



# Estimación de Amenazas Inducidas por Fenómenos Hidrometeorológicos en la República de Guatemala

José Miguel Duro Tamasiunas<sup>1</sup>

Rovoham Monzón Miranda<sup>1</sup>

German Rafael González<sup>1</sup>

Juan Carlos Argueta Medina<sup>1</sup>

Guillermo Patricio García<sup>1</sup>

Oscar Rolando González<sup>1</sup>

Rudy Vásquez<sup>1</sup>

Luis Herrera<sup>2</sup>

Ricardo Valladares<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Programa de Emergencia por Desastres Naturales – PEDN SIG MAGA –

<sup>2</sup> Meteorología, INSIVUMEH

<sup>3</sup> GSD, Consultores - PMA



# Gestión de Amenazas Inducidas por Fenómenos Hidrometeorológicos en la República de Guatemala

## Presentación

En el marco de la reducción del impacto de desastres en países en vías de desarrollo, la Gestión para la Reducción del Riesgo ha sido identificada como un paliativo idóneo. La idea fundamental es aplicar el análisis de la construcción del riesgo, como una herramienta eficaz para dirigir esfuerzos y recursos limitados, encausando así un proceso integral de prevención ante eventos destructivos. El riesgo se construye, fundamentalmente, a partir de la interacción dinámica entre amenazas y vulnerabilidades. Las amenazas, entendidas como aquellos factores que al ocurrirse pueden inducir destrucción. Las vulnerabilidades, son aquellos aspectos que hacen propensa a la sociedad a sufrir las consecuencias de los eventos destructores y, consecuentemente, a recuperarse de los mismos. Esta consideración recalca la relevancia que tiene, para las instituciones encargadas de protección civil, el conocimiento de amenazas, como un instrumento imprescindible para su trabajo cotidiano. La Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres de Guatemala (CONRED), no es ajena a esta realidad.

En América Latina, la incidencia desastrosa de fenómenos naturales relacionados a eventos hidrometeorológicos (p.e. inundaciones, sequías, deslizamientos), es aproximadamente tres veces la de los desastres disparados por otras causas naturales (Figura 1). De hecho, se estima que en el transcurso de los últimos treinta años del siglo recién pasado, se perdieron alrededor de 35,049 vidas y 24,813 millones de dólares en bienes materiales, por los mayores fenómenos de este tipo en la región (Tabla I). Guatemala tampoco es la excepción en este escenario de vulnerabilidad ante fenómenos hidrometeorológicos extremos.

Desastres Naturales en América Latina durante el Siglo XX

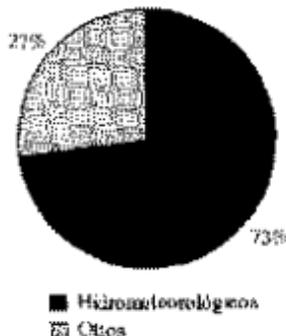


Figura 1. El porcentaje de los desastres generados por fenómenos hidrometeorológicos es cerca de tres veces el inducido por otros eventos naturales.

FUENTE: OFDA/CRHD, 1999, EM-DAT: Disaster Database.

**Tabla I**  
**Impacto de algunos desastres inducidos por fenómenos hidrometeorológicos en**  
**América Latina y El Caribe**  
**(1980 - 1999)**

Año	País	Tipo de Evento	Fallecidos	Pérdidas Estimadas (Millones US\$)
1982/83	Bolivia, Ecuador, Perú	El Niño	0	5,651
1997/98	Bolivia, Colombia, Ecuador, Perú	El Niño	660	7,694
1998	Centro América	Huracán Mitch	9,214	6,008
1998	República Dominicana	Huracán Georges	255	2,193
1999	Venezuela	Deslizamientos	25,000	3,267
<b>Totales</b>			<b>35,049</b>	<b>24,813</b>

STANTIS POLAC, América Latina y El Caribe. El Impacto de los Desastres Naturales en el Desarrollo, 1972-1999, FOMENTO/OP; IFDA, Venezuela Floods, Part II, vol. 110, 1/12/2000; OPDACC/ID, 1999, INM-DAT International Disaster Database

Recientemente, CONRED ha conducido la convocatoria para la preparación del Plan de Respuesta ante Efectos de Situación Climática-Estación Seca Extendida en Guatemala. En el marco de este trabajo multisectorial, fueron identificados y generados una serie de insumos de vital importancia para la estructura de dicho Plan. Uno de los productos principales fue la estimación de la Amenaza por Sequía para la República de Guatemala. La Amenaza por Sequía es uno de los fenómenos inducidos por condiciones hidrometeorológicas que amenaza a Guatemala.

Tomando en cuenta la relevancia que tiene el conocimiento de las Amenazas Inducidas por Fenómenos Hidrometeorológicos en Guatemala, CONRED ha decidido apoyar la iniciativa de reproducir un compendio de estimación de estas amenazas, que incluye mapas por Sequía, Heladas, Inundaciones y Deslizamientos. Esta iniciativa ha sido conducida por el Programa de Emergencia por Desastres Naturales del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (PEEN-SIG-MAGA), quienes han contado con el vital apoyo del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMIH), y del Programa Mundial de Alimentos (PMA). Así mismo, CONRED se congratula en promover y apoyar esta iniciativa de Gestión para la Reducción del Riesgo en nuestro país; esperando que los usuarios interesados en este documento encuentren en él una herramienta útil para sus propósitos.

Sinceramente,

Alejandro Maldonado Lutómirsky  
 Secretario Ejecutivo  
 CONRED



# **ORDEN DE LOS DOCUMENTOS**

## **TEMA 1**

Método Utilizado en la Elaboración del "Mapa de Amenaza por Sequía"

## **TEMA 2**

Método Utilizado en la Elaboración del "Mapa de Amenaza por Heladas"

## **TEMA 3**

Método Utilizado en la Elaboración del "Mapa de Amenaza por Inundaciones"

## **TEMA 4**

Método Utilizado en la Elaboración del "Mapa de Amenaza por Deslizamientos"

**METODO UTILIZADO EN LA ELABORACIÓN DEL  
"MAPA DE AMENAZA POR SEQUÍA"**

## DUCCION

El Laboratorio de Información Geográfica del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación -SIG/MAGA-, con la colaboración del Instituto Nacional de Geología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH) y el apoyo de un consultor experto en estadística contratado por el Programa Mundial de Alimentos -PMA-, han realizado los análisis necesarios para obtener un Mapa de Amenaza a Sequías. Para obtenerlo, se adaptó al país la secuencia del método descrito en IPF (2001<sup>1</sup>).

El mapa obtenido, muestra las diferentes áreas del país y su grado de amenaza ante un fenómeno que se considera resultante de la combinación de las condiciones climáticas particulares de cada región, y la variabilidad en las precipitaciones observadas en las estaciones meteorológicas de INSIVUMEH, durante un período de más de 30 años de registro.

Las condiciones climáticas se caracterizan mediante su aridez, o relación insumo/pérdida de humedad según lo indica el Atlas Mundial de la Desertificación de PNUMA (1992<sup>2</sup>).

### DESCRIPCIÓN DEL METODO

Los datos de precipitación y sus anomalías, provienen de las estaciones del INSIVUMEH distribuidas en el país y con serie de registros de 1961 a 1997. En esta serie de datos, el aspecto sobresaliente lo constituyó el predominio de las anomalías negativas de lluvia a partir de la década de los años 70's.

Los factores analizados y los métodos utilizados se describen a continuación.

#### 2.1 Factores analizados y método

Se enfocó el análisis sobre la amenaza de sequías a partir de la combinación del comportamiento de dos fenómenos:

- **Aridez Climática** como una condición de carácter cuasi-permanente de una región o localidad geográfica dada; y
- **Probabilidad de ocurrencia de Sequías** como fenómeno anómalo y temporal, difícilmente predecible y que puede afectar cualquier región del país.

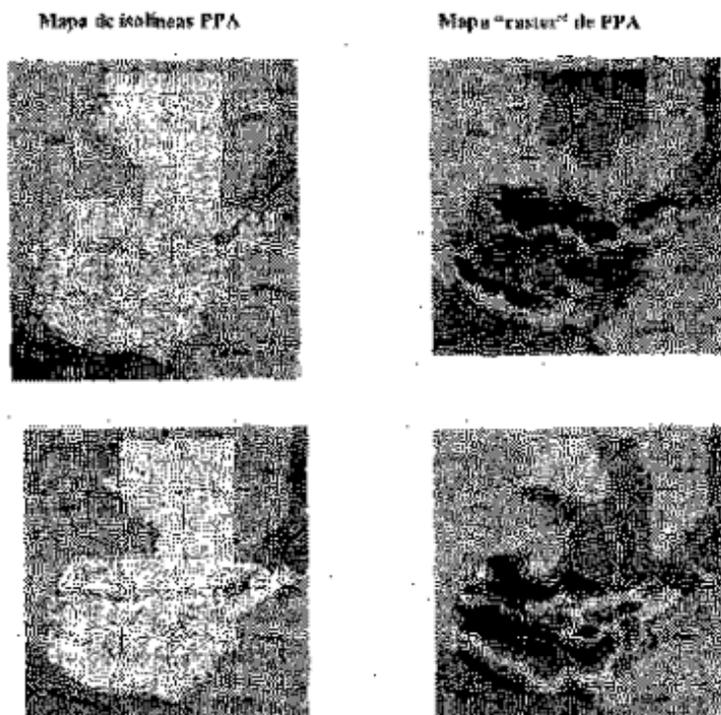
<sup>1</sup> INSTITUTO DE PLANIFICACIÓN FÍSICA; PROGRAMA MUNDIAL DE ALIMENTOS 2001. Análisis y Cartografía de la Vulnerabilidad a la Inseguridad Alimentaria en Cuba. La Habana, Cuba. 139 p.

<sup>2</sup> PROGRAMA DE MEDIO AMBIENTE DE LAS NACIONES UNIDAS-PNUMA-1992. Atlas Mundial de la Desertificación.

Para determinar la Aridez Climática se utilizaron los mapas de Precipitación Promedio Anual (PPA) y Evapotranspiración Potencial Anual (ETP), generados en el Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica -SIG (PEDN, 2001), a partir del trazo de isolinias derivadas de la red de estaciones meteorológicas y en el lapso de tiempo indicado. El mapa de PPA ha sido elaborado con datos de 148 estaciones meteorológicas y el de ETP con 58 estaciones que cuentan con esos registros.

Los trazos de los mapas fueron ajustados sobre un mapa de elevación digital realizado por el PEDN (2001) y a escala 1:250,000. A través del SIG, los mapas de isolinias, fueron transformados a formato "raster" (cuadrícula) lo que permitió obtener nuevos mapas con valores de interpolación entre las isolinias. Proceso que se muestra en la Figura 1.1.

Fig. 1.1 Transformación de mapas de isolinias a formato "raster"



Los mapas en formato "raster" fueron utilizados en un procedimiento de álgebra de mapas (división y promedio) para la obtención de los valores del índice de aridez, las probabilidades de ocurrencia de sequías y su representación gráfica.

