

# Por una coexistencia responsable con los peligros naturales

Willy R. Rodríguez Miranda (Coord.)

**un**  
i Universidad  
Internacional  
de Andalucía

**A Pr**  
de estudios  
Iberoamericanos  
Grupo La Rábida  
**mio 4**  
Area  
Científico-Técnica

**un**  
**i** Universidad  
Internacional  
de Andalucía

**A Pr**  
**E** de estudios  
Iberoamericanos  
Grupo La Rábida

**mio 4**  
Área  
Científico-Técnica



**Por una coexistencia  
responsable con los  
peligros naturales**

EDITA: UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE ANDALUCÍA  
Monasterio de Santa María de las Cuevas  
Calle Américo Vespucio, 2  
Isla de la Cartuja. 41092 Sevilla  
[www.unia.es](http://www.unia.es)

COORDINACIÓN DE LA EDICIÓN:  
Willy Roberto Rodríguez Miranda

COPYRIGHT DE LA PRESENTE EDICIÓN:  
Universidad Internacional de Andalucía

COPYRIGHT:  
Carlos Sacasas León, Damián Febles Elejaldes, Marina Beatriz  
Vega Carreño, Willy Roberto Rodríguez Miranda, Rosa María  
Valcarce Ortega, Orlando Carraz Hernández, José Rodríguez  
Pérez

FECHA:  
2010

ISBN:  
978-84-7993-204-6 Versión papel

MAQUETACIÓN Y DISEÑO:  
Olga Serrano García

IMPRESIÓN:

# Índice

	<b>Resumen</b>	7
<b>1.</b>	<b>Introducción</b>	11
<b>2.</b>	<b>Marco Teórico</b>	15
	2.1. Vulnerabilidad a la ocurrencia de ciclones tropicales.	16
	2.2. Vulnerabilidad a la contaminación de las aguas subterráneas.	17
	2.3. Vulnerabilidad a las inundaciones pluviales.	18
	2.4. Vulnerabilidad a la erosión de suelos.	18
	2.5. Vulnerabilidad a los incendios forestales.	19
	2.6. Vulnerabilidad a los deslizamientos.	19
<b>3.</b>	<b>Materiales y Métodos Empleados</b>	23
	3.1. Vulnerabilidad a la ocurrencia de ciclones tropicales.	24
	3.2. Vulnerabilidad a la contaminación de las aguas subterráneas.	25
	3.3. Vulnerabilidad a las inundaciones pluviales.	30
	3.4. Vulnerabilidad a la erosión de suelos.	35
	3.5. Vulnerabilidad a los incendios forestales.	36
	3.6. Vulnerabilidad a los deslizamientos.	39
<b>4.</b>	<b>Resultados</b>	43
<b>5.</b>	<b>Conclusiones</b>	49
<b>6.</b>	<b>Referencias Bibliográficas</b>	51



# Resumen

Contar con mapas que expresen la vulnerabilidad de un territorio a peligros naturales, es una herramienta de indudable valor para poder dictar políticas que permitan reducir el impacto de los desastres naturales.

La presente investigación reporta el **Atlas de Vulnerabilidad Ambiental a Peligros de Origen Natural en Cuba**, soportado en un sistema de información geográfico a escala 1:250 000. Este Atlas permite evaluar la vulnerabilidad en todo el país al impacto de *ciclones tropicales, inundaciones pluviales, contaminación de las aguas subterráneas, incendios forestales, erosión de los suelos y deslizamiento de tierra*. Para ello se utilizaron las fuentes de información existentes en Cuba, vinculadas al medio físico, en diversos formatos de presentación, que atesoran un enorme volumen de trabajos científicos realizados fundamentalmente en los últimos 40 años.

La clara comprensión del problema científico a resolver, permitió desarrollar metodologías de procesamiento para obtener cada uno de los mapas de vulnerabilidad, atendiendo a la información disponible y al tipo de peligro natural considerado. Las metodologías desarrolladas no han sido anteriormente reportadas por otros autores, por lo que constituyen importantes aportes.

Las fuentes de información consultadas permitieron, además, valorar la probabilidad, severidad y localidad de los ciclones tropicales, por lo que también se presentan mapas de peligros a la ocurrencia de estos eventos meteorológicos. Para ello fue procesada una data estadística compuesta por 35 000 observaciones, que permitió conocer detalles de la ocurrencia de ciclones tropicales desde el año 1851 hasta la actualidad.

La vulnerabilidad a inundaciones pluviales, deslizamientos, erosión, incendios forestales y contaminación de las aguas subterráneas, se evalúa a partir de varios indicadores que fueron desarrollados por los autores atendiendo a una lógica que se expresa en modelos matemáticos. Estos indicadores son la combinación de parámetros que reflejan características del medio ambiente natural y en algunos casos del desarrollo social. Se logra así, teniendo como base la lógica expresada por un modelo, establecer la interacción entre



diferentes variables (meteorológicas, topográficas, geológicas, hidrogeológicas, litológicas, edafológicas, etc.) para evaluar la susceptibilidad de un territorio a la ocurrencia de estos peligros naturales.

Debido a que este Atlas está soportado sobre un sistema de información geográfico, presenta todas las ventajas inherentes a esta tecnología: facilidades para actualizar los datos, hacer consultas, búsquedas selectivas, etc.

A continuación se resumen aspectos que hacen del Atlas un muy valioso instrumento de trabajo:

1. En procesos de toma de decisión concernientes a la protección y manejo de los recursos materiales y humanos.
2. Para identificar áreas susceptibles a los peligros naturales considerados y decidir sobre las investigaciones y redes de monitoreo necesarias.
3. En planes informativos y educativos a diferentes sectores de la población, con el objetivo de generalizar el conocimiento y concientizar a los diferentes actores, elementos cruciales en las estrategias de gestión del riesgo.

Por último, debe destacarse que los resultados obtenidos pueden ser generalizados con facilidad para ser aplicados en otros países de la región, y en función de la información disponible, estos mapas pueden ser construidos a diferentes escalas.



# 1. Introducción

La literatura especializada internacional reconoce que en los últimos años la estrategia para enfrentar los desastres provocados por peligros naturales ha cambiado notablemente. Si antes el énfasis fundamental estaba en las actividades de respuesta y ayuda humanitaria, hoy se reconoce que evaluar la vulnerabilidad y el riesgo son factores decisivos para poder dictar políticas de ordenamiento territorial que permitan reducir los efectos adversos de los peligros naturales. La aplicación de una estrategia de reducción de desastres constituye un desafío de orden mundial (PNUD, 2004). El reto es lograr coexistir con los peligros naturales sin pérdidas de vidas y sin pérdidas materiales.

El panorama internacional refleja tendencia al aumento de pérdidas provocadas por los desastres naturales (Munich Re Group. 2003), como consecuencia de una mala gestión del medio ambiente, del desordenado crecimiento de las ciudades, de la mala distribución de la población, de la mala distribución de las riquezas, etc. El número de personas en riesgo aumenta a razón de 70 a 80 millones por año y fundamentalmente en los países más pobres.

Teóricamente las amenazas naturales (terremotos, inundaciones, sequías, huracanes tropicales, incendios forestales, deslizamientos) pueden afectar a toda la población, pero en la práctica afecta más a aquellos que viven en la pobreza, en zonas de mayor densidad de población, en viviendas mal construidas. Sin embargo, en los últimos años, pobres y ricos han sufrido el impacto de eventos extremos que han cobrado millones de vida. Europa ha sufrido las peores inundaciones, Estados Unidos los peores tornados, los países tropicales los más fuertes huracanes, Bangladesh, China y África han sufrido inundaciones sin precedentes. Las estadísticas muestran que en los últimos decenios han aumentado el número de eventos naturales desastrosos y el número de poblaciones afectadas.

Lo anterior es muy dramático en países del Caribe y América Latina, azotados gran parte del año por el paso de fuertes huracanes, inundaciones, penetraciones del mar, sismos, etc., con muy escaso desarrollo económico y social para hacer frente a los desastres que ocasionan.

El mundo siempre deberá enfrentar amenazas naturales pero el impacto de las mismas puede mitigarse con adecuadas políticas educativas y de ordenamiento territorial. Antes que depender de las ayudas humanitarias en caso de desastres, siempre será más inteligente y sensato estudiar la vulnerabilidad para poder disponer de la información necesaria que permita dictar políticas para reducir los riesgos.

