

## METODOLOGÍA PARA LA GESTIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS SIGUIENDO EL ENFOQUE DEL RIESGO INTEGRAL

*MSc. Javier Saborío B.<sup>1</sup>*

**Resumen** Se presenta metodología general del enfoque de riesgo a través de la tecnología de los Sistemas de Información Geográficos, la evolución de los conceptos del enfoque integral de riesgo como apoyo a la Gestión de las Cuencas Hidrográficas y su evolución.

Mediante ejemplos de proyectos realizados con base en una metodología integradora en la variable de riesgo, que es útil, para realizar un ordenamiento integral de los recursos ambientales (biofísicos, socioeconómico-culturales) a nivel de la Cuenca Hidrográfica.

El grado de riesgo se determina, partiendo de que el riesgo se entiende como una evaluación cognoscitiva de las pérdidas que pueden ocurrirle a un elemento expuesto, de acuerdo con sus características, su situación y un contexto particular de tiempo y de espacio, el análisis cuantifica espacialmente el grado de riesgo, utilizando la tecnología SIG.

El modelo general de ordenamiento territorial con énfasis en prevención en el que se considere el riesgo como una función de la amenaza y de la vulnerabilidad, esto es,  $R = f(A, V)$

Finalmente, se introduce la evolución de los conceptos con el aporte de los escenarios de amenazas y el manejo de la vulnerabilidad socioeconómica que permite aplicar el enfoque de riesgo integral, por medio de la tecnología SIG.

**Palabras claves:** Amenaza, vulnerabilidad, riesgo, manejo integrado de recursos naturales, ordenamiento territorial, Sistemas de Información Geográficos.

**Abstract** General methodology of focusing on risk is presented through the technology of the Geographic Information System (GIS), the evolution of the concepts of the integral focus of risk as a support to the management of Hydrographic Watershed and its evolution. Through examples of completed projects, an integrative methodology is made of the risk

<sup>1</sup> Coordinador Regional Proyecto Trofeca, CATIE / Grupo Cambio Global Turrialba, Costa Rica, Tel: (506) 2558-2348, (506) 2558-2510; cel: (506) 88301655. e-mail: jsaborio@catie.ac.cr. www.catie.ac.cr/cambioglobal

variable that is useful to achieving an integral ordering of the environmental resources (biophysics, socioeconomic-cultural) at the Hydrographic Watershed level.

The risk degree is determined, starting from the premise that the risk can be understood as a cognitive evaluation from the losses that can happen to an exposed element, according to their characteristics, situation and a particular context of time and space, the quantified analysis, especially of the degree of risk, using GIS technology.

The general model of territorial ordering, with emphasis on prevention and what is considered the risk as a function of the hazard and the vulnerability, that is:  $R = f(A, V)$ .

Finally, evolution of the concepts is introduced, with the contribution of the hazard scenarios and management of the socioeconomic vulnerability that allows application of the risk focus, by GIS technology.

**Key words:** hazards, vulnerability, risk, integrated management of natural resources, territorial ordering, GIS, Geographic Information Systems.

## 1. INTRODUCCIÓN

El enfoque moderno de la planificación de los usos de la tierra y el manejo de los recursos naturales, y en general ambiente, especialmente el manejo y gestión de las cuencas hidrográficas, desempeñan un papel fundamental en la reducción de los riesgos. Hay una variedad de medidas de tipo político y herramientas que se pueden utilizar con el fin de disminuir la vulnerabilidad. Las agencias públicas pueden hacer cumplir las medidas reguladoras, así como controlar los usos de la tierra. Otro enfoque lo constituye la creación de incentivos económicos mediante los cuales se anima a los involucrados a invertir en procesos de gestión ambiental. Sin embargo, estas acciones requieren conocer espacialmente la amenaza del fenómeno, las zonas vulnerables y de ahí los niveles de riesgo.