## Cálculo del Índice de Aridez y mapa correspondiente

Se utilizó el índice de Hare y Ogilvie (1993), para caracterizar la aridez de un paisaje. Es el resultado de la razón entre la precipitación media y la evapotranspiración potencial en milímetros de una región dada en un lapso de un año.

$$R = P/Eo$$

Donde P es la Precipitación Promedio y  
Eo es la Evapotranspiración potencial.

Es importante puntualizar que este índice depende de factores exclusivamente climáticos y no toma en cuenta las características intrínsecas del suelo y la vegetación.

Las categorías para clasificar regiones climáticas según el índice utilizado se muestran en el cuadro 1.1.

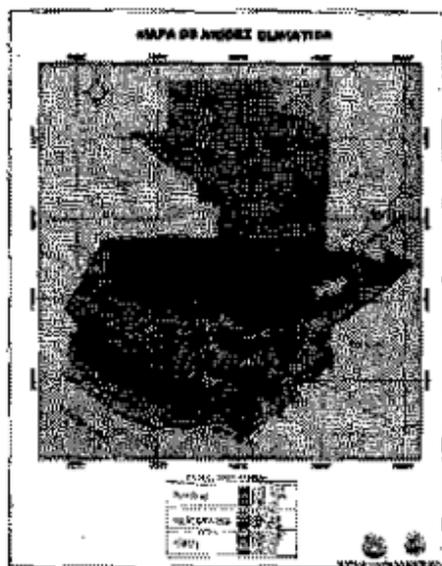
Cuadro 1.1 Clasificación de regiones climáticas respecto a sequedad

Legenda de regiones	Valores del índice
Híper Árida	< 0.05
Árida	0.05 - 0.20
Semi Árida	0.20 - 0.50
Sub Húmedo Seca	0.50 - 0.65
De Clima Húmedo	> 0.65

La República de Guatemala no posee regiones Hiper-Áridas ni Áridas, ya que la precipitación anual no es inferior a los 400 mm/año<sup>2</sup>. Sin embargo, existen regiones dentro de las categorías subsiguientes que es posible estratificarlas debido a la diferencia entre precipitaciones; de esa forma, se obtiene un mayor detalle en la información. El resultado de la división de los mapas en formato "raster", constituye un mapa de aridez climática, tal y como se observa en la Figura 1.2.

<sup>2</sup> Según FAO la categoría de aridez comienza a partir de una precipitación inferior a los 400 mm anuales tal y como se indica en FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. 1985. Clasificación de Regiones Secas.

Fig. 1.2 Mapa de Aridez Climática



### 2.3 Determinación de la probabilidad de ocurrencia de sequías

Debido a que el análisis se realizó con valores anuales y durante una serie de años, es posible aplicar las propiedades de una distribución normal, por lo que los mapas de Aridez Climática y de Precipitación Promedio Anual, fueron estandarizados por medio de valores "Z" tal y como se indica en Ogalla y Nassibi (1984<sup>4</sup>), mediante la fórmula:

$$Z = (V_o - V_m) / S_d$$

En donde  $V_o$  = el valor observado de precipitación anual en mm

$V_m$  = el valor medio de todos los valores observados en la serie de tiempo

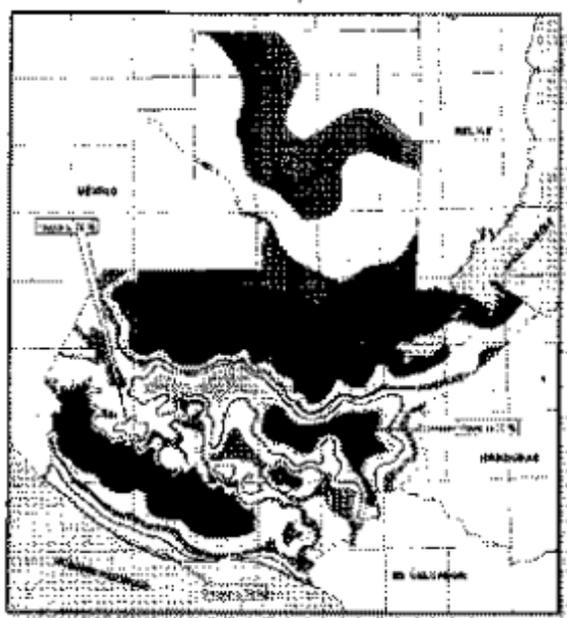
$S_d$  = la desviación estándar de los valores observados en la serie analizada

El procedimiento se realizó agregando una columna en la base de datos asociada a cada mapa donde se realizaron los cálculos de la fórmula, posteriormente se obtuvo un mapa "raster" de desviaciones estándar de los mapas indicados y el procedimiento algebraico consistió en obtener un promedio. Los valores "Z" del mapa resultante fueron convertidos a probabilidades mediante la opción

<sup>4</sup> OGALLA, L.L.; NASSIBI, ER. 1984. Drought Patterns and Families in East Africa during 1922-1983. Second WMO Symposium on Meteorological Effects of Tropical Droughts, Fortaleza, 1984, 41-44 p.

"NORMSDIST" que brinda Excel® y su representación gráfica, se muestra en la Figura 1.3.

Fig. 1.3 Mapa de probabilidades de ocurrencia de sequías



#### 2.4 Determinación del Mapa de Amenazas de Sequía

El mapa de amenazas por sequía se obtuvo por medio de una calificación realizada según "criterio experto", combinando la aridez de las regiones climáticas con la probabilidad de ocurrencia de sequías. El principio considerado ha sido que zonas de mayor aridez y con mayor probabilidad de ocurrencia de estos eventos, deberían ser calificadas con un mayor grado de amenaza al fenómeno estudiado. Los resultados se muestran en el Cuadro 1.2, el Mapa generado y los municipios que intersectan con las áreas geográficas en el Anexo.

Es importante indicar que con el método descrito se obtiene una mapa de áreas geográficas y esto es sumamente importante para poder operar el mapa en un SIG, ya que es posible zonificar a diferentes niveles de análisis por ejemplo, a nivel regional, departamental, municipal u otros límites que se requieran. Los niveles de análisis que se realicen, permiten determinar la superficie ocupada por cada grado de amenaza y con esta base, es posible ponderar el resultado a efectos de establecer un orden de prioridad. Esto se realizó en los cortes municipales que se muestran en el Anexo.

Cuadro 1.2 Clasificación del grado de amenaza por sequía en áreas del país.

Probab. de sequías (A)	Índice de Aridez (B)	Clasificación de Aridez	Grado de amenaza (A*B)	Área del país (Km <sup>2</sup> )	(%) del país
50 %	0.227 - 0.317	Semi Árido	Extremad.alto	1669.46	1.53%
90%	0.317 - 0.406	Semi Árido	Muy alto	3839.23	3.53%
90%	0.406 - 0.5	Semi Árido	Alto	3814.66	3.50%
90%	0.5 - 0.585	Sub Húmedo Seco	Alto	1673.77	1.54%
90%	0.585 - 0.65	Sub Húmedo Seco	Alto	818.36	0.77%
90%	0.65 - 0.763	Sub Húmedo Seco	Alto	407.83	0.37%
70 %	0.406 - 0.5	Semi Árido	Alto	9.12	0.01%
70%	0.5 - 0.585	Sub Húmedo Seco	Medio	1583.33	1.47%
70%	0.585 - 0.65	Sub Húmedo Seco	Medio	5445.31	5.00%
70%	0.65 - 0.763	Sub Húmedo Seco	Medio bajo	12161.10	11.17%
70%	0.763 - 1.00	Húmedo	Medio bajo	29099.36	27.56%
70%	1.00 - 1.25	Húmedo	Bajo	11819.96	10.86%
70%	1.25 - 5.6	Húmedo	Bajo	858.72	0.79%
50 %	0.365 - 1.00	Húmedo	Bajo	14.82	0.01%
50%	1.00 - 1.25	Húmedo	Bajo	5530.07	5.08%
50%	1.25 - 5.6	Húmedo	Muy bajo	16548.96	15.20%
20 %	1.25 - 5.6	Húmedo	Muy bajo	6599.69	6.06%
10 %	1.25 - 5.6	Húmedo	Muy bajo	3297.30	3.03%
5 %	1.25 - 5.6	Húmedo	Muy bajo	1415.44	1.30%
1 %	1.25 - 5.6	Húmedo	Muy bajo	582.48	0.54%

### 3. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Más del 10% del territorio nacional posee un alto grado de amenaza a sequías, en este territorio se encuentra al menos 35 municipios, con el factor agravante que poseen una alta densidad de población.

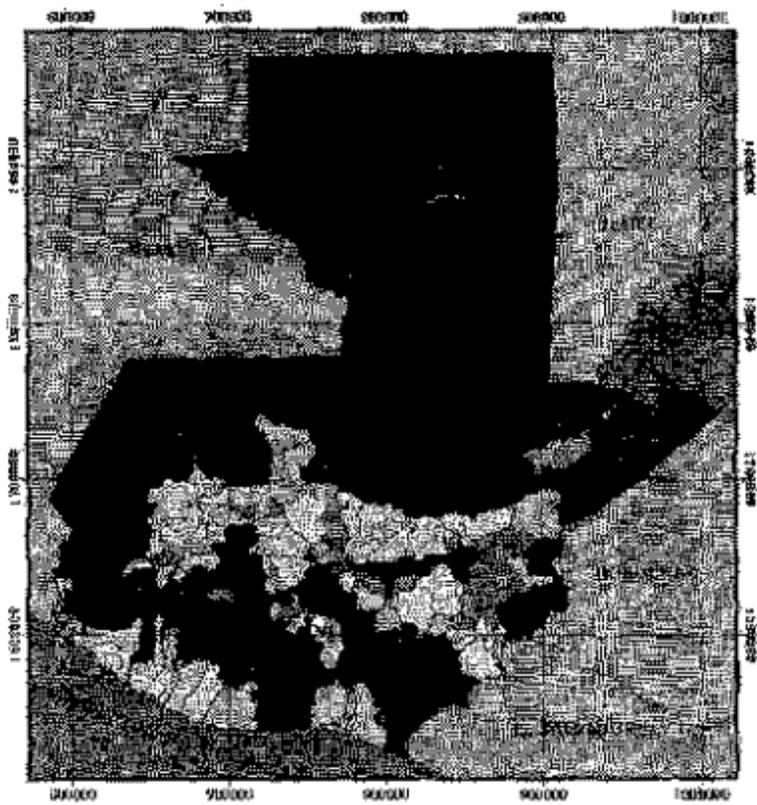
Los datos analizados de las estaciones meteorológicas y con respecto a las anomalías negativas en las precipitaciones, indican que a partir de los años 70's aumentó significativamente la ocurrencia de eventos tipificados como sequías.