El Decenio Internacional para la Reducción de los Desastres Naturales, convocado por Naciones Unidas en el período 1990 al 1999, fue una experiencia valiosa para los gobiernos, especialistas y comunidades; que desarrollaron esfuerzos mundiales por reducir los impactos negativos de los peligros naturales.

Hoy se reconoce la necesidad de un debate más profundo sobre la reducción del riesgo de desastres basado en indicadores de vulnerabilidad (ONU, 2005) Prevalece un desafío importante: crear conciencia, influir sobre los proyectos para el desarrollo e invertir en medidas prácticas que consideren los factores de riesgo y vulnerabilidad.

El riesgo específico consta de dos factores fundamentales; la existencia de un elemento potencialmente dañino (el peligro o amenaza) y el grado de susceptibilidad de los elementos expuestos al mismo (la vulnerabilidad).

El impacto adverso (el desastre), depende de las características, probabilidad e intensidad de la amenaza, y de la vulnerabilidad social, física, económica y ambiental. Se reconoce que la vulnerabilidad es un elemento clave en la formulación del riesgo y desempeña un papel decisivo para el logro del desarrollo sostenible. Nadie cuestiona que las medidas de reducción de desastres deben basarse en la evaluación continua de la vulnerabilidad ante diferentes amenazas.

Tener conocimiento de las amenazas y de la vulnerabilidad influye de manera directa en la percepción de riesgo (UNISDR, 2004). Entonces es un elemento importante evaluar la vulnerabilidad física, social, económica y ambiental.

La vulnerabilidad física proviene de las corrientes de ordenamiento territorial. Se refiere a aspectos tales como: densidad de población, ubicación de un asentamiento, diseño y materiales que se utilizan para construir la infraestructura vital y las viviendas.

La vulnerabilidad social se refiere al grado de bienestar de las personas. Comprende aspectos tales como grado de alfabetización, acceso a agua potable, saneamiento, servicios médicos, equidad de género, equidad social, etc.

La vulnerabilidad económica evalúa la situación económica de las personas, comunidades y países. Considera la magnitud de las reservas económicas, el grado de endeudamiento, el acceso a créditos, préstamos.

La vulnerabilidad ambiental evalúa las características del medio ambiente físico, los recursos naturales, sus características y estado de degradación, así como la exposición a contaminantes tóxicos y peligrosos. El incremento sostenido de la vulnerabilidad ambiental limita las alternativas para enfrentar los riesgos o para recuperarse de un desastre.

Mientras más vulnerable sea una localidad a una amenaza potencial severa, más se justifica invertir en su re-acondicionamiento, mediante estrategias de reducción del riesgo bien integradas.

La presente investigación aborda el estudio de la vulnerabilidad ambiental a peligros de origen natural en la República de Cuba, logrando desarrollar metodologías de procesamiento de datos y evaluando índices de vulnerabilidad a la ocurrencia de *ciclones tropicales, inundaciones pluviales, contaminación de las aguas subterráneas, incendios forestales, erosión de los suelos y deslizamientos de tierra*, y todo soportado en un Sistema de Información Geográfica que posibilita la gestión de la información para múltiples usos, a escala de representación 1:250 000.

Para la realización del trabajo fue utilizada una amplia información publicada por diferentes investigadores e instituciones tanto nacionales como internacionales, que posibilitaron la evaluación de indicadores, pronóstico de ocurrencia de determinados eventos y su correspondiente expresión cartográfica.

## **2. Marco teórico**

Para establecer el marco teórico de la investigación se realizó una detallada revisión bibliográfica acerca de la dinámica de cada una de las amenazas bajo estudio, lo cual permitió establecer el modelo conceptual de trabajo para identificar los factores que condicionan la vulnerabilidad del medio físico. Finalmente se realizó la cartografía digital de estos factores y se incorporaron en el Sistema de Información Geográfica que fue la herramienta de análisis espacial utilizada para generar los mapas de vulnerabilidad a las diferentes amenazas naturales.

A continuación se resumen los aspectos teóricos fundamentales tenidos en cuenta para obtener cada uno de los mapas que conforman el Atlas.

## **2.1. Vulnerabilidad a la ocurrencia de ciclones tropicales.**

Los huracanes y las tormentas tropicales se conocen colectivamente con el nombre de ciclones y representan eventos muy devastadores.

Un ciclón tropical se define como un área de bajas presiones, con circulación cerrada de los vientos que se originan sobre aguas de latitudes tropicales. Ellos comienzan como una depresión tropical con velocidades de los vientos por debajo de los 18 m/s. Según esta velocidad se incrementa, puede desarrollarse sucesivamente como una tormenta tropical, y posteriormente como huracán. En la medida que la tormenta avanza sobre la tierra o aguas más frías, se debilita eventualmente (FEMA, 1997).

Los ciclones tropicales abarcan características atmosféricas e hidrológicas. Con ellos se asocian comúnmente vientos severos (lo más distintivo), precipitaciones intensas, inundaciones, oleaje alto, erosión costera, tormentas eléctricas y en ocasiones tornados. Por lo anterior resulta de particular importancia conocer principalmente de estos eventos la velocidad de los vientos y su trayectoria. La información histórica referida fue procesada e incluida en el Sistema de Información Geográfica. La metodología seguida utiliza un procedimiento similar al de la confección de los Modelos digitales de Elevación, teniendo en este caso como variables la velocidad, ángulo de incidencia, mes de ocurrencia, etc.



## 2.2. Vulnerabilidad a la contaminación de las aguas subterráneas.

El término **vulnerabilidad del agua subterránea a la contaminación**, fue introducido por el hidrogeólogo francés J. Margat a finales de la década del 60 (Margat, 1968), basado en el hecho real de que, en cierta medida, el medio físico protege al acuífero de contaminantes que pueden infiltrarse desde la superficie.

La cartografía de vulnerabilidad de acuíferos, es una de las vías más adecuadas para preservar la calidad de las aguas subterráneas. Ella posibilita diferenciar las características naturales del terreno para proteger al acuífero de la acción de múltiples contaminantes que pueden infiltrarse desde la superficie, asociados a fenómenos naturales o a la actividad del hombre. Este punto de vista considera que la vulnerabilidad es una propiedad intrínseca de un sistema acuífero que depende de su sensibilidad a impactos naturales y/o antropogénicos (Vrba y Zaporozec, 1994).

Se han desarrollado diferentes técnicas para evaluar la vulnerabilidad natural de acuíferos. Las más conocidas son: DRASTIC (Aller et al 1987), GOD (Foster & Hirata 1988), SINTACS (Civita, 1990), AVI (Van Stempvoort, 1994).

DRASTIC, SINTACS y GOD, evalúan la vulnerabilidad del acuífero dividiendo el mismo en celdas o polígonos, para los cuales calculan un índice de vulnerabilidad a partir de un sistema por rangos ponderados. O sea, estos métodos definen rangos para cada uno de los parámetros que emplean y además asignan un peso en función de la importancia relativa de dicho parámetro. La suma de estos rangos ponderados permite obtener un índice que refleja la vulnerabilidad de cada celda o polígono del acuífero. A mayor valor de este índice, mayor es la sensibilidad del acuífero a la contaminación. El método AVI calcula la resistencia hidráulica vertical total de las capas que sobreyacen al acuífero, dividiendo el espesor de cada capa entre su conductividad hidráulica vertical. La suma de estos cocientes es precisamente el índice AVI, el cual expresa la resistencia hidráulica que ofrece el medio que protege al acuífero y es inversamente proporcional a la vulnerabilidad del mismo.

En la presente investigación, los autores desarrollaron la metodología **PATHS** para evaluar la vulnerabilidad a la contaminación de las aguas subterráneas en todo el territorio nacional.

### **2.3. Vulnerabilidad a las inundaciones pluviales.**

La cartografía de las zonas con peligro de inundaciones, es una tarea de suma importancia debido a que este tipo de peligro natural afecta a regiones muy diferentes en casi todo el planeta (Burton et. al; 1978, O.E.A., 1993)

Para evaluar la vulnerabilidad al peligro de inundaciones se deben tener en consideración las siguientes características: topografía o pendiente del terreno (especialmente su horizontalidad), la geomorfología, el tipo de suelo; la hidrología y extensión de las inundaciones, así como la frecuencia e intensidad de las precipitaciones que históricamente ocurren en la zona bajo estudio.