A pesar de numerosos esfuerzos, las evaluaciones sobre vulnerabilidad han permanecido prácticamente ausentes en el diseño, ubicación, construcción y mantenimiento de la infraestructura en la región. Se han realizado estimaciones que indican que entre el 50% y el 75% de las pérdidas económicas causadas por los huracanes en la región Centroamericana, (CRED, 1997) se debió al mal diseño y ubicación de viviendas, vías, puentes e industria.

Una herramienta importante para identificar y analizar los impactos negativos ambientales y sociales potenciales de los proyectos de infraestructura son las evaluaciones de impactos ambientales y sociales (EIAs). Llevadas a cabo desde el inicio hasta el final de un proyecto, las EIAs les permiten a quienes planifican proyectos, garantizar que se cumpla con las normas reglamentarias y, además, minimizar los efectos negativos potenciales.

La evaluación del riesgo ante amenazas naturales, es otro mecanismo importante que analiza el potencial impacto de un evento natural sobre un

proyecto. La zonificación del riesgo, dada por la susceptibilidad o vulnerabilidad de las zonas, ante diversas amenazas se debe tomar en cuenta a la hora de promover acciones de desarrollo, bajo el Plan de Manejo Integrado de la Cuenca Hidrográfica, o bien de protección - prevención, y hasta de reubicación de las zonas más expuestas (socio-productivas e infraestructura) a áreas menos peligrosas.

Este tipo de evaluación, integrado en los planes de usos del suelo, contribuye a orientar la ubicación de la infraestructura e indica la construcción apropiada o las medidas de ingeniería necesarias para minimizar los posibles daños causados por un evento natural, de manera que se mejore o se preserve el entorno y se reduzca la vulnerabilidad ante dichas amenazas.

La creación de un marco institucional adecuado con mecanismos mediante los cuales se puedan poner en práctica las medidas de reducción de la vulnerabilidad es de vital importancia. La base de este marco es un sistema participativo en el que todos los sectores (gubernamental, privado, sociedad civil) toman medidas para controlar y mitigar la vulnerabilidad ante amenazas naturales.

La educación ambiental, como una forma de sensibilización social, brinda a las comunidades no sólo la destreza necesaria para tomar decisiones con base en información suficiente, sino también la motivación para participar y asumir la responsabilidad de la gestión ambiental.

## 2. JUSTIFICACIÓN

Las acciones de Manejo de Cuencas Hidrográficas en la región Centroamericana, han adolecido hasta la fecha de dos serias limitantes:

- a) La carencia de la integración de la variable riesgo dentro de los Planes de Manejo de las Cuencas Hidrográficas.
- b) La carencia de herramientas de control que permitan dar seguimiento a las acciones de la gestión del manejo de las cuencas hidrográficas.

Si bien es cierto, la tendencia del BID (2001) y otros organismos internacionales ha sido el incorporar la variable riesgo, hasta la fecha esto se ha hecho en forma aislada y integralmente, por ejemplo: los planes de manejo de la cuenca del Río Tárcoles (2000), o bien de la Cuenca del Río Reventazón (1999), o el Plan de Gestión de la Cuenca del Río Tempisque, en Costa Rica (1998) carecen de este enfoque. Igualmente en Guatemala, Honduras, Nicaragua y El Salvador se han hecho esfuerzos en los que se consideran algunas amenazas en forma aislada, pero sin integración.

Por otra parte, una vez que se pasa a la ejecución de acciones se carece de formas de control o seguimiento y de indicadores específicos que permitan ver los progresos de implementación de las medidas.

Por lo anterior, el autor de esta presentación ha venido trabajando sobre una **metodología para la Gestión de las Cuencas Hidrográficas con base en un modelo de riesgo integral**, apoyándose en la tecnología de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), que incluya el seguimiento y control de las acciones por implementarse en una Cuenca Hidrográfica.

