutas, tales como puentes y poblados, de igual forma los depósitos de lahares pueden enterrar profundamente obras de infraestructura y campos cultivados.

También pueden rellenar canales de ríos, disminuyendo de esta manera su capacidad de drenaje de crecientes. Adicionalmente, un incremento en la sedimentación en los ríos impactados por lahares puede afectar la capacidad y la navegabilidad de estos canales.

Las áreas de inundación y la longitud de un lahar son altamente influenciadas por el volumen del material movilizado, la topografía y la granulometría entre otros, etc.

## **9.2 Evaluación de amenazas volcánicas**

Las evaluaciones de los peligros volcánicos, en Nicaragua son elaboradas por INETER, institución que posee experiencia, información y equipos apropiados, por lo que lo más conveniente es solicitar estas evaluaciones a esta institución, ya que podría caerse en contradicciones que pudieran generar malos entendidos a la población expuesta a estos fenómenos. Por tal razón, a manera ilustrativa mencionamos en este documento las técnicas más utilizadas, sin embargo se recomienda dirigirse a INETER, para solicitar este tipo de evaluaciones.

Para la evaluación de peligros asociados al volcanismo algunas veces se toma como premisa asumir que en general las mismas áreas de los alrededores de los volcanes serán afectadas por similares eventos eruptivos en el futuro y con una frecuencia igual que en el pasado. Para realizar una evaluación de peligros volcánicos se debe pasar por las etapas siguientes:

1. Revisar los registros completos de las erupciones históricas del volcán o área bajo estudio.
2. Revisar la información referente a actividades pasadas con el objeto de evaluar los tipos y alcances esperados de una actividad volcánica futura.
3. Obtener datos de campo: geológicos, estratigráficos, petrológicos y geoquímicos sobre naturaleza, distribución y volumen de los productos eruptivos.
4. Identificar las áreas que podrían ser afectadas durante una erupción, incluyendo la elaboración de mapas de zonificación del peligro.

Es necesario disponer de datos sobre la extensión de los productos de erupciones pasadas y sus eventos relacionados con el fin de estimar la magnitud de estos eventos y así identificar las áreas que podrían ser afectadas por erupciones futuras.

La información sobre los peligros volcánicos obtenidos de estudios detallados de la historia eruptiva de un volcán y del comportamiento de volcanes similares puede ser presentada de diferentes

maneras. Un mapa de zonificación de peligros volcánicos es quizá la forma más adecuada de representarla, para lo cual se utilizan técnicas de mapeo geológico.

En tales mapas se determina una zonificación de peligros para cada evento indicando, además, el grado relativo de peligros. Para la delimitación de las zonas se debe considerar que las extensiones de los flujos de lava, de las corrientes piroclásticas o de los lahares dependen del volumen, movilidad, velocidad, por tanto los límites entre las zonas de peligros son aproximadas.

Algunos métodos utilizados para realizar una zonificación de peligros para eventos o fenómenos específicos son los siguientes:

**Caídas de tefras:** La zonificación del peligro por este fenómeno se basa en la frecuencia y magnitud, expresada en volumen total de tefra caída durante episodios anteriores, o según la relación espesor / distancia del centro de emisión, para lo cual debe ser considerado la dirección de los vientos. La forma de las zonas de peligro toma en consideración la dirección predominante de los vientos y sus velocidades.

**Flujos piroclásticos:** Las zonas afectadas por este tipo de fenómeno varía ampliamente de un volcán a otro, debido a las diferencias de energía en cada volcán y en cada evento. Las zonas de peligro pueden definirse basados en los datos siguientes:

- La extensión de tales fenómenos en un tiempo dado,
- Posibles migraciones del centro de emisión.
- Modelos computarizados utilizando la relación altura de la columna eruptiva vs distancia, conocidos como métodos de líneas o conos de energía los que generan mapas con las dimensiones de las zonas de peligro

**Lahares:** Las zonas de peligros para lahares comúnmente se definen basándose en la extensión y frecuencia de estos eventos. Los estudios que reconstruyen los niveles de inundación, velocidades, descarga y condiciones de los flujos de lahares pueden ayudar a delimitar con mayor precisión los límites en los fondos de los valles. Se debe tener en consideración que tanto la profundidad, el ancho y la descarga de los lahares pueden variar rápidamente a lo largo del curso en dependencia del tamaño del grano, de la relación agua / sedimentos y de la forma del cauce.