En la presente investigación fue evaluada la vulnerabilidad del territorio nacional cubano a sufrir inundaciones por precipitaciones, desarrollando un indicador que considera la combinación lineal ponderada de los factores antes mencionados.

### **2.4. Vulnerabilidad a la erosión del suelo.**

La erosión es el proceso más negativo de degradación de suelos (Porta et al., 1999), ya que en algunos territorios puede llegar a estadios tales, que lo convierten en un proceso irreversible, con pérdida total de la capa de suelo (De la Rosa et al., 2000).

Este proceso se describe como la pérdida gradual del material que constituye el suelo, al ser arrastradas las partículas (disgregadas, arrancadas y transportadas), a medida que van quedando en superficie. (De Pedraza, 1996; Strahler y A. Strahler, 2000; Purdue University, 2005). El agente más activo en las latitudes tropicales es el agua.

Una vez iniciado el proceso erosivo, este se puede acelerar, disminuir o frenar completamente, en un período de tiempo más o menos largo, en dependencia de la influencia conjunta de factores naturales y antrópicos tales como el régimen climático, la constitución geológica, el relieve, el tipo de suelo, la vegetación natural, y la actividad socio-económica entre otros (Kirkby y Morgan, 1984; Derruau, 1991). La importancia que se concede a cada factor dependerá de la escala del trabajo (Kirkby et al., 1998).

Como efectos indirectos de la erosión de los suelos, se presentan riesgos de inundaciones, sedimentaciones, deslizamientos de tierra, etc., con características a veces catastróficas, así como disminución de la biodiversidad, deterioro de la suplencia de agua en cantidad y calidad, y efectos en cambios climáticos globales y sus consecuencias. (Lal, 2000).

## **2.5. Vulnerabilidad a los incendios forestales.**

Los incendios periódicos en bosques, y pastos, son parte del ambiente natural. Los factores que tienen el impacto principal en el desencadenamiento y comportamiento de los incendios son la topografía, la vegetación, la radiación solar y el tiempo. Este último es el más variable en cuanto a su influencia. Por ejemplo, altas temperaturas y baja humedad pueden producir una vigorosa actividad de incendios. Las condiciones extremas del tiempo, conducen a eventos extremos de incendios y a menudo cuando el tiempo se modera, finaliza el incendio y comienza una exitosa contención (FEMA, 1997).

## **2.6. Vulnerabilidad a los deslizamientos.**

Los deslizamientos y otros tipos de fallos del terreno son fenómenos naturales que pueden ocurrir con o sin la intervención humana. En sentido estricto el término deslizamiento se utiliza para describir el movimiento rápido pendiente, abajo de rocas, suelos, materiales de relleno o combinación de ellos, en forma de una masa más o menos coherente, principalmente bajo la acción de la fuerza de gravedad (Keller, 1996). Para determinar las causas de los deslizamientos se

debe examinar la estabilidad de las pendientes, la cual puede ser expresada en términos de las fuerzas que actúan sobre ellas. Esas fuerzas están determinadas por la interrelación entre las siguientes variables: tipo de materiales de la ladera, ángulo de la pendiente (topografía), clima, vegetación, presencia de agua y tiempo (Keller, 1996).

Independientemente de las variables antes relacionadas, algunas actividades humanas relacionadas con el uso de la tierra, conlleva en determinadas situaciones, al incremento de la vulnerabilidad ambiental ante los deslizamientos, mientras que en otras puede contribuir a disminuirlas. De la misma forma algunos procesos naturales, resultan desencadenantes, por ejemplo, los sismos, así como prolongadas e intensas lluvias que conduzcan a condiciones de saturación. (FEMA, 1997)

En la Tabla 2.1 se exponen, a modo de resumen los factores considerados para la evaluación de cada una de las vulnerabilidades, teniendo en cuenta los aspectos teóricos, las características propias del medio físico en Cuba y la disponibilidad de los datos.

*Tabla 2.1 Factores empleados en la evaluación de la vulnerabilidad ambiental*

<b>Tipo de amenaza</b>	<b>Factores empleados</b>
Huracanes	Velocidad de los vientos Mes e intervalo de tiempo de afectación Período de recurrencia Trayectorias
Contaminación de Acuíferos	Precipitaciones Litología Tectónica Pendiente Profundidad del agua Resistencia Hidráulica del Suelo
Inundaciones	Precipitaciones Escurrimiento superficial Pendiente Temperatura Evapotranspiración Resistencia Hidráulica del Suelo Vegetación Caudal Densidad de drenaje

<b>Tipo de amenaza</b>	<b>Factores empleados</b>
Erosión de suelos	Precipitación Relieve Tipos de suelos
Incendios forestales	Vegetación Insolación Altitud Antrópico
Deslizamientos	Topografía Tectónica Litología Precipitaciones Antrópico (carreteras y población)



### **3. Materiales y métodos empleados**

A continuación se presentan los materiales y metodologías empleadas para obtener cada uno de los mapas de vulnerabilidad.

### **3.1. Vulnerabilidad a la ocurrencia de ciclones tropicales.**

Los datos primarios correspondientes a las trayectorias de los ciclones tropicales que han afectado la región del Atlántico, disponibles en <http://www.nhc.noaa.gov>, <http://weather.terrapin.com/hurricane>, fueron listados en formato htm.

Tomando los ficheros .htm con la información básica de las trayectorias de todos los ciclones tropicales que afectaron el Atlántico desde 1851 hasta la actualidad, se elaboraron tablas con todas las observaciones realizadas, las que incluían los datos de Latitud, Longitud, Velocidad de los vientos, Presión atmosférica, Fecha y Hora de la medición, así como los datos referentes a su Categoría y Nombre. Estos ficheros fueron elaborados mediante un proceso que incluyó desde la lectura original de los ficheros .htm obtenida de INTERNET, su transformación en tablas y gráficos de cada trayectoria y la exportación final al Sistema de Información Geográfico (SIG).

La aplicación SIG desarrollada posibilita visualizar cada una de las trayectorias de los ciclones o realizar consultas a la base de datos (lo que permite acceder, para cada evento a: nombre, fecha en que ocurrió, velocidad de sus vientos, categoría).

De esta manera se facilita: mostrar el o los eventos deseados atendiendo a criterios simples o múltiples de selección; identificar eventos, con las características que se desee (por ejemplo, que intercepten un municipio cualquiera o que su centro haya pasado a determinada distancia; etc.).

Con el objetivo de extraer el máximo de información a los datos y darles una expresión cartográfica se procedió a realizar un trabajo combinado de álgebra de mapas con la finalidad de dar respuesta a varios indicadores elaborados por los autores para poder expresar cuantitativamente el grado de peligrosidad ante la ocurrencia de ciclones tropicales. Estos índices son posteriormente evaluados



para cada punto del territorio. Los indicadores son los siguientes:

1. Número de ciclones tropicales.
2. Mes más probable de afectación para el territorio.
3. Probabilidad frecuencial de que un evento que afecte a Cuba lo haga por determinado punto.
4. Frecuencia de ocurrencia de ciclones tropicales en 50 años.
5. Velocidad media, máxima y más frecuente de los vientos por ciclones tropicales que han afectado cada punto.
6. Velocidad media de los vientos por huracanes que han afectado cada punto.
7. Azimut promedio de las trayectorias que afectan cada localidad.
8. Índice de velocidad que normaliza al valor 100 la velocidad máxima de vientos en Cuba.
9. Índice complejo de peligro dado por el producto de la probabilidad frecuencial y la velocidad media de vientos por huracanes.

El sistema posibilita la consulta de diferentes mapas generados para cada lugar de interés como puede ser un sitio en el cual se ejecutará cierto proceso inversionista.

### 3.2. Vulnerabilidad a la contaminación de las aguas subterráneas

A partir de la revisión bibliográfica realizada y de la información geológica, edafológica, geomorfológica e hidrogeológica disponible, fue desarrollada una metodología que aplica un sistema por rangos ponderados para calcular un índice, que ha sido denominado **PATHS**, y que resulta directamente proporcional a la vulnerabilidad del acuífero.