### 3. MÉTODOS

La metodología de trabajo se basa en planteamientos del BID (Mora S., 2000) y fue aplicada preliminarmente a escala 1:200,000 por Basterrechea M. y Saborio J. en el Proyecto Esprede-Guatemala, CATIE-BID (1999-2001), posteriormente se aplica en la Cuenca del Río Savegre en Costa Rica, a escala 1:50,000 como parte de un estudio Integral de Riesgo, realizado por el ICE (2002-2003), por ABT y Asociados para el estudio de inundaciones en la Región Huetar Atlántica (2004-2005) y actualmente a escala urbana, en estudio de drenaje en La Paz, Bolivia.

A continuación se presenta la teoría que fundamenta la metodología, los tipos de evaluaciones en relación con amenazas, vulnerabilidad y riesgo, que se deben efectuar, la aplicación de la metodología de riesgo con apoyo de la tecnología SIG, la simplificación del modelo por limitantes de información, las áreas de aplicación: a) de la metodología de ordenamiento con base en el riesgo integral y b) del seguimiento y control de las acciones.

**El modelo.** La metodología por seguir se basa en el concepto de riesgo (Diagrama 1), por aplicarse en forma espacial.

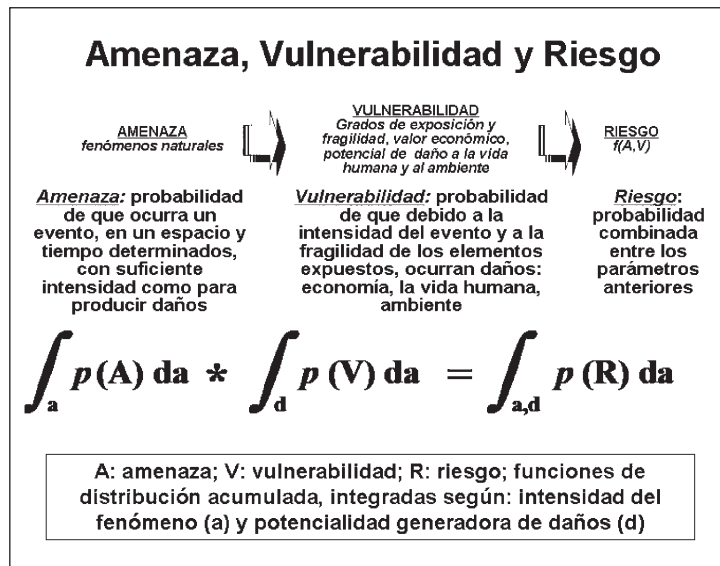


Diagrama 1: Amenaza, vulnerabilidad y Riesgo

El **riesgo** es generalmente definido como la probabilidad de pérdida (DLE, 1994). En términos económicos esto se refiere a una disminución del ingreso debido a pérdidas que resultan de un peligro o amenaza natural o inducida por el ser humano. Para el análisis del riesgo se consideran las causas o probabilidades de la amenaza, así como el impacto espacial y el grado de exposición o fragilidad, denominado vulnerabilidad.

La **amenaza** se refiere al grado de certeza de ocurrencia de un evento en particular (DLE, 1974) Usualmente está basada en la frecuencia histórica. Por ejemplo, la probabilidad de un huracán en un año dado podría ser 0.1, o sea 10%, si los huracanes han ocurrido en dos de los últimos 20 años.

Sin embargo, para el propósito de toma de decisiones, las probabilidades rara vez están basadas estrictamente en información histórica; generalmente son reajustadas tomando en consideración la información disponible en el momento, a lo cual se puede hacer referencia como probabilidad subjetiva. Por ejemplo, la observación de que hubieran ocurrido tempestades tropicales recientemente en otras partes del mundo, puede dar como resultado que se asigne una probabilidad subjetiva mayor a una tempestad local, en relación con lo que resultaría con base únicamente en frecuencias históricas.

La **vulnerabilidad** es la valoración del daño potencial a la vida humana y al ambiente, asociada a la probabilidad de que debido a la intensidad del evento y a la fragilidad de los elementos expuestos, ocurran daños en la economía, la vida humana y el ambiente (La Red, 1998).

### **Tipos de evaluaciones**

El modelo  $R = F(A, V)$ , requiere de evaluaciones de los diferentes componentes.