**Flujos de lava:** Las zonas de peligro se establecen sobre la base de la frecuencia con la cual las áreas han sido cubiertas por flujos de lava en el pasado reciente, en términos geológicos. Se considera también las longitudes y áreas de las coladas y los posibles centros de emisión, haciendo las consideraciones topográficas adecuadas con el fin de identificar áreas más susceptibles a ser inundadas por flujos de lavas que otras. El peligro se restringe al cauce de la colada, siendo su avance lento si la pendiente disminuye y se aleja de la boca eruptiva o centro de emisión.

## 10 RIESGOS SÍSMICOS

### 10.1 Tipos de amenazas sísmicas en Nicaragua

#### 10.1.1 Fuentes de sismicidad

La sismicidad en Nicaragua puede originarse a partir de las principales fuentes siguientes:

- a) Los sismos generados por la interacción de la Placa de Cocos con la Placa del Caribe. Ocurren a profundidades mayores a 100 km en una franja estrecha debajo de la línea costera y entre los 30 a 100km en la zona de subducción de las placas.
- b) Los sismos generados en la Cadena volcánica.
- c) Los sismos generados por las fallas superficiales dentro de la Depresión de Nicaragua, Son asociados a la cadena volcánica nicaragüense y parcialmente a la zona de subducción de las placas tectónicas. Generalmente no presentan grandes magnitudes, sin embargo debido a que se originan a profundidades bastante modestas o someras, (profundidades entre 0-30km), son bastante dañinos y peligrosos (ej.: terremoto de Managua en 1972).

Los sismos debidos al movimiento de las placas tectónicas pueden afectar centros urbanos ubicados a varios kilómetros de la costa, mientras que los sismos originados por las fallas superficiales afectan el centro urbano o las edificaciones más cercanas a la falla en cuestión.

#### 10.1.2 Regiones de amenaza sísmica

En términos de amenaza sísmica, la zona sísmica de primer orden está en la costa del Pacífico debido a la zona de subducción y al arco volcánico como fuentes responsables de casi el 100% de la sismicidad que ocurre en el país. Sin embargo, se sabe que los sismos llegan a afectar hasta regiones muy alejadas de la costa pacífica, como el Triángulo Minero. La influencia de las sacudidas sísmicas en la zona del Pacífico es frecuente con un evento de magnitud moderada (del orden de 5.0 grados en la escala de Richter) sentido cada mes, procedente de la zona de subducción, y eventos de baja magnitud (del orden de 4.0) asociado a fallas locales.

Los sismos importantes capaces de causar daño severo en la zona del Pacífico ocurren en período del orden de los cien años, mientras los sismos de magnitud moderada, pero destructivos, en el arco volcánico ocurren con período de recurrencia de algunas décadas.

La evaluación de las sacudidas por sismos en centros poblados tiene interés porque permite conocer umbrales de variables usadas para diseño y construcción, con modelos adecuados que tienen como objetivo evitar colapsos de la infraestructura, porque se entiende que los daños generados, en ocasión de la ocurrencia de un sismo, se asocian a la calidad de la construcción, a la ubicación de la obra, a la respuesta del sitio seleccionada, ante las sacudidas del suelo de origen telúrico, a la cultura ante los eventos naturales peligrosos, etc.

### 10.2 Consideraciones locales

#### 10.2.1 Fallas superficiales

En Nicaragua el INETER, en conjunto con la Asociación Nacional de Geólogos y Profesionales Afines han realizado una propuesta para la **Evaluación y zonificación de áreas basados en los peligros**

**sísmicos derivados de fallas superficiales en los sitios urbanos.** A la fecha este tipo de estudios locales de amenaza es imprescindible para el otorgamiento de permisos de construcción y sirven como base para el diseño de las obras civiles para reducir el impacto de los sismos generados por fallamiento local; sin embargo su uso no es ampliamente difundido ni exigido en todo el país, limitándose por lo general solamente a la capital, Managua.

Estos estudios se realizan con la siguiente metodología:

- a) El área sujeta a estudio es evaluada considerando el marco geológico y estructural local, a través de fotos aéreas, mapas y la recopilación y el análisis de toda la información relacionada, tanto geológica como geofísica y sismológica, etc.
- b) Las zonas en donde se identifican posibles lineamientos estructurales, son sometidas a estudios de mayor detalle que incluyen la realización de trincheras exploratorias perpendiculares a las posibles fallas así como a estudios geofísicos, perforaciones y estudios geotécnicos de los suelos, además de las correspondientes descripciones litológicas.
- c) Como resultado de este estudio, el área en cuestión es zonificada en función de su cercanía a la falla detectada. La zonificación será basada en una clasificación del 1 al 6 según la matriz de planeamiento urbano del antiguo Ministerio de Planificación Urbana, de 1974. Se deben incluir áreas aptas para construcción, para áreas verdes etc.