**PATHS** evalúa la vulnerabilidad de los acuíferos a partir del análisis de: **P**recipitaciones, **M**edio **A**cuífero (Profundidad del Nivel Freático, Litología del acuífero), **T**opografía (Pendiente del terreno), y Resistividad **H**idráulica del **S**uelo.

Para el desarrollo de la investigación se contó con la siguiente información digitalizada para todo el territorio nacional:

- Mapa del relieve topográfico Escala 1:250 000 (GEOCUBA, 2000).
- Mapa Hidrogeológico Escala 1:250 000 (Flores, et. al., 2000).
- Mapa de Suelos Escala 1:500 000 (Griset, 2000)  
Precipitación media anual (período 1995-2006).  
(Instituto de Meteorología, 2006).

Las variables empleadas para el cálculo del índice PATHS fueron:

• **Profundidad del agua (P)**

*Criterio de selección:* Mientras más profundo se encuentre el nivel estático, mayor es el espesor de la zona no saturada y su capacidad de atenuar la carga contaminante.

**Peso asignado: 5**

*Tabla 3.1 División por rangos para la profundidad del agua subterránea.*

Profundidad del agua (en metros)	Rango
0 – 20	10
20-30	6
>30	1

Debido a la escala de los mapas disponibles, no fue posible detallar más la variabilidad de la profundidad del agua subterránea sin incurrir en errores. En trabajos a escala más detallada este es un aspecto que debe ser considerado al ser un parámetro de gran importancia para evaluar la vulnerabilidad a la contaminación.

• **Precipitaciones (P)**

*Criterio de selección:* Altos niveles de precipitación pueden disminuir el impacto del agente contaminante, ya sea diluyéndolo o transportándolo en forma de flujo superficial.

**Peso asignado: 4**

Tabla 3.2 División por rangos de las precipitaciones.

Precipitaciones (mm)	Rango
< 1000	10
1000 – 1200	9
1200 – 1400	8
1400 – 1600	7
1600 – 1800	5
> 1800	4

• **Litología del Acuífero (Lit)**

*Criterio de selección:* Los fenómenos de difusión y de dispersión de los agentes contaminantes dependen de la granulometría, textura, fraccionamiento, porosidad, permeabilidad, etc, de las rocas. Ello también influye en el desarrollo de reacciones químicas entre el agua contaminada y la matriz del acuífero. Las rocas que poseen mayor transmisividad hidráulica hacen más vulnerable al acuífero.

**Peso asignado: 3**

Tabla 3.3 División por rangos para las litologías

Litologías	Rango
carbonatadas, carbonatadas metamórficas, carbonatadas clásticas, clásticas, húmedales.	10
carbonatadas terrígenas	8
terrígenas, terrígenas carbonatadas	6
ultra básicas	3
evaporitas, metamórficas, vulcanógenas	1

• **Tectónica (T)**

*Criterio de selección:* La presencia de fallas en el medio geológico, favorece el desarrollo de fracturas y ello puede provocar el

incremento de la porosidad secundaria y de la permeabilidad de las rocas, disminuyendo la capacidad de atenuación de la zona no saturada.

**Peso asignado: 1**

*Tabla 3.4 División por rangos para la tectónica.*

Presencia de Fallas	Rango
Zonas con presencia de fallas	5
Zonas sin presencia de fallas	0

• **Pendiente Topográfica (PendTop)**

*Criterio de selección:* Pendientes elevadas de la superficie del terreno favorecen la escorrentía superficial y hacen que disminuya la infiltración de los contaminantes.

**Peso asignado: 1**

*Tabla 3.5 División por rangos para la pendiente topográfica.*

Pendiente Topográfica (%)	Rango
< 1	10
1 – 3	9
3 – 7	5
7 – 10	3
> 10	1

• **Resistencia Hidráulica del Suelo (HS)**

*Criterio de selección:* Este parámetro cuantifica la resistencia que hace el suelo a la infiltración de un contaminante expresando la inaccesibilidad hidráulica al acuífero.

En el mapa de suelos disponible se presenta el espesor de suelos en rangos del 1 al 6 donde:

- 1: suelos con espesores mayores de 100 cm.
- 2: suelos con espesores entre 61 y 100 cm.

- 3: suelos con espesores entre 41 y 60 cm.
- 4: suelos con espesores entre 21 y 40 cm.
- 5: suelos con espesores entre 11 y 20 cm.
- 6: suelos con espesores menores de 10 cm.

Y el drenaje se presenta en rangos del 1 al 5 definiendo:

- 1: suelos excesivamente drenados.
- 2: suelos bien drenados.
- 3: suelos drenados.
- 4: suelos mal drenados.
- 5: suelos muy mal drenados.

La resistencia hidráulica del suelo fue evaluada dividiendo el espesor de suelo entre el drenaje, de forma similar a como establece la metodología AVI. De esta manera fue posible caracterizar al menos cualitativamente la resistencia hidráulica de los suelos a la infiltración de contaminantes. A continuación se especifica el peso asignado a este parámetro y su división por rangos.

**Peso asignado: 5**

*Tabla 3.6 División por rangos para la resistencia hidráulica del suelo.*

Resistencia Hidráulica del Suelo	Rango
2 – 6	10
1 – 2	6
0.6 – 1	3
0.2 - 0.6	1

Finalmente, el índice PATHS fue calculado como:

$$\text{PATHS} = 5P + 4Pp + 3Lit + T \text{ PendTop} + 5RH$$

Analizando la variabilidad del índice PATHS, la vulnerabilidad en cada zona fue clasificada como:

Tabla 3.7 Evaluación de la vulnerabilidad según el índice PATHS.

PATHS	Vulnerabilidad
< 100	Baja
100 – 120	Moderada
120 – 140	Alta
> 140	Extrema

### 3.3. Vulnerabilidad a las inundaciones pluviales.

A partir de la revisión bibliográfica realizada y de la información geológica, edafológica, geomorfológica, climatológica e hidrogeológica disponible, fue desarrollada una metodología que aplica un sistema por rangos ponderados para calcular un índice, que ha sido denominado **FLOODS**, y que resulta directamente proporcional a la susceptibilidad de inundación en cualquier lugar del territorio nacional.

Para el desarrollo de esta investigación se contó con la siguiente información para todo el territorio nacional:

- Mapa Digital del Relieve Topográfico Escala 1:250 000 (GEOCUBA, 2000).
- Mapa Digital Hidrogeológico Escala 1:250 000 (Flores, et. al., 2000).
- Mapa Digital de Suelos Escala 1:500 000 (Griset, 2000).
- Precipitación Media Anual (período 1995-2006). (Instituto de Meteorología, 2006).

Las variables empleadas para el cálculo del índice FLOODS fueron:

- **Precipitación (P)**

*Criterio de selección:* Mientras más altos sean los niveles de precipitaciones en una determinada región, mayor es la posibilidad de que ocurra el fenómeno de inundaciones por exceso de agua en la misma.

**Peso asignado: 5**

*Tabla 3.8 División por rangos para las precipitaciones.*

Precipitaciones (mm)	Rango
> 3000	10
2000 – 3000	8
1000 – 2000	5
< 1000	1

• **Escurrimiento Superficial (EscSup)**

*Criterio de selección:* Altos niveles de escurrimiento superficial pueden provocar, si las condiciones topográficas y las propiedades físicas del terreno son favorables, fuertes caudales, con un aumento sustancial del nivel de las aguas, aumentando la susceptibilidad al fenómeno de inundación.

**Peso asignado: 4**

*Tabla 3.9 División por rangos para el escurrimiento superficial.*

Escurrimiento (mm)	Rango
< 1000	10
1000 – 1500	8
1500 – 2000	5
> 2000	3

• **Pendiente Topográfica (Pend)**

*Criterio de selección:* Pendientes elevadas de la superficie del terreno, favorecen la escorrentía superficial y hacen que aumente la susceptibilidad a la inundación en los terrenos aguas abajo.

**Peso asignado: 5**

Tabla 3.10 División por rangos para la pendiente topográfica.

Pendiente Topográfica (°)	Rango
< 5	10
5 – 10	8
10 – 20	3
> 20	1

• **Resistencia Hidráulica del Suelo (RH)**

*Criterio de selección:* Este parámetro cuantifica la resistencia que hace el suelo a la infiltración de un fluido cualquiera, y de esta forma puede ser utilizado como un índice de la capacidad de infiltración del terreno. Fue estimada de la forma ya explicada.