Las dos condiciones anteriores obligan a los planificadores del desarrollo y a los gestores del riesgo, a considerar las medidas que permitan un cuidadoso manejo de los recursos hídricos, sobre todo deberá atenderse en forma urgente al cuidado de la cobertura forestal en las zonas de captación y recarga hídrica de los territorios afectados.

### ANEXO



# Municipios Priorizados según Superficie Amenazada por Sequía República de Guatemala



**LEYENDA**  
Municipios Priorizados según Superficie Amenazada por Sequía

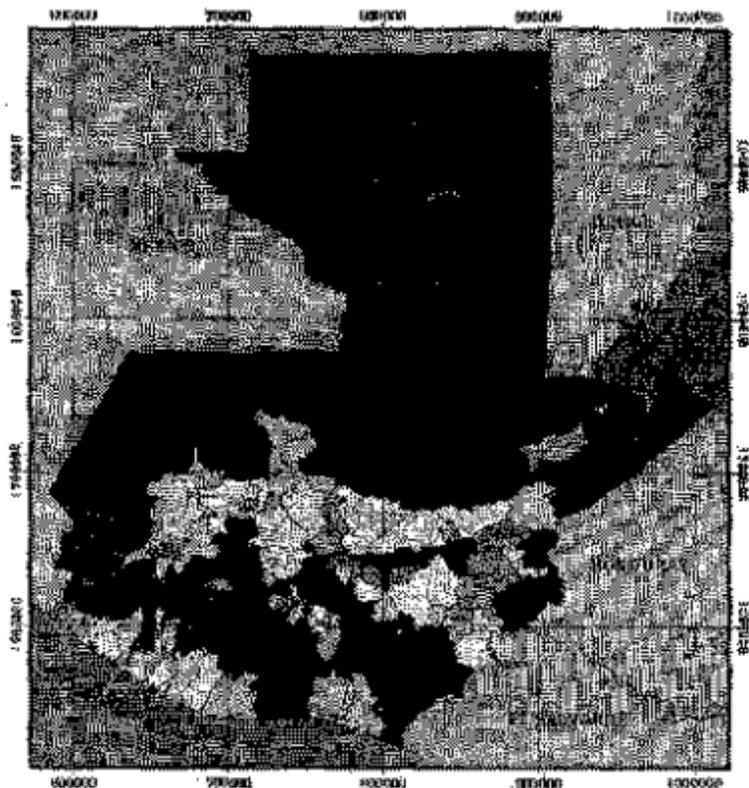
Superficie	Prioridad
Extremadamente Alta	1
Muy Alta	2
Alta	3
Media	4
Baja	5
Muy Baja	6

Límite Geográfico de la red Municipal  
 Superficie de Sequía





# Municipios Priorizados según Superficie Amenazada por Sequía República de Guatemala



Escala: 1:500,000

## LEYENDA

Municipios Priorizados según Superficie Amenazada por Sequía

Clasificación	Nº Municipal
Extremadamente alta	1
Muy Alta	2
Alta	3
Medio	4
Baja	5
Muy Baja	6

-  Límite Departamental
-  Límite Municipal
-  Cuencas de Agua





**METODO UTILIZADO EN LA ELABORACIÓN DEL  
"MAPA DE AMENAZA POR HELADAS"**

## **INTRODUCCION**

El Laboratorio de Información Geográfica del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación SIG/MAGA-, con la colaboración del Instituto Nacional de Geología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH) y el apoyo de un consultor experto en estadística contratado por el Programa Mundial de Alimentos -PMA-, han realizado los análisis necesarios para determinar la amenaza de heladas en Guatemala. Para realizarlo, se utilizó como principal insumo el Mapa de Zonas Susceptibles a Heladas realizado por el Proyecto ESPREDE-CATIE en el Programa de Emergencia por Desastres Naturales (MAGA-PEDN, 2001<sup>1</sup>).

El análisis realizado se obtuvieron 2 mapas a escala 1:250,000, el primero de ellos muestra la región bajo amenaza de helada, que es el resultado de determinar las correlaciones existentes entre elevación sobre el nivel del mar y temperatura y el segundo, correspondiente a municipios amenazados por helada, que es el resultado de ponderar la superficie de las regiones respecto al área total municipal; habiéndose utilizado la información de 83 estaciones meteorológicas del INSIVUMEH, ubicadas sobre los 900 msnm y con más de 35 años de registro.

## **DESCRIPCIÓN DEL METODO UTILIZADO**

El método utilizado se describe a continuación:

### **2.1 Elaboración del Mapa de Regiones con Amenaza por Heladas**

De las 83 estaciones meteorológicas, se analizó la serie de registro de los años 1960 a 1996. El análisis se realizó con base a la correlación existente, entre los datos de temperaturas mínimas absolutas anuales y la elevación (msnm) de la ubicación geográfica de las estaciones.

#### **a) Relaciones entre Temperatura Mínima y la Elevación**

Se considera el valor límite de heladas a la temperatura de congelación del agua (0° C). Sobre el concepto de heladas, se utilizó el estudio de ESPREDE-CATIE (2000)<sup>2</sup> donde se manejó este valor para determinar la susceptibilidad al fenómeno, ya que la mayor influencia sobre la fisiología de los cultivos ocurre cuando se da un descenso por debajo de 0° C, en la temperatura de la capa más baja del aire (1 ó 2 metros).

<sup>1</sup> GUATEMALA. MINISTERIO DE AGRICULTURA, GANADERIA Y ALIMENTACIÓN. 2001. Programa de Emergencia por Desastres Naturales. Proyecto de Asistencia Técnica y Generación de Información, ESPREDE-CATIE/ Base Espacial Digital de la República de Guatemala. Escala 1:250,000. Guatemala.

<sup>2</sup> Idem.

Asimismo, el estudio de ESPREDE-CATIE, determinó una correlación entre la elevación del terreno y los valores de temperatura mínima, que indican la ocurrencia de cierta probabilidad de heladas; presentándose en el Cuadro 2.1 la asignación de categorías y los valores establecidos respecto al resultado de la relación entre temperatura mínima y elevación (Q%), los datos de probabilidad a heladas (P%) y el valor inferior del intervalo de elevación en msnm (E). Las categorías definidas hacen referencia a las áreas donde la probabilidad de que la temperatura mínima en cualquier año, descienda por debajo de 0 °C, pueda ser de 90%, 10% y 1%; para un tiempo de retorno (Tr) de 1 - 100 años.

**Cuadro 2.1** Categorías de la probabilidad de ocurrencia de heladas, según elevación (msnm) y la relación temperatura mínima - elevación.

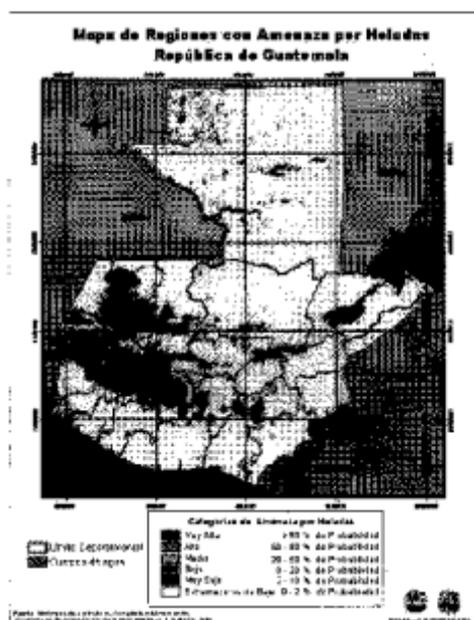
Categoría	P%	Q%	Tr (años)	E (msnm)
Baja	99	1	100	1606
	98	2	50	1717
	95	5	20	1851
Moderada	90	10	10	1972
	80	20	50	2078
	50	50	20	2257
Severa	10	90	1.11	2530
	5	95	1.05	2601
	2	98	1.02	2686
	1	99	1.01	2749

#### b) Definición de las Regiones con Amenaza por Heladas

Con base a los datos de elevación del cuadro anterior, se procedió a delimitar gráficamente los 10 intervalos incluidos, considerando el valor mostrado como el valor inferior de cada intervalo; utilizando para ello el software *ArcView*® con su extensión *Spatial Analyst* y tomando como base el Modelo de Elevación Digital (MED) de Guatemala, en formato *raster* (cuadrícula) a escala 1:250,000.

Al mapa resultante de los 10 intervalos de elevación, se le adjuntó la base de datos que contiene las probabilidades de ocurrencia de heladas, recategorizadas en porcentaje de acuerdo a las categorías que se muestran en la Figura 2.1 (Mapa de Regiones con Amenaza por Heladas).

Figura 2.1 Mapa de Regiones con Amenaza por Helada



La importancia de definir un Mapa de Regiones con Amenaza por Heladas, radica en determinar franjas que son definidas por valores y no por puntos aislados. Estas franjas son adecuadas para realizar análisis, mezclando en diferentes arreglos, otras capas de información.

## 2.2 Mapa de Municipios Amenazados por Heladas

En primer lugar, se procedió a interseccionar el Mapa de Regiones con Amenaza por Heladas y el de Límites Municipales (MAGA-PEDN, 2,001); del mapa resultante se extrajeron los municipios con sus franjas de amenaza, a los cuales se les realizó el cálculo del Índice Ponderado de Amenaza por Heladas, al cual posteriormente se le asignaron categorías para calificar la amenaza por municipio.

### a) Cálculo del Índice Municipal Ponderado de Amenaza por Heladas

El interseccionado mencionado, se realizó con el software *ArcView*® y su extensión *GeoProcessing Wizard*® (ver Figura 2.2). Una vez realizada la intersección, se recalcularon las superficies ocupadas por cada categoría de amenaza en cada uno de los municipios.

Para cada uno de los municipios, la estimación del Índice Ponderado de Amenaza por Heladas (IPAH), se realizó mediante la siguiente fórmula:

$$IPAH = (Q \times SIE) / AT$$

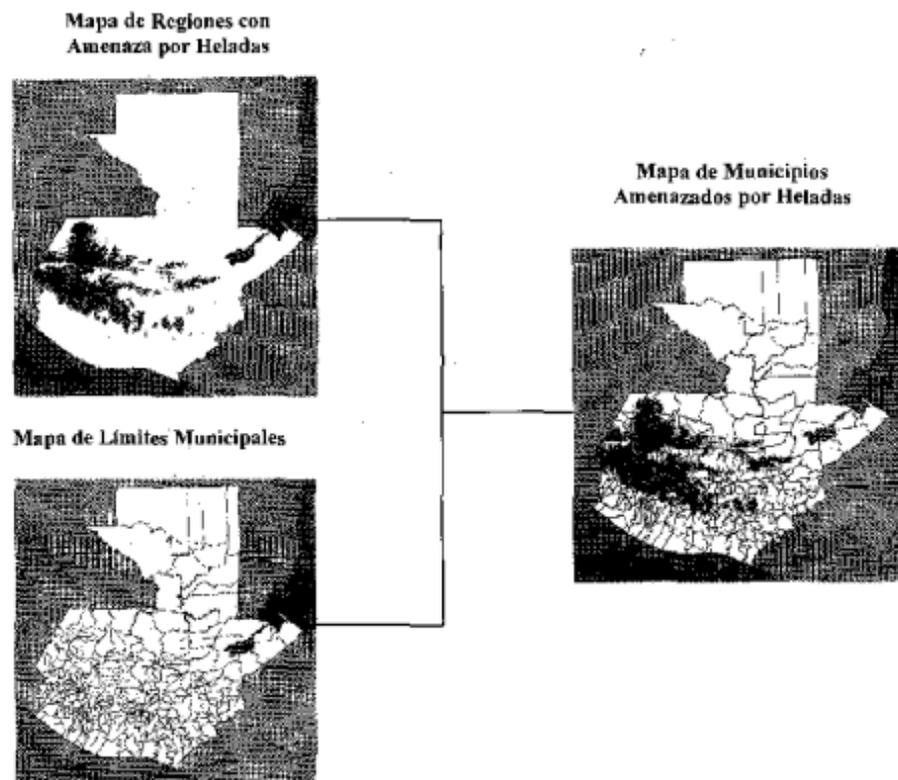
Donde:

Q = Probabilidad de helada.