- **Evaluaciones de Amenazas Naturales.** Las evaluaciones de amenazas proveen información sobre la posible ubicación y severidad de fenómenos naturales peligrosos y sobre su probabilidad de ocurrencia dentro de un período específico y en un área determinada. Estos estudios se basan en gran medida, en información científica ya existente incluyendo mapas geológicos, geomorfológicos y mapas de suelos, datos climáticos e hidrológicos, y mapas topográficos, fotografías aéreas e imágenes de satélite.

La información histórica, obtenida tanto en informes escritos como por medio de las narraciones de quienes han habitado el área por mucho tiempo, también ayuda a categorizar los potenciales eventos.

Idealmente, una evaluación de amenazas naturales concientiza a la gente sobre el tema, en una región destinada al desarrollo; al evaluar la

amenaza de los eventos naturales se identifica la información adicional necesaria para hacer una evaluación definitiva y se recomiendan los medios más apropiados para poder obtenerla.

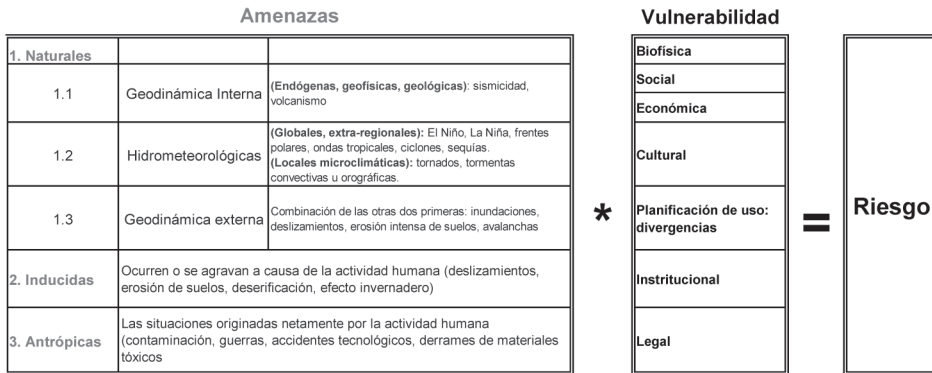
- **Evaluaciones de Vulnerabilidad.** Los estudios de vulnerabilidad estiman el grado de pérdida o daño que pueda causar la ocurrencia de un evento natural de determinada severidad. Los elementos analizados incluyen poblaciones, instalaciones y recursos físicos tales como infraestructuras vitales, centros de producción, lugares de reunión pública y patrimonio cultural, y actividades económicas y funcionamiento normal de la población.

La vulnerabilidad de áreas geográficas seleccionadas, como por ejemplo, las de mayor potencial de desarrollo o las ya desarrolladas que estén ubicadas en zonas peligrosas, puede estimarse. Las técnicas empleadas incluyen el trazo de mapas de infraestructuras vitales y análisis sectoriales de vulnerabilidad para actividades tales como energía, transporte, agricultura, turismo y vivienda.

- **Evaluaciones de Riesgo.** La información obtenida al analizar las amenazas y la vulnerabilidad de un área se integra en un análisis de riesgo, que es una estimación sobre las posibles pérdidas ante un evento natural determinado.

Una vez evaluado el riesgo, los planificadores cuentan con las bases necesarias para incorporar medidas de mitigación en el diseño de proyectos de inversión y para comparar los costos y los beneficios obtenidos con estas medidas y sin ellas.

- **Reducción de Vulnerabilidad.** El riesgo de las amenazas naturales puede reducirse sustancialmente introduciendo medidas estructurales de mitigación (construcción sismorresistente y edificios a prueba de inundaciones, etc.) y no estructurales (medidas de zonificación, seguros e incentivos tributarios que propicien la evacuación de zonas en peligro, etc.). La planificación del manejo de las cuencas hidrográficas incorporando el componente de riesgo permitiría por una parte el manejo de la información ambiental (biofísica, socioeconómica y cultural) en forma espacial y por otra el efectuar una mejor toma de decisiones en cuanto a la vulnerabilidad en el mismo ámbito ambiental de una forma integradora y más completa.