**Peso asignado: 3**

Tabla 3.11 División por rangos para la resistencia hidráulica del suelo.

Resistencia Hidráulica del Suelo	Rango
2 – 6	10
1 – 2	6
0.6 – 1	3
0.2 - 0.6	1

• **Temperatura (T)**

*Criterio de selección:* El aumento de la temperatura del aire en cualquier región favorece el proceso de evaporación, disminuye la humedad del suelo y por esta razón, disminuye la cantidad de agua presente en el mismo, por lo que es un factor, que en general, puede retardar el fenómeno de las inundaciones ante la aparición de fuertes precipitaciones.

**Peso asignado: 1**



Tabla 3.12 División por rangos para la temperatura.

Temperatura (°C)	Rango
< 25	10
25 – 27	6
27 – 29	3
29 – 30	1

• **Evapotranspiración (Ev)**

*Criterio de selección:* La existencia combinada de una fuerte evaporación y transpiración en determinada región, favorece la pérdida del agua contenida en los suelos y la vegetación, aspectos que indudablemente ocasionan una mayor sequedad y por consiguiente, disminuye la susceptibilidad a inundaciones ante la presencia de fuertes precipitaciones.

**Peso asignado: 1**

Tabla 3.13 División por rangos para la evapotranspiración.

Evapotranspiración (en mm)	Rango
< 500	10
500 – 1000	6
1000 – 1500	3
1500 – 2000	1

• **Vegetación (V)**

*Criterio de selección:* La existencia de diferentes grados de desarrollo de la vegetación en cualquier región, es un aspecto que incide directamente en la susceptibilidad del mismo a ser inundado. Aquellas zonas donde la acción antropogénica ha eliminado la cubierta vegetal, para el desarrollo de áreas de cultivo o para el desarrollo de asentamientos urbanos, provocan un aumento de la susceptibilidad a las inundaciones. De igual manera, aquellas regiones totalmente despobladas de vegetación, serán más susceptibles a la aparición de inundaciones.

**Peso asignado: 2***Tabla 3.14 División por rangos para la presencia de vegetación.*

Vegetación	Rango
Bosques	10
Malezas	6
Terrenos Agrícolas	5
No Vegetación	1

**• Caudal (C)**

*Criterio de selección:* La existencia de inundaciones terrestres, depende directamente de que los cauces naturales o artificiales existentes en una determinada región, no sean capaces de aliviar adecuadamente los caudales provocados por las fuertes precipitaciones y por esta razón, al aumentar considerablemente el nivel de las aguas se inundan los terrenos que topográficamente, queden por debajo del nivel máximo alcanzado por las aguas.

**Peso asignado: 4***Tabla 3.15 División por rangos para el caudal.*

Caudal (en mm <sup>3</sup> / s)	Rango
> 3000	10
2000 – 3000	8
1000 – 2000	5
< 1000	3

**• Densidad de Drenaje (D)**

*Criterio de selección:* Las características de la red de drenaje inciden directamente sobre el caudal en una determinada región, esto es, si una cuenca está bien drenada esto provocará que el agua se vea favorecida en su tránsito corriente abajo. En general, la eficiencia de una red de drenaje, favorece la aparición de caudales máximos y en determinadas condiciones, puede tanto favorecer, como retardar la ocurrencia de inundaciones.

## Peso asignado: 2

Tabla 3.16 División por rangos para la densidad de drenaje.

Densidad de Drenaje (Km / Km2)	Rango
> 1	10
0.75 – 1	9
0.75 – 0.5	7
0.25 – 0.5	5
< 0.25	3

Finalmente, el índice *FLOODS* fue calculado como:

$$\mathbf{FLOODS = 5P + 4EscSup + 5Pend + 3RH + T + Ev + 2V + 4C + 2D}$$

Analizando la variabilidad del índice *FLOODS*, la susceptibilidad de inundación en cada celda fue clasificada como:

Tabla 3.17 Evaluación de la vulnerabilidad según el índice *FLOODS*.

FLOODS	Susceptibilidad
> 200	Muy Alta
150 – 200	Alta
100 – 150	Baja
< 100	Muy Baja

### 3.4. Vulnerabilidad a la erosión del suelo

Para obtener la información acerca del comportamiento areal de los factores seleccionados se dispuso de los siguientes mapas en formato digital

- Mapa del relieve topográfico Escala 1:250 000 (GEOCUBA, 2000) para extraer la información de la pendiente
- Mapa de Suelos Escala 1:500 000 (Griset, 2000) para evaluar la litología a partir del contenido de arcilla

- Precipitación media anual (período 1995-2000). (Instituto de Meteorología, 2000)

Cada uno de estos mapas fue reclasificado en un sistema de rangos a los que se le aplicó una ponderación de acuerdo a la influencia en la erosión, del factor en cuestión.

*Tabla 3.18 Factores considerados de acuerdo con la escala del estudio*

Factor	Parámetro de evaluación	Ponderación
Clima	Precipitación (P)	10
Litología	Contenido de arcilla (T)	9
Relieve	Pendiente (S)	7

Finalmente se diseñó un índice E con el cual se obtuvo el mapa de erosión correspondiente.

$$E = 10 P + 9T + 7S$$

### 3.5. Vulnerabilidad a los incendios forestales

A partir de la revisión bibliográfica realizada y de la información topográfica, de vegetación, vialidad y asentamientos poblacionales disponible, fue desarrollada una metodología que aplica un sistema por rangos ponderados para calcular un índice, que ha sido denominado INCEN, y que resulta directamente proporcional a la susceptibilidad a los incendios forestales en cualquier lugar del territorio nacional.

Para el desarrollo de esta investigación se contó con la siguiente información para todo el territorio nacional:

- Mapa digital de Vegetación a escala 1:250 000 (Atlas Nacional de Cuba Academia de Ciencias, 1989).
- Mapa de las redes viales y poblaciones a escala 1:250 000 (Atlas Nacional de Cuba Academia de Ciencias, 1989).

- Modelo Digital de Elevación a escala 1:250 000 (GEOCUBA, 2000).

### • Índice de Vegetación

Al no existir en nuestro país una clasificación del material vegetal combustible de acuerdo a su grado de ignición, ni disponer de información para todo el territorio en cuanto al peso seco de este material por área y la altura de las especies, se decidió evaluar el índice a partir de la ponderación de los tipos de vegetación que aparecen en el Mapa Digital de Vegetación a escala 1:250 000 y su área de cobertura – polígono - según:

$$V = \text{Peso} * \text{Área}$$

*Tabla 3.19 Ponderación de la vegetación según su tipo.*

Clasificación	Peso
Bosques de todo tipo	7
Maleza	10
Huertos y frutales	3

Posteriormente, este índice se llevó a un Ranking de tres tipos de peligro: alto, medio y bajo a los que se le asignaron valores mediante la operación de reclasificación.

*Tabla 3.20 Clasificación del Índice de Vegetación*

Intervalo del Índice	Clasificación	Valor de Peligro
0.56-1833	Bajo	3
1833-5000	Medio	7
5000-11893	Alto	10

### • Índice de Actividad Humana

Para el cálculo regional se asumió que el peligro de incendio en una determinada área es directamente proporcional a la accesibilidad y cercanía a los centros poblados o caseríos (De los Heros, 2002).

A partir de las capas temáticas de la red vial y los poblados, se obtuvo el índice basado en la densidad de vías por unidad de área afectada por la densidad de pobladores dentro del polígono dado:

$$H = \text{densidad de vías} * \text{densidad de pobladores}$$

Luego se clasificó este índice como se muestra a continuación:

*Tabla 3.21 Clasificación del Índice de Actividad Humana*

Intervalo del Índice	Clasificación	Valor de Peligro
0.56-1833	Bajo	3
1833-5000	Medio	7
5000-11893	Alto	10

• **Índice de Insolación**

Este índice representa la fracción de insolación potencial recibida por cada píxel en el mediodía solar a partir de la pendiente y la orientación del píxel, mediante la ecuación ( Etxeberria et al., 2002):

$$I = \cos j (1 - \tan j \cos m) \text{ (IV)}$$

donde:

- μ- pendiente
- ø- orientación

La pendiente y la orientación fueron tomados del Modelo Digital de Elevación (MDE) creado a partir del Mapa digital de Relieve Topográfico a escala 1: 250 000.