SIE = Superficie del intervalo de elevación.

AT = Área total del municipio.

**Figura 2.2 División de mapas para generar el Mapa de Municipios Amenazados por Heladas**



En el Cuadro 2.2, se ejemplifica con un municipio, el procedimiento de cálculo realizado para determinar el Índice Ponderado de Amenaza por Heladas para los municipios presentes en las regiones analizadas.

Cuadro 2.2

## Ejemplo del cálculo del Índice Municipal Ponderado de Amenaza por Heladas (caso de San Carlos Sija).

Departamento	Municipio	Área Total del Municipio (ha)	Intervalo de Elevación (msnm)	(1) Probabilidad de Helada -Q-	(2) Superficie Intervalo Elevación -SIE- (ha)	(1) x (2)	Índice Ponderado de Amenaza por Heladas (IPAH)
Quetzaltenango	San Carlos Sija	22,653.85	2257-2530	50.0%	26.01	13.005	0.00057
Quetzaltenango	San Carlos Sija	22,653.85	2078-2257	20.0%	983.36	196.672	0.00868
Quetzaltenango	San Carlos Sija	22,653.85	1851-1972	5.0%	4.80	0.240	0.00001
Quetzaltenango	San Carlos Sija	22,653.85	1851-1972	5.0%	0.68	0.034	0.00000
Quetzaltenango	San Carlos Sija	22,653.85	>=2749	99.0%	1.25	1.238	0.00005
Quetzaltenango	San Carlos Sija	22,653.85	2601-2686	95.0%	3.63	3.549	0.00015
Quetzaltenango	San Carlos Sija	22,653.85	2601-2686	95.0%	1.37	1.302	0.00006
Quetzaltenango	San Carlos Sija	22,653.85	>=2749	99.0%	20.50	20.097	0.00089
Quetzaltenango	San Carlos Sija	22,653.85	2601-2686	95.0%	3.26	3.097	0.00014
Quetzaltenango	San Carlos Sija	22,653.85	2530-2601	90.0%	325.10	292.590	0.01292
Quetzaltenango	San Carlos Sija	22,653.85	2686-2749	98.0%	3.91	3.832	0.00017
Quetzaltenango	San Carlos Sija	22,653.85	2530-2601	90.0%	18.57	16.713	0.00074
Quetzaltenango	San Carlos Sija	22,653.85	2601-2686	95.0%	0.68	0.646	0.00003
Quetzaltenango	San Carlos Sija	22,653.85	2530-2601	90.0%	161.25	145.125	0.00641
Quetzaltenango	San Carlos Sija	22,653.85	2686-2749	98.0%	2580.51	2528.900	0.11163
Quetzaltenango	San Carlos Sija	22,653.85	2686-2749	98.0%	331.64	325.002	0.01433
Quetzaltenango	San Carlos Sija	22,653.85	2686-2749	98.0%	415.99	407.620	0.01800
Quetzaltenango	San Carlos Sija	22,653.85	>=2749	99.0%	7655.19	7578.638	0.33454
Quetzaltenango	San Carlos Sija	22,653.85	2601-2686	95.0%	392.98	373.331	0.01648
Quetzaltenango	San Carlos Sija	22,653.85	2601-2686	95.0%	1328.42	1261.999	0.05571
Quetzaltenango	San Carlos Sija	22,653.85	2530-2601	90.0%	47.41	42.669	0.00188
Quetzaltenango	San Carlos Sija	22,653.85	2601-2686	95.0%	127.98	121.581	0.00537
Quetzaltenango	San Carlos Sija	22,653.85	2257-2530	50.0%	1995.53	997.765	0.04404
Quetzaltenango	San Carlos Sija	22,653.85	2078-2257	20.0%	2726.63	545.326	0.02403
Quetzaltenango	San Carlos Sija	22,653.85	1972-2078	10.0%	2644.42	264.442	0.01167
Quetzaltenango	San Carlos Sija	22,653.85	1851-1972	5.0%	851.65	42.583	0.00188
Quetzaltenango	San Carlos Sija	22,653.85	1712-1851	2.0%	1.24	0.027	0.00000
<b>Total del IPAH (ponderado respecto a la superficie total del municipio)</b>							<b>0.670437</b>
<b>Total del IPAH expresado en Porcentaje</b>							<b>67.04%</b>

## b) Calificación de las categorías del IPAH

El IPAH fue calificado por Categorías de Amenaza por Helada, conforme al grado de amenaza y su agrupación en intervalos porcentuales; siendo el resultado el siguiente y su ilustración en el mapa del Anexo.

- Muy bajo (0 – 10% IPAII)
- Bajo (10 – 30% IPAII)
- Medio bajo (30 – 50% IPAII)
- Medio alto (50 – 70% IPAII)
- Alto (70 – 90% IPAII)
- Muy alto ( mayor a 90% IPAII)

### 3. **RESULTADOS Y CONCLUSIONES**

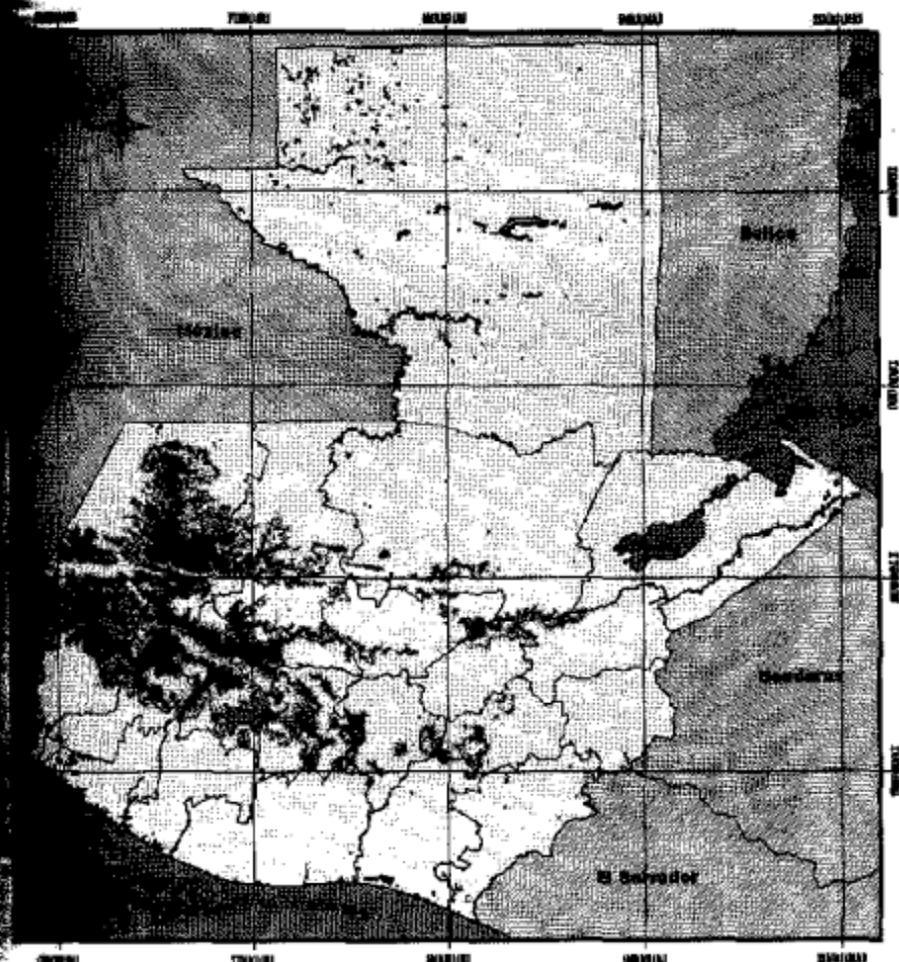
El Mapa de Regiones con Amenaza por Heladas, permite determinar que 7,622 km del país (7% del total), se encuentran con una probabilidad mayor del 50% a sufrir los efectos de las heladas; especialmente en zonas localizadas sobre los 2200 msnm, ubicadas en la Sierra Madre y la Sierra de Los Cuchumatanes.

El Mapa de Municipios Amenazados por Heladas, muestra que existen 7 municipios calificados por la categoría *Muy Alto* y 37 entre las categorías *Medio Alto* y *Alto* (ver Anexo); en los cuales es necesario promover acciones de gestión de riesgo para disminuir los efectos del fenómeno.

### **ANEXO**

Mapa de municipios amenazados por heladas, República de Guatemala.  
Tabla de municipios amenazados por heladas.