La escala de trabajo aceptada es 1:100 si se trata de áreas menores a 2 000 m<sup>2</sup>; escala 1:500 si se trata de áreas entre 2000 y 5000 m<sup>2</sup> y; escala 1:1 000 cuando el área es mayor de 5 000 m<sup>2</sup>.

### *10.2.2 Otros factores locales de amenaza*

En una zona de amenaza sísmica, el peligro local también suele ser más alto sobre planicies de inundación y terrenos cercanos a de las zonas afectadas por las mareas, en las playas. Estos suelos arenosos, por su granulometría, son generalmente propensos a fenómenos de licuefacción. También son peligrosos los suelos orgánicos con un alto contenido de agua.

La irregularidad de la topografía puede ser un factor de riesgo, por el "efecto antena": los movimientos sísmicos se amplifican en las zonas de cresta de una loma en o un escarpe.

## **10.3 Vulnerabilidad a sismos**

Aunque es difícil saber si una construcción fue diseñada y construida de manera correcta, algunas pautas pueden ayudar para la evaluación. También es posible hacer observaciones sobre las casas destruidas o dañadas por sismos anteriores y las casas que se encuentran actualmente en construcción, para apreciar ciertos detalles y así tener una idea del grado de adecuación de las prácticas en una región o un municipio.

### *10.3.1 Aspectos estructurales*

En un contexto de amenaza sísmica conocido, en un determinado lugar, el buen diseño estructural es el primer paso para lograr una baja vulnerabilidad ante sismos. Sin embargo, aspectos relativos a la concepción arquitectónica de una construcción (grado de simetría, distribución de las aperturas [puertas, ventanas]), detalles constructivos y la calidad de los materiales de construcción pueden ser

determinantes para el comportamiento ante sismos de una construcción, sobre todo cuando se trata de viviendas simples (ver párrafo siguiente).

Las construcciones de **madera con techos ligeros** resultan muy adecuadas para zonas sísmicas debido a su flexibilidad y capacidad de absorción de energía, siempre y cuando la madera sea tratada para evitar su putrefacción o el ataque de polilla u hongos.

Las viviendas de **adobe sin refuerzo** con techos de tejas de barro, muy populares en el campo nicaragüense, son muy vulnerables a los sismos. Las principales causas que contribuyen a su mal comportamiento son:

- Escasa resistencia en tensión del adobe y escasa adherencia de los morteros de lodo.
- No se logra una buena liga entre los muros transversales.
- Alto grado de intemperismo.
- Aberturas en forma de puertas o ventanas no reforzadas
- Elevados pesos sobre los muros provenientes de sistemas de techos que se traducen en elevadas fuerzas sísmicas.

En cuanto al **taquezal**, es un sistema inadecuado para resistir fuerzas laterales si no se ligan bien los elementos, y la cubierta (por lo general muy pesada) no es capaz de transmitir sus fuerzas de inercia a los muros. Otro aspecto que atenta contra el buen comportamiento de este sistema, es que por lo general se trata de construcciones muy viejas y por lo tanto la madera está podrida o atacada por hongos o polillas.

En lo referente a la **mampostería simple (no reforzada)**, su comportamiento ante fuerzas sísmicas es inadecuado. La mayoría de estas estructuras fallan durante temblores.

Las construcciones de **mampostería confinada**, puede decirse que su comportamiento observado durante sismos ha sido satisfactorio. La contribución del marco perimetral de concreto reforzado es importante en cuanto a que provee al tablero de una mayor capacidad de deformación y de una liga muy efectiva con los elementos adyacentes.

En cuanto a la **mampostería con refuerzo interior**, si bien es cierto que en países desarrollados es de mucha utilización y se ha comprobado que en estos se ha logrado un buen comportamiento del sistema, en la práctica latinoamericana tiene una mala reputación y su comportamiento ha sido inadecuado. Principalmente por falta de supervisión durante el proceso constructivo.

Para el caso de **edificios de vital importancia y edificios complejos**, es recomendable que se hagan cálculos para verificar que la estructura resiste o por lo menos no falle completamente ante los fenómenos sísmicos fuertes.

### *10.3.2 Otros factores de vulnerabilidad de las construcciones*

#### **Paredes, techos y elementos pesados**

- Las estructuras principales flexibles no deberían ser rellenas con bloques rígidos
- Sobre las estructuras principales flexibles no deberían colocarse elementos muy pesados (por ej. tanques de agua).
- Las construcciones livianas no deberían llevar techos pesados.
- Los llamados "pisos blandos" (pisos con solo columnas y pocas paredes, sobre los cuales vienen otros pisos más rígidos) son particularmente peligrosos.