**Diagrama 2: Relación amenazas, vulnerabilidad y riesgo.**

#### 4. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA A TRAVÉS DE LA TECNOLOGÍA SIG

La evaluación del riesgo mediante los Sistemas de Información Geográficos (SIGs) permite:

- Contar con una visión de conjunto y variada del escenario de riesgo.
- Establecer relaciones espaciales y vincular distintos tipos de información.
- Contar con información digital de consulta directa.
- Realizar actualizaciones que respondan al dinamismo del problema (el riesgo como proceso).

En general la aplicación de SIG está pensada como una herramienta de gestión y decisión, por lo que su aporte al estudio de riesgo, al ordenamiento territorial y a la planificación de cuencas hidrográficas es necesario e importante, dado el enfoque espacial de los análisis.

En resumen, la metodología propuesta toma las variables de amenazas y vulnerabilidad en forma espacial y las combina para obtener el riesgo, sea en forma independiente e integrada a través de un índice de riesgo.

#### Vulnerabilidad

Con objeto de tomar en cuenta todas las amenazas en forma combinada, se procede a utilizar un índice. Se aplicó el concepto de la fórmula general de los modelos de aptitud (Srinivas E. Et al, 1994), como:

$$IR = \left( \sum_{i=1}^n w_i \text{ Amenaza}_i \right) \left( \prod_{j=1}^m \text{ Amenaza}_j \right)$$



Donde:

- IR = índice compuesto de riesgo, como la intersección de la sumatoria pesada de las variables continuas y la multiplicatoria de las variables discretas o restrictivas
- $w_i$  = peso para la amenaza  $i$ , en el caso de pesos iguales para cada amenaza  $i$  se tiene  $w_i = 0.333$ . En todo los casos la  $(\sum W_i = 1)$
- Amenaza  $i$  = la amenaza continua  $i$  siendo considerada. Este tipo de variable refleja una medición continua, por ejemplo: amenaza por erosión.
- Amenaza  $j$  = la amenaza discreta  $j$ , siendo considerada. Este tipo de variable refleja un comportamiento restrictivo, por ejemplo: un áreas protegida, se toma en cuenta o se excluye.

## 5. SIMPLIFICACIÓN DEL MODELO

Las limitaciones de la información biofísica y socioeconómica de las cuencas hidrográficas del país, salvo excepciones como lo constituyen las cuencas más pobladas o donde históricamente se han ubicado proyectos energéticos, limitan el alcance de los análisis.

## 6. EJEMPLOS Y ÁREAS DE APLICACIÓN

- Estudios para Prevención de Desastres y Evaluación de sus Daños en Cuencas Hidrográficas Estratégicas de Guatemala” (1999-2000). MAGA-CATIE-BID
- Ordenamiento territorial con base al riesgo integral. Gestión Integrada de Recursos Naturales en la Cuenca del Río Savegre, Costa Rica (605 Km.<sup>2</sup>). Proyecto Araucaria (MINAE-Cooperación Española). ICE, 2002-2003
- Diseño de Medidas de Mitigación de Riesgos Naturales “Inundaciones” a Nivel de Subcuencas Críticas, Programa de Desarrollo Sostenible de la Región Huetar, Vertiente Atlántica(CR-0157), ABT y Asociados, 2004-2005.

## 7. CONCLUSIONES

La metodología de incorporar la variable riesgo en los planes de manejo de las cuencas hidrográficas coadyuva a una mejor toma de decisiones



en beneficio del ambiente (comunidades, recursos y servicios) en la cuenca hidrográfica, más aún, el análisis de riesgo se convierte en un procedimiento apto para realizar una mejor zonificación y la posibilidad de realizar un ordenamiento territorial, como base del Plan de Manejo de la Cuenca Hidrográfica, por lo que se debería considerar como parte del modelo de Zonificación Territorial, en lugar de una variable adicional al Plan de Manejo, como se ha tratado tradicionalmente.