# Mapa de Regiones con Amenaza por Heladas República de Guatemala



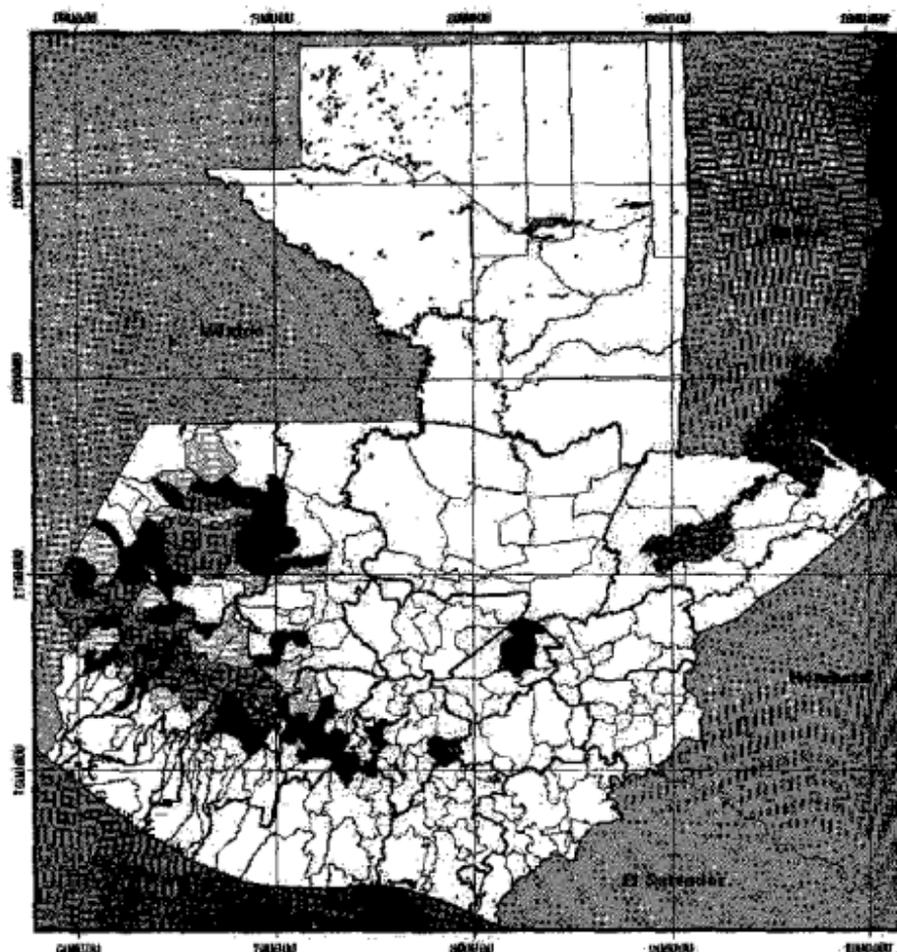
## Categorías de Amenaza por Heladas

	Muy Alta	> 90 % de Probabilidad
	Alta	50 - 90 % de Probabilidad
	Media	20 - 50 % de Probabilidad
	Baja	10 - 20 % de Probabilidad
	Muy Baja	2 - 10 % de Probabilidad
	Extremadamente Baja	0 - 2 % de Probabilidad

 Límite Departamental

 Cuerpos de agua

# Mapa de Municipios Amenazados por Heladas República de Guatemala



 Límite municipal  
 Límite departamental

**Categorías de Amenaza por Municipios**  
(Según Porcentaje de Índice Ponderado de Amenaza por Heladas-IPAH)

	Muy Alto	> 90 %
	Alto	70 - 90 %
	Medio alto	50 - 70 %
	Medio bajo	30 - 50 %
	Bajo	10 - 30 %
	Muy bajo	0 - 2 %





Tabla de Municipios Amenazados por Heladas.

No.	DEPARTAMENTO	MUNICIPIO	ÍNDICE DE AMENAZA (A)	No.	DEPARTAMENTO	MUNICIPIO	ÍNDICE DE AMENAZA (B)
83	San Marcos	San Rafael		139	San Marcos	Patateño	4.13752705
84	San Marcos	Santa María		140	San Marcos	Guandera	3.24230730
85	San Marcos	Cruzopaca		141	San Marcos	El Palmar	3.14600104
86	San Marcos	San Agustín Azules		142	San Marcos	Tulcan	3.08751887
87	San Marcos	San Mateo		143	San Marcos	Pocoma	3.01468797
88	San Marcos	San Pablo		144	San Marcos	San Sebastián	3.00322422
89	San Marcos	San Pedro Nueva		145	San Marcos	Cusuto	3.00232011
90	San Marcos	San Jorge La Laguna		146	San Marcos	Juchitán	3.00173441
91	San Marcos	San Lucas Acaculpa		147	San Marcos	Cuscután	2.98736784
92	San Marcos	San Pedro Bermejo		148	San Marcos	San Juan Chato Pa	2.94434792
93	San Marcos	San Pablo La Cruz		149	San Marcos	Chuscol	2.93184831
94	San Marcos	Tulcan		150	San Marcos	San Mateo	2.92734416
95	San Marcos	San Juan La Laguna		151	San Marcos	Santa Catalina P	2.88717973
96	San Marcos	Santa María Vieja		152	San Marcos	San Andrés Sajon	2.87923233
97	San Marcos	San Juan Pinab		153	San Marcos	Patate	2.87087037
98	San Marcos	Atenas Viejo		154	San Marcos	San Sebastián	2.87030797
99	San Marcos	Atenas	6.72274433	155	San Marcos	El Totón	2.86231127
100	San Marcos	San Juan Chato Pa	6.69427413	156	San Marcos	San Martín	2.86030769
101	San Marcos	San Juan Chato Pa	6.65232092	157	San Marcos	Patate	2.85730416
102	San Marcos	San Marcos La Laguna	6.63381115	158	San Marcos	San Juan La Laguna	2.85430736
103	San Marcos	San Lucas Acaculpa	6.60872387	159	San Marcos	San Sebastián	2.85430765
104	San Marcos	San Mateo	6.44247733	160	San Marcos	San Sebastián	2.85430765
105	San Marcos	Tulcan	6.39411324	161	San Marcos	San Andrés Acagua	2.85430765
106	San Marcos	San Pedro Abajá	6.32718811	162	San Marcos	San Sebastián	2.85430765
107	San Marcos	San Pedro Abajá	6.30246227	163	San Marcos	San Sebastián	2.85430765
108	San Marcos	San Pedro Abajá	6.28246227	164	San Marcos	San Sebastián	2.85430765
109	San Marcos	San Sebastián	6.25704441	165	San Marcos	San Sebastián	2.85430765
110	San Marcos	San Sebastián	6.23246227	166	San Marcos	San Sebastián	2.85430765
111	San Marcos	San Sebastián	6.20704441	167	San Marcos	San Sebastián	2.85430765
112	San Marcos	San Sebastián	6.18246227	168	San Marcos	San Sebastián	2.85430765
113	San Marcos	San Sebastián	6.15704441	169	San Marcos	San Sebastián	2.85430765
114	San Marcos	San Sebastián	6.13246227	170	San Marcos	San Sebastián	2.85430765
115	San Marcos	San Sebastián	6.10704441	171	San Marcos	San Sebastián	2.85430765
116	San Marcos	San Sebastián	6.08246227	172	San Marcos	San Sebastián	2.85430765
117	San Marcos	San Sebastián	6.05704441	173	San Marcos	San Sebastián	2.85430765
118	San Marcos	San Sebastián	6.03246227	174	San Marcos	San Sebastián	2.85430765
119	San Marcos	San Sebastián	6.00704441	175	San Marcos	San Sebastián	2.85430765
120	San Marcos	San Sebastián	5.98246227	176	San Marcos	San Sebastián	2.85430765
121	San Marcos	San Sebastián	5.95704441	177	San Marcos	San Sebastián	2.85430765
122	San Marcos	San Sebastián	5.93246227	178	San Marcos	San Sebastián	2.85430765
123	San Marcos	San Sebastián	5.90704441	179	San Marcos	San Sebastián	2.85430765
124	San Marcos	San Sebastián	5.88246227	180	San Marcos	San Sebastián	2.85430765
125	San Marcos	San Sebastián	5.85704441	181	San Marcos	San Sebastián	2.85430765
126	San Marcos	San Sebastián	5.83246227	182	San Marcos	San Sebastián	2.85430765
127	San Marcos	San Sebastián	5.80704441	183	San Marcos	San Sebastián	2.85430765
128	San Marcos	San Sebastián	5.78246227	184	San Marcos	San Sebastián	2.85430765
129	San Marcos	San Sebastián	5.75704441				
130	San Marcos	San Sebastián	5.73246227				
131	San Marcos	San Sebastián	5.70704441				
132	San Marcos	San Sebastián	5.68246227				
133	San Marcos	San Sebastián	5.65704441				
134	San Marcos	San Sebastián	5.63246227				
135	San Marcos	San Sebastián	5.60704441				
136	San Marcos	San Sebastián	5.58246227				
137	San Marcos	San Sebastián	5.55704441				
138	San Marcos	San Sebastián	5.53246227				
139	San Marcos	San Sebastián	5.50704441				
140	San Marcos	San Sebastián	5.48246227				
141	San Marcos	San Sebastián	5.45704441				
142	San Marcos	San Sebastián	5.43246227				
143	San Marcos	San Sebastián	5.40704441				
144	San Marcos	San Sebastián	5.38246227				
145	San Marcos	San Sebastián	5.35704441				
146	San Marcos	San Sebastián	5.33246227				
147	San Marcos	San Sebastián	5.30704441				
148	San Marcos	San Sebastián	5.28246227				
149	San Marcos	San Sebastián	5.25704441				
150	San Marcos	San Sebastián	5.23246227				
151	San Marcos	San Sebastián	5.20704441				
152	San Marcos	San Sebastián	5.18246227				
153	San Marcos	San Sebastián	5.15704441				
154	San Marcos	San Sebastián	5.13246227				
155	San Marcos	San Sebastián	5.10704441				
156	San Marcos	San Sebastián	5.08246227				
157	San Marcos	San Sebastián	5.05704441				
158	San Marcos	San Sebastián	5.03246227				
159	San Marcos	San Sebastián	5.00704441				
160	San Marcos	San Sebastián	4.98246227				
161	San Marcos	San Sebastián	4.95704441				
162	San Marcos	San Sebastián	4.93246227				
163	San Marcos	San Sebastián	4.90704441				
164	San Marcos	San Sebastián	4.88246227				
165	San Marcos	San Sebastián	4.85704441				
166	San Marcos	San Sebastián	4.83246227				
167	San Marcos	San Sebastián	4.80704441				
168	San Marcos	San Sebastián	4.78246227				
169	San Marcos	San Sebastián	4.75704441				
170	San Marcos	San Sebastián	4.73246227				
171	San Marcos	San Sebastián	4.70704441				
172	San Marcos	San Sebastián	4.68246227				
173	San Marcos	San Sebastián	4.65704441				
174	San Marcos	San Sebastián	4.63246227				
175	San Marcos	San Sebastián	4.60704441				
176	San Marcos	San Sebastián	4.58246227				
177	San Marcos	San Sebastián	4.55704441				
178	San Marcos	San Sebastián	4.53246227				
179	San Marcos	San Sebastián	4.50704441				
180	San Marcos	San Sebastián	4.48246227				
181	San Marcos	San Sebastián	4.45704441				
182	San Marcos	San Sebastián	4.43246227				
183	San Marcos	San Sebastián	4.40704441				
184	San Marcos	San Sebastián	4.38246227				