### **Altura de las edificaciones**

- La altura de las edificaciones es un factor de riesgo cuando éstas no se diseñan correctamente. Al menos que se haga un diseño profesional, es mejor que la altura no pase de uno o dos pisos.
- Es mejor que la altura de un edificio sea la misma en todas sus partes.
- Suelen ser peligrosos los balcones en voladizo y las terrazas externas.

### **Detalles constructivos**

- Los tipos de estructuras con bloques sólidos deberían tener columnas de concreto reforzado, y los bloques deberían ser fijados a las columnas.
- Las columnas deberían estar conectadas por refuerzos de acero a las fundaciones y a las soleras de coronamiento (vigas de concreto reforzado que dan la vuelta a la construcción, bajo el techo).
- Las estructuras de techo livianas deberían estar fijadas a la solera de coronamiento.

### **Diseño de habitaciones**

- Los diseños asimétricos suelen ser más vulnerables.
- Las aperturas en las paredes (puertas, ventanas) deberían estar distribuidas regularmente.
- Las aperturas en las esquinas son particularmente peligrosas

### **Calidad de los materiales**

- La arena y la grava utilizadas deberían ser lavadas.
- Las piedras utilizadas deberían ser de buena calidad.

### **Calidad del trabajo y de los acabados**

- Las mezclas de concreto y mortero deberían hacerse correctamente.
- Los refuerzos deberían ser correctamente preparados y dispuestos.
- Las paredes y fundaciones no deberían ser debilitados por huecos para instalaciones.
- Una adecuada protección contra humedad y los insectos (en el caso de elementos de madera o similares) es necesaria para garantizar una resistencia a largo plazo.

## 11 BIBLIOGRAFÍA

**Aneas de Castro, S. (2000):** Riesgos y peligros, una visión desde la geografía. En: Scripta Nova. Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales. Universidad de Barcelona. No 60, 15 de marzo de 2000. <http://www.ub.es/geocrit/sn-60.htm>

**Aparicio, Francisco (1999):** Fundamentos de hidrología de superficie. Limusa, México.

**Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica – LA RED (2001):** Manual de construcción, evaluación y rehabilitación sísmo resistente en viviendas de mampostería. [www.desenredando.org](http://www.desenredando.org)

**Besson, Liliane (1996):** Les risques naturels en montagne. Traitement - prévention - surveillance. Editions Artès - Publialp

**Cardona, Omar Darío (1993):** "Evaluación de la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo. Elementos para el ordenamiento y la planeación del desarrollo" en: Los desastres no son naturales, A. Maskrey (compilador). LA RED, Tercer Mundo Editores, Bogotá. [www.desenredando.org](http://www.desenredando.org)

**Chow, Ven Te (1994):** Hidráulica de canales abiertos. McGraw-Hill, Bogotá.

**Chow, Ven Te; Maidment, David R.; Mays, Larry W. (1994):** Hidrología Aplicada. McGraw-Hill, Bogotá.

**COSUDE – AMUNIC (2002):** Instrumentos de apoyo para el análisis y gestión de riesgos naturales en el ámbito municipal de Nicaragua. EDISA, Managua.

**DIRDN (1992):** Glosario multilingüe de términos convenidos internacionalmente relativos a la Gestión de desastres. Decenio Internacional para la Reducción de Desastres Naturales 1990-2000, DHA, Ginebra. Diciembre 1992.

**EIRD (por parecer):** Living with Risk. A global review of disaster reduction initiatives. Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres (EIRD / ISDR), Ginebra. [www.unisdr.org](http://www.unisdr.org)

**Fell R. and Hartford, D. (1997):** "Landslide Risk Management ". En: Landslide Risk Assessment, D. Cruden, R. Fell editors, Balkema, pp 51-110

**FEMA (2000):** Guidelines for Determining Flood Hazards on Alluvial Fans. Federal Emergency Management Administration (FEMA), U.S.A. [www.fema.gov](http://www.fema.gov)

**INETER (1998):** Las lluvias del siglo en Nicaragua: el huracán Mitch, las lluvias y otros eventos ciclónicos y su recurrencia en Nicaragua 1892 - 1998. INETER, Managua, Diciembre de 1998.