*Tabla 3.22. Clasificación del Índice de Insolación*

Intervalo del Índice	Clasificación	Valor de Peligro
< 0.6	Bajo	3
0.6-1.15	Medio	7
1.15-1.41	Alto	10

### • Índice de Altitud

La altitud es el factor determinante en la distribución de las precipitaciones y la temperatura, y, de forma general, la cantidad de combustible disminuye al aumentar la altitud. Sin embargo, su incidencia directa en el inicio y desarrollo de incendios forestales es muy pequeña y de signo negativo.

Con los datos aportados por el MDE se clasificaron las altitudes en cuatro valores de peligro.

*Tabla 3.23. Clasificación del Índice de Altitud*

Intervalo del Índice	Clasificación	Valor de Peligro
0-0.270	Bajo	3
0.270-0.600	Medio	7
0.600-1980	Alto	10

Estos factores evaluados como índices se han combinado en una expresión (Etxeberria et al. (2002) derivadas de las propuestas por Salas y Chuvieco (1992) y Dagorne et al. (1994)

$$\text{INCEN} = 4V + 3H + 2I - A$$

donde:

V: Índice de Vegetación

H: Índice de Actividad Humana

I: Índice de Insolación

A: Índice de Altitud

### 3.6. Vulnerabilidad a los deslizamientos

Teniendo en cuenta la revisión bibliográfica realizada se trabajaron los mapas digitales que representan los factores más influyentes en la generación de deslizamientos y cuya transformación y combinación de forma conveniente permitió obtener el índice DESLIZ. Para la confección del mapa de susceptibilidad al deslizamiento de Cuba a escala 1:250 000 se contó con los siguientes materiales ya en formato digital:

- Mapa topográfico de Cuba a escala 1: 250 000.
- Mapa tectónico de Cuba a escala 1:250 000.
- Mapa geológico de Cuba a escala 1:250 000
- Mapa de los poblados de Cuba a escala 1:250 000.
- Mapa de la red vial de Cuba (excluyendo vías férreas) a escala 1: 250 000.
- Mapa de precipitaciones de Cuba a escala 1:250 000.

A partir de los mapas de los poblados y de la red vial de Cuba se calculó el índice de actividad humana (H) de la misma forma que se realizó su evaluación para la vulnerabilidad a incendios forestales. Los índices de precipitaciones (P) y de pendientes (Pend) se calcularon de la misma forma que se realizó su evaluación para la vulnerabilidad a las inundaciones.

#### • Litología (Lit)

*Criterio de selección:* La composición de las rocas es uno de los factores que influyen notablemente en la susceptibilidad a los deslizamientos. Las rocas que poseen mayor porosidad y contenido de arcilla son más favorables para que ellos se produzcan.

**Peso asignado: 4**

*Tabla 3.24 División por rangos para las litologías*

Litologías	Rango
terrigenas	10
carbonatadas terrigenas	8
carbonatadas	6
magmáticas y metamórficas	3

#### • Tectónica (Tec)

*Criterio de selección:* El grado de fracturación y la presencia de fallas proporciona discontinuidades en el material rocoso y por tanto la hace más inestables, al mismo tiempo que puede desarrollar una porosidad secundaria en la cual se puede almacenar agua durante los eventos de lluvia.

**Peso asignado: 4**



Tabla 3.25 División por rangos para la densidad de fallas

Densidad de fallas	Rango
0,05 - 0,18	1
0,18- 0,4	2
0,4 - 0,7	3
0,7 - 1,3	8

Finalmente, el índice *DESLIZ* fue calculado como:

$$\mathbf{DESLIZ = 5PendTop + 4Lit + 5P + 4Tec + H}$$

Analizando la variabilidad del índice *DESLIZ*, después de su reclasificación la vulnerabilidad en cada zona fue clasificada como:

Tabla 3.26 Evaluación de la vulnerabilidad según el índice *DESLIZ*.

DESLIZ	Vulnerabilidad
1	Baja
2	Moderada
3	Alta
4	Extrema



## **4. Resultados obtenidos**

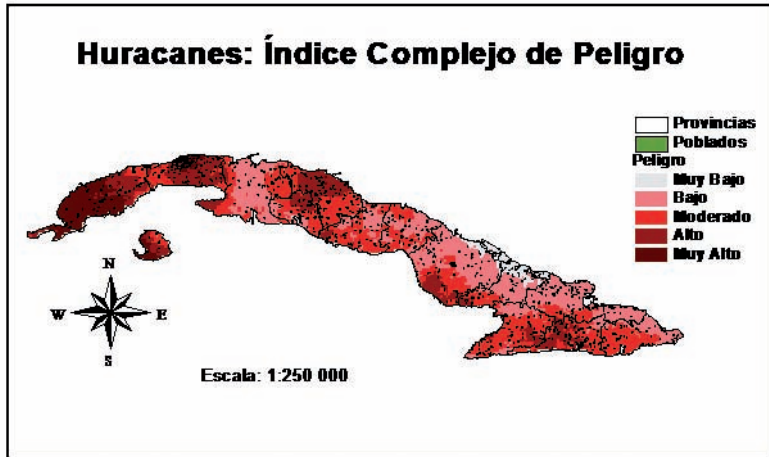


Figura 4.1 Mapa del Índice Complejo de Peligro a Huracanes para la República de Cuba.

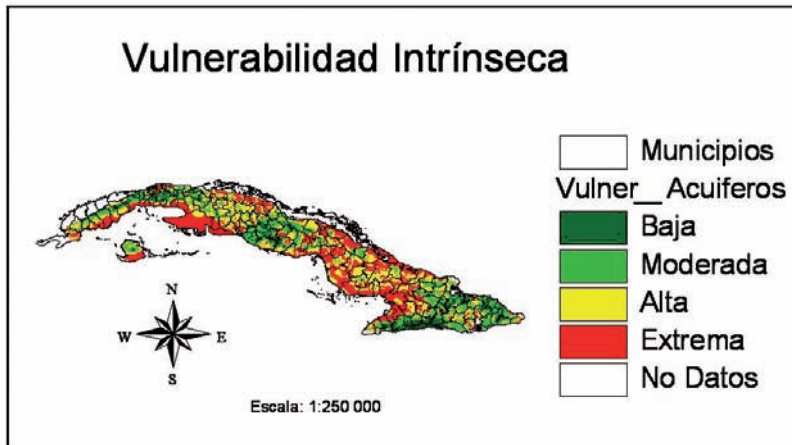


Figura 4.2 Mapa de la vulnerabilidad intrínseca a la contaminación de acuíferos para la República de Cuba.

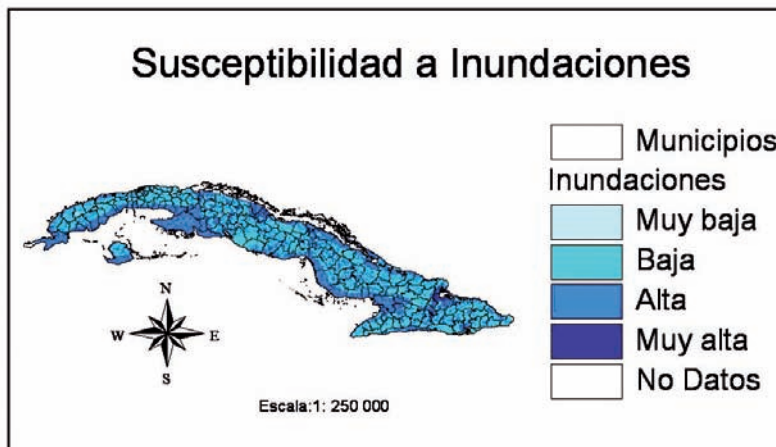


Figura 4.3 Mapa de la susceptibilidad a las inundaciones para la República de Cuba.

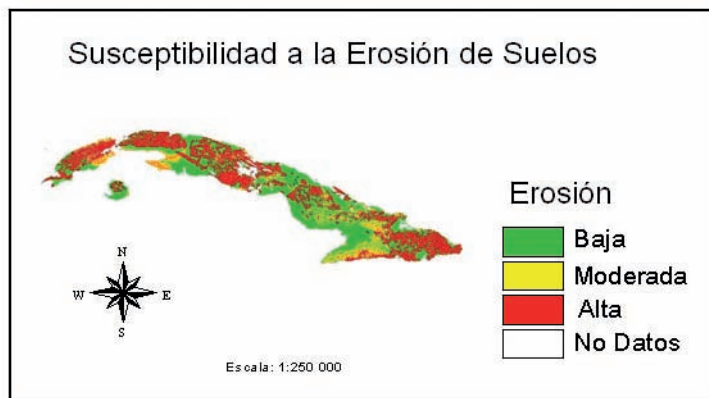


Figura 4.4 Mapa de la susceptibilidad a la erosión de los suelos para la República de Cuba.