NO.	DEPARTAMENTO	MUNICIPIO	VALOR DE LA VENTA (P.S.)	NO.	DEPARTAMENTO	MUNICIPIO	VALOR DE LA VENTA (P.S.)
181	San Martín	Cumbes	0.40702271	251	Trujillo	San Luis Obispo	0.00134454
182	Huancabamba	San Juan	0.29331380	252	San Martín	Chicama	0.00114471
183	San Juan	San Mateo de Tarma	0.28327343	253	Chiclayo	Jocoma	0.00082253
184	El Valle de la Luna	Cayash	0.26802320	254	Trujillo	Parico	0.00074428
185	Huancabamba	San Mateo de Tarma	0.26752248	255	San Martín	Embera	0.00043394
186	Alcazar	San Mateo de Tarma	0.24978216				
187	San Mateo	Parícuti	0.24873207				
188	San Martín	El Carmen	0.24334203				
189	Huancabamba	Villa Cosío	0.22669187				
190	Alcazar	Jirón	0.22511573				
191	Huancabamba	Cumbes	0.22071381				
192	Alcazar	Tarma	0.22069389				
193	Jirón	San Pedro de Huac	0.22021381				
194	Huancabamba	Parícuti	0.21489287				
195	Huancabamba	San Antonio de Huac	0.21481284				
200	San Mateo	San Juan	0.21192484				
201	San Martín	San Mateo de Tarma	0.20992281				
202	Trujillo	Trujillo	0.20482385				
203	Trujillo	El Carmen	0.19839283				
204	San Martín	Yacón de la Huac	0.19178244				
205	Trujillo	San Mateo de Tarma	0.18692281				
206	Trujillo	Parícuti	0.18440287				
207	San Martín	Cumbes	0.17667381				
208	Alcazar	San Mateo de Tarma	0.17196281				
209	San Martín	Parícuti	0.16939281				
210	El Valle de la Luna	San Mateo de Tarma	0.16812283				
211	Trujillo	Guadalupe	0.16511283				
212	San Martín	San Mateo de Tarma	0.16411281				
213	Alcazar	Cumbes	0.16372281				
214	San Martín	San Mateo de Tarma	0.16232281				
215	El Valle de la Luna	Guadalupe	0.16011284				
216	El Valle de la Luna	Trujillo	0.15242281				
217	Trujillo	Cumbes	0.14711281				
218	Trujillo	Trujillo	0.14622281				
219	Trujillo	Trujillo	0.13782481				
220	Trujillo	La Unión	0.13522281				
221	San Martín	Cumbes	0.13432281				
222	Trujillo	Cumbes	0.13002281				
223	El Valle de la Luna	San Juan	0.12912281				
224	Alcazar	San Juan	0.12772281				
225	San Martín	San Juan	0.12622281				
226	San Martín	San Juan	0.12532281				
227	Trujillo	Trujillo	0.12322281				
228	Trujillo	Agua Blanca	0.12242281				
229	Trujillo	Trujillo	0.12142281				
230	Trujillo	Trujillo	0.12042281				

**METODO UTILIZADO EN LA ELABORACIÓN DEL**  
**“MAPA DE AMENAZA POR INUNDACIONES”**

## **INTRODUCCIÓN**

El Laboratorio de Información Geográfica del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación –MAGA– basado en registros proporcionados por la Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres –CONRED– y el apoyo de un consultor experto en estadística contratado por el Programa Mundial de Alimentos –PMA–; ha elaborado un mapa de zonas del país bajo amenaza de inundaciones. El análisis se ha efectuado a nivel de cuenca y posteriormente, el Laboratorio indicado analizó los municipios que poseen áreas inundables ponderándose el grado de amenaza al fenómeno estudiado. Se describe el método de análisis efectuado.

## **DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO**

El análisis comenzó con la recopilación de eventos de inundación realizado por CONRED, entre los años 1996 al 2000. Los puntos georeferenciados fueron introducidos en un sistema de información geográfica, y se analizó a nivel de cuenca la frecuencia de ocurrencia de los eventos y su probabilidad de inundación.

A su vez, se analizó las áreas del país que poseen i) problemas de drenaje y dan como resultado áreas permanentemente inundadas y ii) áreas susceptibles a inundación generalmente en las márgenes de los ríos.

Posteriormente, se integró ambos análisis cruzándolos con un mapa administrativo a nivel municipal y se realizó una serie de ponderaciones según el grado de exposición al fenómeno estudiado. La secuencia metodológica realizada fue la siguiente:

### **2.1 Confección de una base de datos referida a eventos de inundaciones**

Se contó con una base de datos recopilados a partir de reportes diarios de CONRED, que cubre el periodo indicado y en total cuenta con 215 registros. Estos puntos fueron georeferenciados en el Laboratorio de SIG del MAGA, tomando como referencia la descripción del lugar del evento. A la base de datos generada se le asoció un campo código referido a cuencas.

### **2.2 Cálculo de probabilidades de inundación y mapa de cuencas priorizadas**

Se estimó la probabilidad de ocurrencia de inundaciones en las cuencas (P<sub>Inu</sub>), para ello se tomó en cuenta la repetibilidad de las inundaciones así como el efecto de la tendencia a incrementarse, en el periodo de tiempo evaluado. Para ello se utilizó la siguiente ecuación:

$$P_{inu} = \left( \frac{\sum A_e}{A} \right) * \left( \frac{\sum_{i=1}^5 (E_i * i)}{\sum i} \right)$$

Donde:

A<sub>e</sub> = Años con eventos de inundación

A = Total de años en el período

E<sub>i</sub> = Número de eventos de inundación en la cuenca

i = Número de orden del año

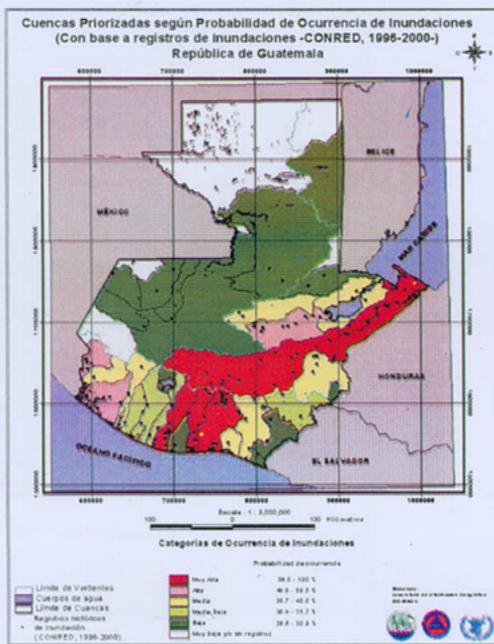
Los resultados se muestran en el cuadro 3.1.

**Cuadro 3.1** Eventos de inundación 1996-2000 y cálculo de probabilidad a inundación según cuenca y año del evento

Código Cuenca	Nombre	Años				Total	(1) % Años	(2) Tendencia Eventos	(3 x 2) Repeti- bilidad	x <sub>2</sub> Regret.	Probabilidad Inundación	
		1996	1997	1998	1999							2000
2.7	Mungua	3		6	19	16	44	0.80	11.80	9.44000	3.71711	0.99989921
1.10	Coyolate	1	11	1	9	7	29	1.00	6.47	6.46667	2.36208	0.99091376
1.13	Mano Linda	4	2	3	2	13	21	1.00	6.00	6.00000	2.14951	0.98419917
1.12	Achiquito	1		1	7	7	16	0.80	4.67	3.57333	1.91151	0.85164180
2.4	Polochic	4	4		3	2	13	0.80	7.77	1.84333	0.24143	0.59556661
1.2	Sacate		1		2	2	10	0.60	1.00	1.80000	0.23526	0.59463442
1.4	Ocaño				6	7	13	0.40	3.93	1.57333	0.13206	0.55253146
2.1	Río Grande de Zucapa			1	3	3	7	0.60	2.00	1.20000	-0.03808	0.18481247
1.15	Los Esclavos	1		2	4		7	0.60	1.53	0.92000	-0.16568	0.43470355
1.14	Paso Hondo		1		3	1	5	0.60	1.27	0.76000	-0.23860	0.40570852
2.3	Lago de Izabal - Río Dulce		5	1		1	7	0.60	1.76	0.32000	-0.25683	0.79886600
2.5	Calabón			1	1	1	4	0.80	0.87	0.63333	-0.26898	0.76397248
1.3	Marzojo			1	4	5	0.10	1.53	0.61333	-0.30546	0.78031618	
1.5	Sirruá				3	2	5	0.40	1.47	0.58667	-0.31739	0.37539760
1.17	Ostia-Güija			1	1	1	3	0.60	0.80	0.48000	-0.36820	0.35710730
1.9	Madre Vieja				2	1	3	0.40	0.87	0.34667	-0.12697	0.23470219
1.6	San Juan				1	1	2	0.40	0.60	0.24000	-0.17458	0.31718880
1.7	Mautze				1	1	2	0.40	0.60	0.24000	-0.17553	0.31718880
1.11	Azomé		1				1	2	0.40	0.18667	-0.19988	0.30857906
2.6	Sorona		1				1	2	0.40	0.18667	-0.19988	0.30857906
3.8	La Pasión		1	1			2	0.40	0.33	0.11333	0.52419	0.90007435
3.5	San Juan			2			2	0.20	0.40	0.08000	-0.51819	0.25107671
1.18	Olmos					1	1	0.20	0.33	0.05667	-0.55657	0.28959461
1.8	Añón					1	1	0.20	0.33	0.05667	-0.55437	0.28959461
2.7	Mecapán Itzoc					1	1	0.20	0.33	0.05667	-0.55437	0.28959461
3.9	Ventón					1	1	0.20	0.33	0.05667	-0.55457	0.28959461
3.7	Seliga				1		1	0.20	0.27	0.05333	-0.56065	0.28751952
2.8	Kacibul					1	1	0.20	0.27	0.05333	-0.56065	0.28751952
1.10	San Juan			3			1	0.20	0.20	0.04000	-0.56672	0.28545149
3.7	Palmas					1	1	0.20	0.20	0.04000	-0.56672	0.28545149

Con los resultados que se muestran en el cuadro anterior, se confeccionó el Mapa de Cuencas Priorizadas según probabilidad de ocurrencia de inundaciones que se muestra en la Figura 3.1.

Figura 3.1 Mapa de cuencas priorizadas



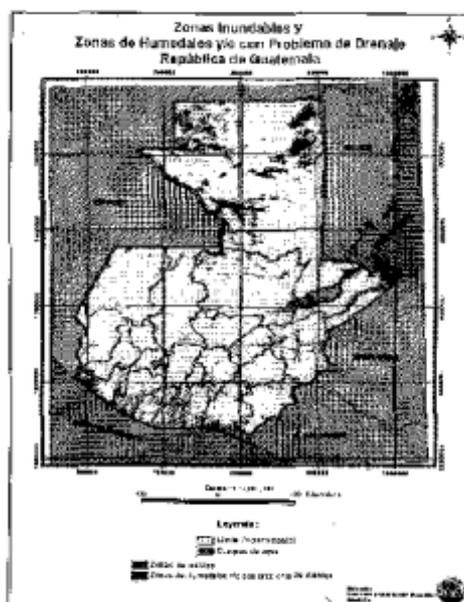
### 2.3 Delimitación de zonas inundables y zonas de humedales y/o zonas con problemas de drenaje

Se interpretó en forma análoga un juego de imágenes LANDSAT georeferenciadas, a escala 1:250,000, con cubrimiento total del país. Este juego de imágenes fue tomada en el mes de marzo de 1996, o sea en la temporada seca. Para el efecto se imprimieron con una combinación de bandas denominada pseudocolor (R : 4, G : 3, B : 2), con el software ERDAS Imagine®.