La posibilidad de integrar el análisis de riesgo a la zonificación territorial y al manejo y gestión de las cuencas hidrográficas, el poder expresar juntas las variables biofísica y socio-económica en forma espacial, como base de la metodología, permite llenar este vacío y producir a la vez mejor información para la toma de decisiones finales. Esto constituye un método novedoso, efectivo, que vendría a llenar el vacío existente en cuanto a metodologías espaciales de zonificación.

Un diagnóstico cuali - cuantitativo del riesgo permite identificar las heterogeneidades de la cuenca hidrográfica involucrada y, en consecuencia, realizar aportes concretos diferenciales en cada una de las fases del continuo del desastre. En la prevención, implementar medidas focalizadas y diversificadas (de zonificación territorial, de educación, de comunicación, de organización, etc.), dirigidas a distintos grupos sociales según su tipo y grado de vulnerabilidad. En la preparación, priorizar grupos sociales que requieran medidas específicas para la respuesta.

La metodología permite contar con información de consulta directa para tomar medidas diversificadas según las características, necesidades y posibilidades de los distintos grupos sociales e incluso es aplicable en la rehabilitación y la reconstrucción, se podrá plantear el mejoramiento de la situación post-desastre.

## BIBLIOGRAFÍA

- ABT y Asociados. (2004). **Diseños de Medidas de Mitigación para Riesgos de Inundación en la Región Huetar Atlántica – Informe final, componente hidrológico y mapeo de amenazas, para ABT y Asociados**, 200p.; para el Programa de Desarrollo Sostenible de la Región Huetar, Vertiente Atlántica (TC-02-10-05-6 / ATN JF 8359 CR) Diseño de Medidas de Mitigación de Riesgos Naturales a Nivel de Subcuencas Críticas.
- Barrenechea, J. (1999). **Herramientas metodológicas para la gestión integral de riesgos ambientales**. PIRNA - Programa de Investigaciones en Recursos Naturales y Ambiente tomado de internet: [www.filo.uba.ar/institutos/geografia/home.htm](http://www.filo.uba.ar/institutos/geografia/home.htm)

- Basterrechea, M., Dourojeanni A, García L., Novara J. y Rodríguez R. (1996). **Lineamientos para la preparación de proyectos de manejo de cuencas hidrográficas para eventual financiamiento del Banco Interamericano de Desarrollo**. Washington, D.C.
- Basterrechea, M., Saborío J., González A. (2001). **Análisis de Riesgo e Impacto de Eventos Generadores de Desastres en las Cuencas Hidrográficas**. CATIE - BID (1147/OC-GU) – MAGA. Guatemala.
- CRED, (Centre for Research on the International Centre for Training and Epidemiology of Disasters Exchanges in the Geosciences). (1997). **Diagnóstico Previo al Plan de Acción DIPECHO para América Central y el Caribe**. Disaster Preparedness Programme European Commission Humanitarian Office (DIPECHO). Université Catholique de Louvain. En Internet: <http://www.cred.be/centre/publi/142s/ch3.htm>.
- DLE “**Diccionario de la Lengua Española**”. (1974). Décimonovena edición.
- EPA (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos). (2001). **Sistema de software para EPA 2001**. Basins versión 3.0. Agency Fact Sheet Better Assessment Science Integrating point Sources. CD.
- \_\_\_\_ (1998) **Los Desastres no son Naturales**, en internet: <http://www.desenredando.org/>
- Srinivas E., Eastman R. y otros. (1994). **Applications in Hazard Assessment and Management UNITAR**.
- Madrigal, C. (1996). **Efectos del Huracán César sobre la región que incluye el PH. Los Llanos**. Publicación interna ICE.
- Mora, S. (2000). **Presentación acerca de riesgos, en Reunión Latinoamericana de Riesgos**. New Orleans.
- WMO. (1995). **Comprehensive Risk Assessment for Natural Hazards**. 92p.
- OEA. (1991). **Desastres, Planificación y Desarrollo: Manejo de Amenazas Naturales para Reducir los Daños**, en Internet: <http://www.oas.org/usde/publications/Unit/oea57s/begin.htm#Contents>
- OEA. (1993). **Manual Sobre el Manejo de Peligros Naturales en la Planificación para el Desarrollo Regional Integrado**, en Internet: <http://www.oas.org/usde/publications/Unit/oea65s/ch06.htm>
- Herrera, L. & Asociados (2000). **Actualización del Atlas Climatológico para la República de Guatemala**. Proyecto de Asistencia Técnica y Generación de Información. Proyecto Esprede, MAGA-CATIE-BID CATIE, 25p. Inédito
- Saborío J. (2000). **Estudio de Erosión a Nivel Nacional de la República de Guatemala**. Proyecto de Asistencia Técnica y Generación de Información. Proyecto Esprede, MAGA-CATIE-BID CATIE, 30p. Inédito