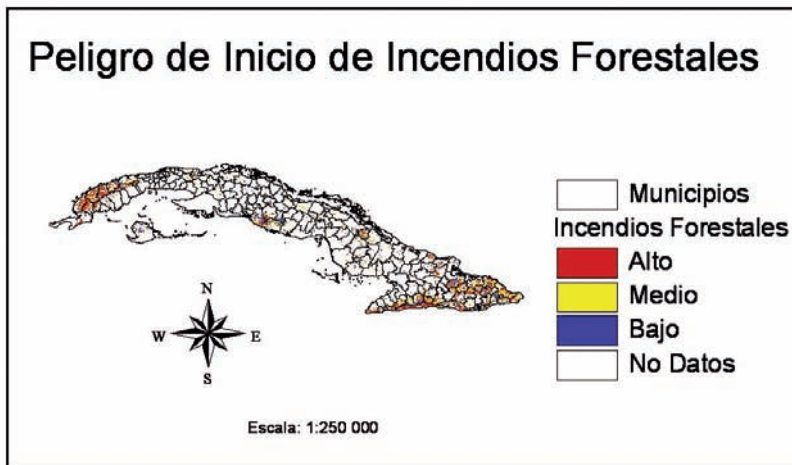


Figura 4.5 Mapa de la susceptibilidad a los incendios forestales para la República de Cuba.

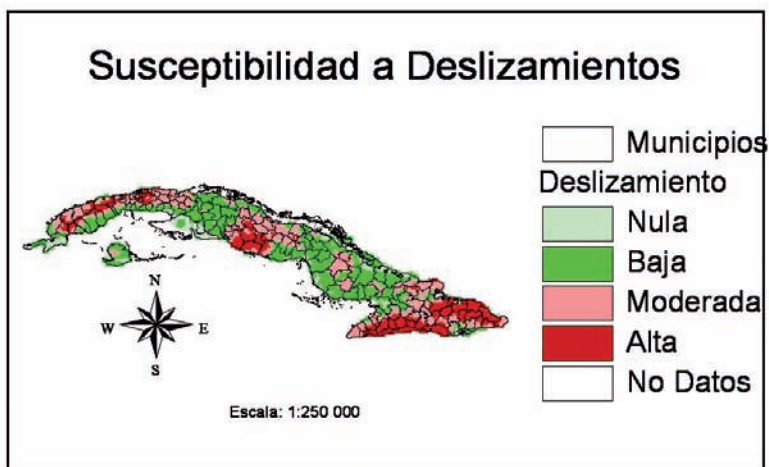


Figura 4.6 Mapa de la susceptibilidad a los deslizamientos para la República de Cuba.

Las Figuras 4.1 – 4.6 muestran cada uno de los mapas obtenidos. Se puede destacar que:

- Los datos históricos colectados y procesados acerca de los ciclones tropicales que han afectado al territorio, permiten generar y consultar diferentes mapas teniendo en cuenta el interés del usuario. Entre ellos el mapa del índice de peligro, definido como el producto de velocidad por probabilidad y normalizado a l valor máximo de 100 une así en un solo índice, dos magnitudes de gran importancia pero que expresan de diferente manera la peligrosidad de un territorio. El mapa del índice referido revelaron los lugares de mayor peligro como aquellos que reúnen la cualidad de ser altamente probable a la ocurrencia de un evento y que las velocidades medias de los vientos que históricamente han afectado lo han hecho con la mayor fuerza. Por el contrario los valores más bajos quedaron representados por las más bajas probabilidades y los registros más bajos de velocidades de los vientos.
- Las zonas más vulnerables a la contaminación de las aguas subterráneas se localizan fundamentalmente en las llanuras cársticas donde el desarrollo de los suelos es escaso, la profundidad del nivel freático es pequeña, la litología del acuífero está representada fundamentalmente por calizas miocénicas carsificadas que favorecen la infiltración y migración de los contaminantes, y donde el relieve topográfico no favorece el predominio de la escorrentía superficial. En general se destaca también que las áreas menos vulnerables se localizan fundamentalmente en los principales macizos montañosos del país, lo que obedece principalmente a la composición litológica en estas zonas y a las elevadas pendientes topográficas que favorecen la escorrentía superficial.
- Las zonas más susceptibles a inundaciones pluviales se localizan en las llanuras costeras, fundamentalmente de la costa sur y en aquellas zonas bajas, donde el relieve topográfico no favorece el predominio de la escorrentía superficial y si la acumulación de las aguas procedentes de las zonas altas.
- El mapa de vulnerabilidad a la erosión de suelos revela que ésta es mayor en las regiones de relieve montañoso, la erosión moderada se localiza en las alturas y algunas llanuras, mientras

que las zonas de erosión baja se vinculan con las llanuras. De esta forma, se evidencia que aunque las precipitaciones desencadenan el proceso erosivo, es el factor relieve quien la controla.

- Las zonas del país más susceptibles a los incendios forestales se localizan fundamentalmente donde la cubierta vegetal es más susceptible a la combustión y caracterizadas además por un elevado índice de insolación.
- La alta susceptibilidad a los deslizamientos coinciden con las regiones de relieve topográfico más enérgico y con mayores pendientes del territorio nacional. Se destaca el hecho de que cuando la anterior característica coincide con litologías más susceptibles, la vulnerabilidad a los deslizamientos es extrema.



## **5. Conclusiones**

- El conocimiento de la vulnerabilidad de un territorio es premisa fundamental para dictar políticas de reducción de riesgos a desastres provocados por fenómenos naturales.
- La información que se presenta en un Atlas de este tipo brinda información para el desarrollo sostenible ya que contribuye a ordenación del territorio, a una mejor ubicación de las instalaciones socio - económicas y en general, la gestión del riesgo de desastres.
- La literatura científica nacional e internacional, la utilización de la información cartográfica en formato digital de Cuba, y las posibilidades de la tecnología de los Sistemas de Información Geográfica, permitieron el desarrollo de metodologías para el cálculo de índices que expresan la vulnerabilidad del territorio cubano a diferentes peligros naturales.
- El Atlas desarrollado es un valioso instrumento para la toma de decisión en planes de ordenamiento territorial, en planes educativos e informativos, todo lo cual puede permitir la reducción del riesgo de desastres y contribuir al desarrollo sostenible.
- La metodología de trabajo desarrollada puede ser aplicada a otros países, y en dependencia de la información disponible, estos mapas de vulnerabilidad a peligros naturales pueden ser elaborados a diferentes escalas.

## **6. Referencias bibliográficas**

**Aller, L., T. Bennet, J. Lehr, Petty, R., y G. Hackett** (1987), DRASTIC, A Standardized System for Evaluating Groundwater Pollution Potential Using Hydrogeologic Setting. National Water Well Association. Dublin Ohio. EPA, Oklahoma. USA, EPA-600/2-87-035.

**Burton, I., R.W. Kates and G.F. White** (1978), The Environment Hazard. New York: Oxford University Press.

**Civita, M.** (1990), Assessment of aquifer vulnerability to contamination. "Protezione e Gestione delle Acque Sotteranee Metodologie, Technologie e Obbietivi". Marano sul Panaro, v-3, p. 39-86

**De la Rosa, D., J.A. Moreno, F. Mayol, y T. Bonson** (2000), <<Assessment of soil erosion vulnerability in western Europe and potential impact on crop productivity due to loss of soil depth using the ImpelERO Model>>. Agriculture, Ecosystems and Environment, 81: 179-190.