La interpretación análoga fue realizada por un experto en fotointerpretación y cartografía, y se refinó mediante un filtrado digital realizado a través del software indicado. Asimismo, se utilizó como elemento de apoyo la ubicación de los puntos de inundación los que fueron procesados mediante el software Arc-View®, y el Modelo de Elevación Digital (MED), generado a escala 1:250,000 por el Laboratorio de SIG del MAGA.

Este procedimiento permitió la delimitación más precisa de las zonas de humedales, zonas con problemas de drenaje y las zonas susceptibles que tienen la misma reflectancia, y esto con base a estadísticas de coloración de la imagen. El mapa resultante se muestra en la Figura 3.2.

Figura 3.2 Mapa de zonas inundables y zonas de humedales y/o con problema de drenaje



## 2.4 Mapa de municipios amenazados por inundación

Se procedió a intersectar por medio del software *ArcView*® y su extensión *GeoProcessing Wizard*® el Mapa de cuencas priorizadas (Figura 3.1) y el mapa de zonas de la Figura 3.2, con el mapa de División administrativa municipal, elaborado por el PEDN (2001<sup>1</sup>). Del mapa resultante se extrajeron los municipios que presentan áreas inundables y probabilidad de inundación por cuencas, a los cuales se les realizó el cálculo del Índice Municipal Ponderado de Amenaza por Inundación, que una vez determinado fue calificado en categorías de amenaza por municipio.

### a) Cálculo del Índice Municipal Ponderado de Amenaza por Inundación

Una vez realizada la intersección se recalcularon las superficies de área municipal inundable y la probabilidad de inundación de la fracción de cuencas presentes en el municipio.

<sup>1</sup> GUATEMALA. MINISTERIO DE AGRICULTURA, GANADERÍA Y ALIMENTACIÓN. PROGRAMA DE EMERGENCIA POR DESASTRES NATURALES. Proyecto de Asistencia Técnica y Generación de Información -ESPRED-CAATIE-. 2001 Base Espacial Digital de la República de Guatemala. Escala 1:250,000.

os del análisis realizado fueron utilizados para operar la fórmula del índice, esta la siguiente:

$$\text{IMPAI} = ((\text{Pic} \times \text{Ami})/\text{Atm})$$

Probabilidad de Inundación de la fracción de la cuenca intersectada con el municipio  
 Área inundable del municipio (resultado del intersección con el mapa de la Figura 2), incluida en la fracción de la cuenca definida anteriormente.  
 Área total del municipio

El Cuadro 3.2, se ejemplifica con un municipio, el procedimiento de cálculo realizado.

Cuadro 3.2 Ejemplo del cálculo del Índice Municipal Ponderado de Amenaza por Inundación (caso de Siquinalá).

Departamento	Municipio	(1) Área Total del Municipio en km <sup>2</sup> (Atm)	Nombre de la cuenca	(2) Probabilidad de Inundación de la cuenca (Pic)	(3) Área Municipal Inundable en km <sup>2</sup> (Ami)	(4) (2) x (3)	(4)/(1) Índice Ponderado de Amenaza por Inundación -IMPAI-
Escuintla	Siquinalá	184,5	Río Acajá	0,308	22,58	6,96	0,03777
Escuintla	Siquinalá	184,5	Río Acajá	0,852	33,63	28,14	0,15254
Escuintla	Siquinalá	184,5	Río Coyolote	0,991	10,57	10,47	0,05678
Total del IMPAI (ponderado respecto a la superficie del municipio)							0,24709
Total del IMPAI expresado en Porcentaje							24,709 %

### Calificación de las categorías del IMPAI

Los resultados del índice asignado a cada municipio, fueron clasificados en Arévalo a través del método "Quantiles"<sup>22</sup>; posteriormente cada uno de las clases fue calificado en función del grado de amenaza conforme a "criterio de experto", mostrándose la tabla de calificación en el Cuadro 3.3 y el mapa resultante en el Anexo.

Cuadro 3.3 Tabla de Categorías de Amenaza por Inundación, según clases del IMPAI

Categoría	Clase del Índice Ponderado (%)
Muy Alta	5,711 - 66,553
Alta	1,545 - 5,711
Media	0,651 - 1,545
Baja	0,077 - 0,651
Muy Baja	0,001 - 0,077
Extremadamente Baja	0,000 - 0,001

El método de Quantiles clasifica cada clase escogida con la misma cantidad de datos.

### 3. **RESULTADOS Y CONCLUSIONES**

Los análisis estadísticos realizados sobre los eventos históricos de inundación permitieron establecer que: a) Existe una consistencia en la ocurrencia de eventos basados en la pendiente del área afectada, un 82.4% de los eventos ocurrieron en áreas con pendientes menores al 8%); b) La vertiente del Pacífico presenta la mayor ocurrencia de eventos (60%), seguido por la vertiente del Mar Caribe con un 36% y el 4% restante ocurrió en la vertiente del Golfo de México); c) La mayor cantidad de eventos ocurrieron en la segunda mitad del invierno, el 65.6% entre los meses de agosto y noviembre; y d) Las cuencas más afectadas fueron las del Río María Linda, Río Motagua, Río Achiguate y Río Coyolate.

Un total de 7 cuencas hidrográficas, 5 ubicadas en la Vertiente del Pacífico y 2 en la Vertiente del Caribe, poseen una probabilidad arriba del 49% de ocurrencia de eventos de inundación; representando un 18% del total de cuencas del país. De las 7 cuencas mencionadas, 4 presentan más del 85% de probabilidad de inundación, siendo estas las de los ríos: Motagua, Coyolate, María Linda y Achiguate.

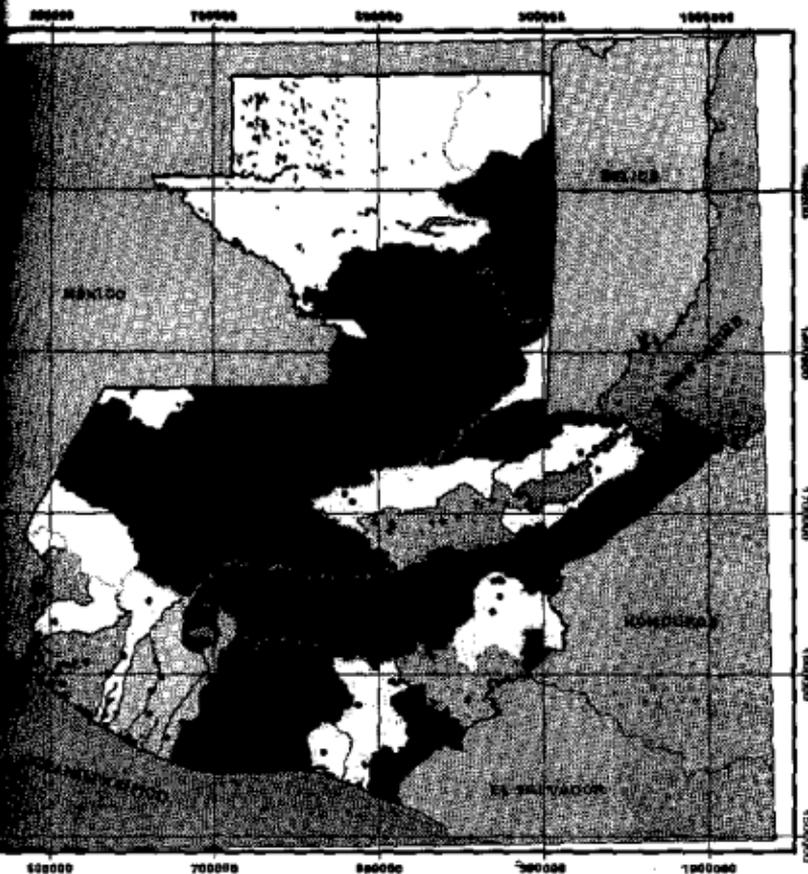
Las zonas inundadas e inundables del país, suman un total de 4,470.41 km<sub>2</sub> de superficie, equivalentes al 4.1% del total del país.

Un total de 31 municipios, se categorizan con una "Muy Alta" amenaza de inundación, ocupando una superficie de 2,326.1 km<sub>2</sub> que es equivalente al 2.13% de la superficie total del país. El detalle de la amenaza por inundación en los municipios, se presenta en el Cuadro 1.A del Anexo.

### **ANEXO**

Mapa Final: Municipios Priorizados según Amenaza de Inundación.  
Cuadro 1.A: Calificación municipal de la amenaza por inundación.

**Áreas Priorizadas según Probabilidad de Ocurrencia de Inundaciones  
(con base a registros de Inundaciones -CONRED, 1996-2000-)  
República de Guatemala**



600000 700000 800000 900000 1000000

Escala: 1 : 3,000,000

100 0 100 Kilómetros

**Categorías de Ocurrencia de Inundaciones**

Probabilidad de ocurrencia

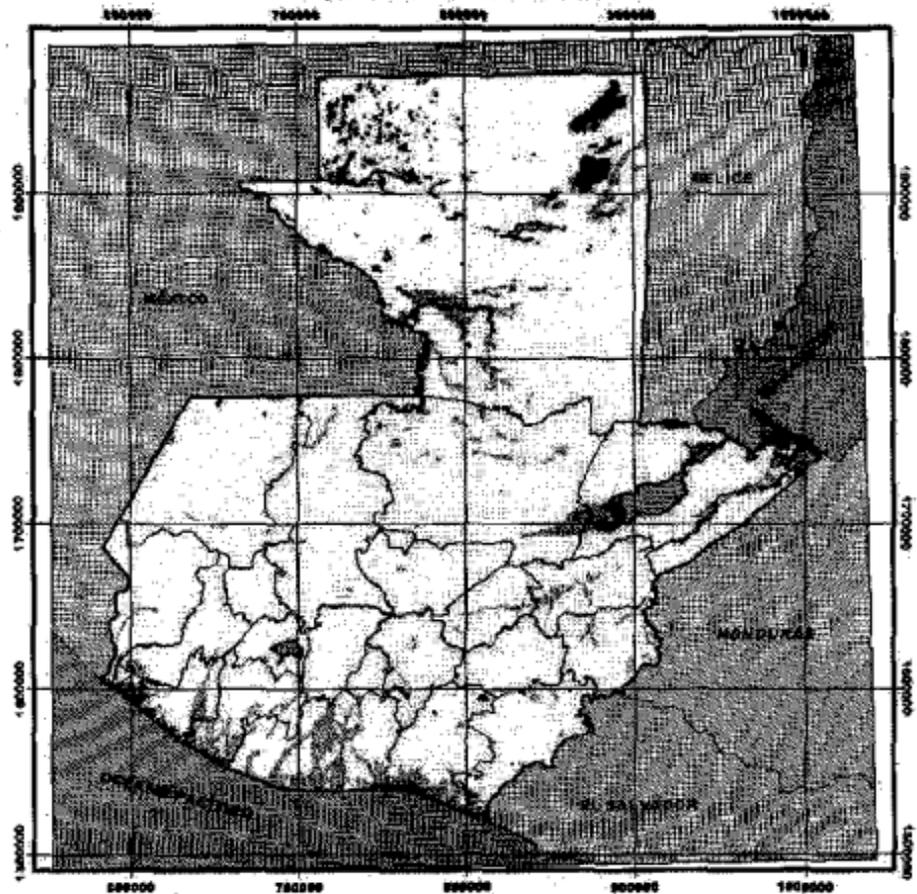
	Muy Alta	68.5 - 100 %
	Alta	49.8 - 68.5 %
	Media	36.7 - 49.8 %
	Media Baja	30.9 - 36.7 %
	Baja	29.5 - 30.9 %
	Muy Baja y/o sin registros	