**INETER (1999):** Sismos de Nicaragua. Catalogo sismológico anual. INETER, Managua.

**INETER (2001):** Amenazas naturales en Nicaragua. INETER, Managua, 2001.

**INETER-ANGPA (1999):** Términos de referencia para la elaboración de estudios geológicos en la Ciudad de Managua. INETER, Managua.

**Lateltin, Olivier (1997):** Prise en compte des dangers dus aux mouvements de terrain dans le cadre des activités de l'aménagement du territoire. Oficina Federal del Ambiente, los Bosques y el Paisaje (OFEPF), Oficina Federal de la Economía de Aguas (OFEE) y Oficina Federal del Ordenamiento Territorial (OFAT), Berna, Suiza. [www.admin.ch/edmz](http://www.admin.ch/edmz)

**Linsley, Ray K. Jr.; Kohler, Max A.; Paulhus, Joseph L.H. (1988):** Hidrología para ingenieros. McGRAW-Hill, México.

**Loat, Roberto y Petraschek, Armin (1997):** Prise en compte des dangers dus aux crues dans le cadre des activités de l'aménagement du territoire. Oficina Federal de la Economía de Aguas (OFEE), Oficina Federal del Ordenamiento Territorial (OFAT) y Oficina Federal del Ambiente, los Bosques y el Paisaje (OFEPF), Berna, Suiza. [www.admin.ch/edmz](http://www.admin.ch/edmz)

- Monsalve, Germán (1995):** Hidrología en la Ingeniería. Dirección editorial: Departamento de Publicaciones, Escuela Colombiana de Ingeniería, Colombia.
- Murck, Barbara; Skinner, Brian y Porter, Stephen (1997):** Dangerous Earth. An Introduction to Geologic Hazards. John Wiley & Sons, Inc.
- OEA (1993):** Manual sobre el manejo de peligros naturales en la planificación para el desarrollo regional integrado. Organización de los Estados Americanos, Washington, D.C. [www.oea.org](http://www.oea.org)
- Ollier, Cliff (1969):** Volcanoes. The MIT Press, Cambridge, Mass.
- Ordóñez, Amado; Trujillo, Mónica y Hernández, Rafael (1999):** Mapeo de riesgos y vulnerabilidad en Centroamérica y México.
- Ortiz, Ramón (1996):** Riesgo Volcánico (Editor Científico). Serie Casa de los Volcanes. Cabildo de Lanzarote
- República de Nicaragua (2000):** Ley Creadora del Sistema Nacional para la Prevención, Mitigación y Atención de Desastres (Ley 337). La Gaceta, Diario Oficial, Managua, 07 de abril 2000.
- Tilling, Robert y Punongbayan, Raymundo (1993):** Apuntes para un curso sobre los peligros volcánicos (traducción de Bernardo Beate). Organización Mundial de Observatorios Vulcanológicos.
- Turner, Keith y Schuster, Robert (1996):** Landslides: Investigation and Mitigation. (Special report 247 of the U.S. National Research Council). Transportation Research Board.
- UNESCO (1993):** Multilingual landslide glossary.
- United Nations Department of Humanitarian Affairs (1996):** Experience and Lessons Learned from the Management of Major Disasters - Mudflows. United Nations.
- Van Dine, D.F. (1997):** Landslide hazard and risk assessment for small projects, preliminary studies and emergency response.
- Varnes, David (1984):** Landslide hazard zonation: a review of principles and practice. UNESCO, Paris.
- Velásquez, Andrés; Rosales, Cristina (1999):** Escudriñando en los desastres a todas las escalas. Concepción, metodología y análisis de desastres en América Latina utilizando DesInventar. OSSO – ITDG – LA RED. [www.desenredando.org](http://www.desenredando.org)
- Wheelock, Jaime R. et al. (2000):** Desastres naturales de Nicaragua. Guía para conocerlos y prevenirlos. IPADE/DIAKONIA, Hispamer, Managua.
- Wilches-Chaux, Gustavo (1993):** La vulnerabilidad global. LA RED. [www.desenredando.org](http://www.desenredando.org)
- Zilbert, Linda (2001):** Gestión local del riesgo, Material de apoyo para la capacitación; Desarrollando contenidos. Secretaría Ejecutiva del Sistema Nacional para la Prevención, Mitigación y Atención de Desastres – PNUD – COSUDE – Proyecto TGL/INIFOM, Managua.
- Zilbert, Linda (2002):** Hacia la construcción del Plan nacional de formación y capacitación del SNPMAD. Secretaría Ejecutiva del Sistema Nacional para la Prevención, Mitigación y Atención de Desastres – COSUDE – PNUD, Managua.