*Javier Saborio B. Metodología para la gestión de cuencas hidrográficas siguiendo el enfoque de riesgo integral*

- Saborío, J. (2001). **Especificaciones de la Base de Datos Espacial para la República de Guatemala.** (Memoria Técnica). Proyecto de Asistencia Técnica y Generación de Información. CATIE, 230p, Incluye catálogo de mapas realizado por el personal del Proyecto de Asistencia Técnica y Generación de Información, durante el período 1999 a 2001. Inédito.
- Saborío, J., Basterrechea M., (2001). **Análisis de Riesgo e Impacto de Eventos Generadores de Desastres en las Cuencas Hidrográficas de la República de Guatemala.** Proyecto de Asistencia Técnica y Generación de Información. CATIE 32p. Inédito
- Saborío, J., Basterrechea M. (2001). **Marco Metodológico para la Evaluación de Daños ante Fenómenos Especiales y Medidas de Mitigación en las Cuencas Hidrográficas de la República de Guatemala,** Proyecto de Asistencia Técnica y Generación de Información. CATIE, 30p.
- Saborío, J., Lira E., (2001). Análisis de la Amenaza Volcánica para la República de Guatemala, Proyecto de Asistencia Técnica y Generación de Información. CATIE, 45p.
- Saborío, J., Chacón, R. (2002). **Aspectos Climáticos relacionados a la distribución temporal – espacial de la precipitación.** Proyecto Araucaria (Agencia de Cooperación Española), MINAE, ICE. Costa Rica, 25p. Inédito
- Saborío, J., Climent, A. (2002). **Amenaza sísmica en el marco del estudio de riesgo integral de la Cuenca del Río Savegre.** Proyecto Araucaria (Agencia de Cooperación Española), MINAE, ICE. Costa Rica (2002), 24p. Inédito
- Saborío, J. (2002). **Estudio de erosión potencial en la Cuenca del Río Savegre. Proyecto Araucaria (Agencia de Cooperación Española), MINAE, ICE. Costa Rica (2002), 40p.** Inédito
- Saborío, J, Barrantes, J. (2002). **Geología y macrozonificación de la amenaza por deslizamientos en la Cuenca del Río Savegre.** Proyecto Araucaria (Agencia de Cooperación Española), MINAE, ICE. Costa Rica (2002), 49p. Inédito
- Saborío, J., Ureña, M.). (2002). **Diagnóstico de vulnerabilidad socioeconómica y cultural, uso de la tierra e infraestructura en el marco del Riesgo Integral de la cuenca del Río Savegre.** Proyecto Araucaria (Agencia de Cooperación Española), MINAE, ICE. Costa Rica (2002), 36p. Inédito
- Saborío, J. (2002). **Estudio Riesgo Integral de la cuenca del Río Savegre.** 78p.
- Saborío B, J. (2000). **Presentación personal acerca de Ordenamiento Territorial,** presentada en MAGA y FLACSO, Guatemala.
- Wilchex C. (1993). **Vulnerabilidad Global por, en La Red “Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina.**