MAPA TEMA:  
ÁREAS PRIORIZADAS EN FUNCIÓN DE LA  
PROBABILIDAD DE OCURRENIA DE INUNDACIONES



límite de Vertientes  
Cuerpos de agua  
límite de Cuencas  
Registros históricos  
de Inundación  
(CONRED, 1996-2000)

# Zonas Inundables y Zonas de Humedales y/o con Problema de Drenaje República de Guatemala



Escala : 1 : 2,000,000  

 0 100 100 Kilómetros

**Legenda :**

- Límite Departamental
- Cuerpos de agua
- Zonas Inundables
- Zonas de Humedales y/o con problema de drenaje



Cuadro 1.A Calificación Municipal de la Amenaza por Inundación

Nº.	Departamento	Código municipal	Municipio	Área Inundable (km.)	Índice ponderado de amenaza por inundación (%)	Categoría
1	Escuintla	510	Izapa	44.10968207	65.553	Muy Alta
2	Escuintla	509	San José	89.89692284	55.961	Muy Alta
3	Escuintla	503	La Democracia	147.6143254	33.582	Muy Alta
4	Escuintla	504	Salguinal	66.20368912	24.700	Muy Alta
5	Escuintla	507	La Gomera	320.0888071	15.979	Muy Alta
6	Retalhuleu	1103	Santa Cruz Muluá	52.13831151	15.267	Muy Alta
7	Escuintla	505	Masagua	76.84699036	15.144	Muy Alta
8	Santa Rosa	608	Chisimulilla	191.5388012	13.182	Muy Alta
9	Isabal	7804	Moailes	170.6581728	12.825	Muy Alta
10	El Progreso	2053	El Hierro	11.52872158	12.672	Muy Alta
11	Santa Rosa	609	Toxico	154.2022158	12.248	Muy Alta
12	Alta Verapaz	1607	Panuzá	228.4960557	12.256	Muy Alta
13	Zacapa	1926	Lyauatzán	13.09143157	12.079	Muy Alta
14	Escuintla	502	Santa Lucía Cotzumalguza	97.83255129	12.006	Muy Alta
15	Zacapa	1910	Itz'at	10.20824749	11.453	Muy Alta
16	Zacapa	1905	Tecululután	21.51307994	10.191	Muy Alta
17	Isabal	1301	Puerto Barrios	118.2559987	9.833	Muy Alta
18	Sejola	720	Parajachel	2.57970507	9.665	Muy Alta
19	Escuintla	508	Guanaguazapa	20.83955534	9.019	Muy Alta
20	San Marcos	1218	Ocosingo	25.6927277	8.424	Muy Alta
21	Zacapa	1907	Cabezas	11.49603018	8.284	Muy Alta
22	Santa Rosa	611	Guzatempa	22.05111324	8.160	Muy Alta
23	Escuintla	501	Escuintla	51.79915164	8.059	Muy Alta
24	San Marcos	1216	Cuba	10.51734491	7.661	Muy Alta
25	Retalhuleu	1101	Retalhuleu	130.3880999	7.580	Muy Alta
26	Guatemala	117	Perapa	1.8046052	7.463	Muy Alta
27	Escuintla	513	Nueva Concepción	55.36820548	7.110	Muy Alta
28	Jalapa	2215	Pajon	32.50261271	6.922	Muy Alta
29	El Progreso	204	San Cristóbal Acasagustán	9.87239732	5.987	Muy Alta
30	Jutiapa	2214	Itz'at	84.13571312	5.812	Muy Alta
31	Sacatepéquez	1007	San Lorenzo	51.96719245	5.807	Muy Alta
32	Retalhuleu	1102	San Sebastián	2.69417067	5.711	Alta
33	Quezaltenango	520	Cotenque	44.16688087	5.548	Alta
34	Succhiubecap	1207	Lanquarungo	76.25070772	5.327	Alta
35	Patán	1310	Sayasché	193.3649723	4.827	Alta
36	Retalhuleu	1107	Champajón	38.30193905	4.799	Alta
37	San Marcos	1215	Misobactán	16.31804371	4.666	Alta
38	Isabal	1303	El Estor	127.5834999	4.634	Alta
39	Zacapa	1923	Río Hondo	20.91245223	4.565	Alta
40	San Marcos	1217	Ayut'a	0.03043794	4.451	Alta
41	San Marcos	1214	El Rodén	3.168352	3.674	Alta
42	Guatemala	106	Cruzamá	2.34162447	3.492	Alta
43	Jutiapa	2202	El Progreso	9.48005416	3.397	Alta
44	Chiquimula	2001	Chisimulilla	23.94667307	3.285	Alta
45	Escuintla	511	Palín	3.16642999	2.806	Alta
46	Retalhuleu	1106	San Andrés Villa Seca	14.36331701	2.782	Alta
47	Isabal	1305	Los Amatos	29.08532803	2.780	Alta
48	Sacatepéquez	1014	Panahol	28.00099896	2.729	Alta
49	Guatemala	101	Arastizán	2.74319379	2.674	Alta
50	Escuintla	506	Lijualte	38.16694036	2.637	Alta
51	Sacatepéquez	314	Asteramán	2.55776298	2.426	Alta
52	Sacatepéquez	1006	Santo Domingo Suchitepéquez	17.86696312	2.400	Alta
53	Retalhuleu	1105	San Felipe Retalhuleu	2.28093006	2.338	Alta
54	Patán	1705	San Francisco	141.7061886	2.230	Alta
55	San Marcos	1211	San Rafael Pie de la Cuesta	1.52648387	2.003	Alta

Cuadro 1.A. Calificación Municipal de la Amenaza por Inundación

Departamento	Código municipal	Municipio	Area Inundable (km <sup>2</sup> )	Índice ponderado de amenaza por inundación (%)	Categoría	
46	Chiquimula	2007	Esquipulas	21.43307912	1.890	Alta
47	Chiquimula	2005	Carrotán	8.89797371	1.869	Alta
48	Zacapa	1902	Escuintla	2.51049031	1.868	Alta
49	Alta Verapaz	1613	Chisec	102.6717114	1.819	Alta
60	Petén	1711	Melchor de Mencos	124.1455524	1.702	Alta
61	Suchitepéquez	1005	San José El Tólo	7.25345447	1.670	Alta
62	El Progreso	203	San Agustín Acasaguanán	6.70038234	1.571	Alta
63	Suchitepéquez	1020	Río Bravo	7.70833229	1.545	Media
64	Zacapa	1901	Zacapa	14.97358987	1.536	Media
65	Guatemala	115	Villa Nueva	1.37255533	1.517	Media
66	Chimaltenango	412	Yepococ	3.03562653	1.474	Media
67	Solalá	713	San Lucas Totulán	3.17630743	1.443	Media
68	Jutiapa	2202	Santa Catarina Milu	8.15688783	1.438	Media
69	Quiché	142C	Playa Grande - Icaño	79.4129025	1.433	Media
70	San Marcos	1222	Patzún	4.87556649	1.413	Media
71	Guatemala	116	Villa Canales	3.67603061	1.292	Media
72	El Progreso	201	Gustatoyá	2.64873382	1.214	Media
73	Quezaltenango	919	El Palmar	5.49687029	1.173	Media
74	Huehuetenango	1305	Necón	29.65959959	1.131	Media
75	Jutiapa	2204	Asunción Mia	14.64425696	1.059	Media
76	Petén	1701	Flores	140.5992592	1.051	Media
77	Chimaltenango	408	Pochun	3.79892677	0.982	Media
78	Huehuetenango	1319	Colotenango	2.01286285	0.914	Media
79	Jutiapa	2211	Comapa	5.3131712	0.871	Media
80	Jutiapa	2213	Comiguac	4.03858238	0.876	Media
81	Petén	1705	La Libertad	194.3946109	0.864	Media
82	El Progreso	202	Morazán	2.83730875	0.816	Media
83	Alta Verapaz	1601	Cobán	64.66403977	0.813	Media
84	El Progreso	207	Sarziné	2.18943982	0.798	Media
85	Jutiapa	2212	Jutiapalpa	6.16809289	0.769	Media
86	San Marcos	1219	San Pablo	1.80063738	0.767	Media
87	Santa Rosa	601	Cuilapa	3.76043645	0.763	Media
88	Chiquimula	2010	San Jacinto	1.0533087	0.720	Media
89	Quiché	1412	Jayabaj	3.3223747	0.703	Media
90	Chiquimula	2002	San José La Arada	1.57039318	0.658	Media
91	Alta Verapaz	1615	Fray Bartolomé de las Casas	26.11942777	0.658	Media
92	Suchitepéquez	1013	Chicocán	4.33258579	0.651	Baja
93	El Progreso	208	San Antonio La Paz	0.95307549	0.646	Baja
94	Zacapa	1904	Guzmán	4.71156097	0.601	Baja
95	Alta Verapaz	1614	Chahal	8.58257743	0.575	Baja
96	Jutiapa	2207	Atrásitempa	1.36512204	0.568	Baja
97	Retalhuleu	1104	San Martín Zapotitán	0.13614264	0.544	Baja
98	Isabel	1802	Lirioyán	26.30945133	0.459	Baja
99	Quiché	1421	Pachalum	0.18292368	0.437	Baja
100	Huehuetenango	1307	Jacaltenango	2.31455599	0.404	Baja
101	Baja Verapaz	1505	Grandes	0.62191583	0.402	Baja
102	San Marcos	1212	Nuevo Progreso	1.48152744	0.401	Baja
103	Quiché	1416	Sacapulas	1.95221903	0.394	Baja
104	Huehuetenango	1326	Rimilá	11.05976591	0.362	Baja
105	Huehuetenango	1310	Santa Bárbara	1.86937138	0.360	Baja
106	Petén	1708	Dolores	28.67542769	0.344	Baja
107	Petén	1709	San Lázaro	55.11204361	0.340	Baja
108	Guatemala	110	San Juan Sacatepéquez	0.92034222	0.337	Baja
109	Alta Verapaz	1612	Cabalen	8.36858094	0.337	Baja
110	Chimaltenango	403	San Martín Totoposteque	1.32276768	0.322	Baja