**De los Heros, M.** (2002), Ubicación y caracterización de zonas de riesgo de incendios forestales en los Departamentos de Lambayeque y Piura. Proyecto Algarrobo – INRENA. Perú

**De Pedraza, J.** (1996), Geomorfología, principios, métodos y aplicaciones. Editorial Rueda, 413 pp.

**Derruau, M.** (1991), Geomorfología. Editorial Ariel, Barcelona, 499 pp.

**Etzeberria, Paulo, Brazaola, Adolfo y Edeso, J. Miguel** (2002), Cartografía de peligro de incendios forestales mediante Sistemas de Información Geográfica y modelos de propagación. XIV Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica. Santander, España.

**FEMA** (1997), Multihazard identification and risk assessment A Cornerstone of the national mitigation strategy, Federal Emergency Management Agency, 365 pp.

**Foster, SyR. Hirata** (1988), Determinación de riesgos de contaminación de aguas subterráneas. CEPIS, Lima, Perú.

**GEOCUBA** (2000), Mapa del relieve topográfico de Cuba a escala 1:250000. Ciudad de La Habana, Cuba.

**Griset, J., J. A. Hernández, J. Rosario, N. Ferrer, et. Al.** (2000), Suelos 500 000. Una aplicación SIG para los servicios técnicos, la investigación y la docencia especializada.

**Instituto de Meteorología** (2006), <<Datos de Precipitaciones en Cuba período 1995 2006>>, Ciudad de La Habana, Cuba. Disponible en: [www.met.in.cu](http://www.met.in.cu)

**Keller, E.** (1996), Environmental Geology. Prentice Hall, 576 pp.

**Kirby, M. J. y R. P. Morgan** (1984), Erosión de suelos. Editorial Limusa, México, 375 pp.

**Kirkby, M.J.** (1998), <<Modelling across scales: the MEDALUS family of models>>, en J.Boardman y D. T. Favis-Mortlock (eds.), Modelling soil erosion by water, NATO ASI Series I-55 Springer Berlin pp. 161 - 174.

**Lal, R.** (2000), <<Soil conservation and restoration to sequester carbon and mitigate the greenhouse effect>>, en ESSC Third Int. Cong., Valencia (España) Key Notes pp. 5-20.

**Margat, J.** (1968), Groundwater vulnerability to tamination. BRGM, 68 sgl 198, HYD, Orleans, France.

**Munich Re Group** (2003), <<Topics, Annual Review: Natural Catastrophe>>, Munich, Alemania: Disponible en [http://www.munichre.com/en/ts/geo\\_risks/default.aspx](http://www.munichre.com/en/ts/geo_risks/default.aspx).

**NCEP National Hurricane Center**, <<Tropical Prediction>>, USA. Disponible en <http://www.nhc.noaa.gov>.

**O.E.A.** (1993), Manual sobre el Manejo de Peligros Naturales en la Planificación para el desarrollo Regional Integral, Washington, D.C.

**ONU** (2005), Informe de la Conferencia Mundial sobre la reducción de desastres. Organización de Naciones Unidas, 44pp.

**PNUD** (2004), La reducción de riesgos de desastres un desafío para el desarrollo, Programa de las Naciones Unidas para el desarrollo, 157 pp.

**Porta, J., M. López – Acevedo, y C. Reguero** (1999), Edafología para la agricultura y el medio ambiente, Ediciones Mundi Prensa, 849 pp.

**Purdue University** (2005), <<AGEN 526 Glossary Erosion>>, [citado 15 junio 2002] Disponible en <http://pasture.ecn.purdue.edu/~engelb/agen526/glossary.html?erosion>.

**Salas, J. y Chuvieco, E.** (1992), ¿Dónde arderá el bosque? Previsión de incendios forestales mediante un SIG, Actas del I Congreso de los Sistemas de Información Geográfica en la Gestión territorial, pp 430 – 446, Madrid, 1996.

**Strahler, A. H., y A. Strahler** (2000), Introducing physical geography, John Wiley and Sons, 575 pp.

**UNISDR** (2004), <<Living with Risk: A Global Review of Disaster Reduction Initiatives>>, Geneva: United Nations International Strategy for Disaster Reduction (ISDR). Disponible en [http://www.unisdr.org/eng/about\\_isdr/basic\\_docs/LwR2003/lwr-](http://www.unisdr.org/eng/about_isdr/basic_docs/LwR2003/lwr-)

**Van Stempvoort, D. Ewert, L. Wassenaar** (1994), AVI: A method for groundwater protection mapping in the Prairie, Provinces of Canada, Saskatchewan.

**Vrba y Zaparozec** (1994), Guidbook on Mapping Groundwater Vulnerability, International Association of Hydrogeologists. Vol. 16. ISBN 3-922705-97-9.



# Sobre los autores

**Carlos Sacasas León:** graduado de Ingeniero Geofísico en 1972, Doctor en Ciencias Geológicas en 1982, investigador Auxiliar desde 1987 y Profesor Titular del Departamento de Geociencias – CUJAE. Especialista en investigaciones geofísicas para la geotecnia. Ha participado en estudios hidrológicos y en la evaluación de peligros naturales, riesgos y vulnerabilidad con la utilización de la tecnología SIG. Ha sido Profesor Invitado en varios países europeos y latinoamericanos.

**Damián Febles Elejaldes:** graduado de Ingeniero Geofísico en 1972, Doctor en Ciencias Geológicas en 1983, Investigador Auxiliar desde 1987 y Profesor Titular del Departamento de Geociencias – CUJAE. Especialista en campos potenciales en investigaciones geológicas. Ha participado en estudios geológicos para minerales e hidrocarburos, así como en la evaluación de peligros naturales. Ha sido Profesor Invitado en varios países latinoamericanos y africanos.

**Marina Beatriz Vega Carreño:** graduada de Ingeniera Geofísica en 1977, Máster en Geofísica Aplicada en 1995, Doctora en Ciencias Geológicas en 2006 y Profesora Titular del Departamento de Geociencias – CUJAE. Especialista en investigaciones geológicas aplicadas. Ha participado en estudios para evaluar el peligro de erosión, riesgos y vulnerabilidad con la utilización de la tecnología SIG. Ha sido Profesora Invitada en varios países europeos y latinoamericanos.

**Willy Roberto Rodríguez Miranda:** graduado de Ingeniero Geofísico en 1981, Máster en Geofísica Aplicada en 1995, Doctor en Ciencias Técnicas en 1998 y Profesor Titular del Departamento de Geociencias – CUJAE. Especialista en Geomática. Ha participado en estudios para evaluar peligros múltiples, riesgos y vulnerabilidad con la utilización de la tecnología SIG. Ha sido Profesor Invitado en varios países europeos, latinoamericanos y africanos.



**Rosa María Valcarce Ortega:** graduada de Ingeniera Geofísica en 1982, Máster en Geofísica Aplicada en 1995, Doctora en Ciencias Técnicas en 1998 y Profesora Titular del Departamento de Geociencias – CUJAE. Especialista en investigaciones geofísicas de pozos para recursos hídricos. Ha participado en estudios para evaluar la vulnerabilidad de acuíferos y en la evaluación de peligros naturales con la utilización de la tecnología SIG. Ha sido Profesora Invitada en varios países europeos y latinoamericanos.

**Orlando Carraz Hernández:** graduado de Ingeniero Geofísico en 1992, Máster en Geofísica Aplicada en 2001, Doctor en Ciencias Geológicas en 2007 y Profesor Auxiliar del Departamento de Geociencias – CUJAE. Especialista en investigaciones geofísicas para la arqueología. Ha participado en estudios para evaluar peligros naturales con la utilización de la tecnología SIG.

**José Rodríguez Pérez:** graduado de Ingeniero Geólogo en 1967, Ingeniero Geofísico en 1970, Doctor en Ciencias Geológicas en 1975 y Profesor Titular del Departamento de Geociencias – CUJAE hasta el 2005. Especialista en investigaciones geológicas aplicadas. Participo en estudios geólogo-geofísico regional y ambiental con la utilización de la tecnología SIG. Fue Profesor Invitado en varios países europeos, latinoamericanos y africanos.

**Carlos Sacasas León**

**Damián Febles Elejaldes**

**Marina Beatriz Vega Carreño**

**Willy Roberto Rodríguez Miranda**

**Rosa María Valcarce Ortega**

**Orlando Carraz Hernández**

**José Rodríguez Pérez**

**un**  
**i** Universidad  
Internacional  
de Andalucía  
**A Pr**  
**E** de estudios  
Iberoamericanos  
Grupo La Rábida  
**mio 4**  
Area  
Científico-Técnica

**Cajasol**