



UNIÓN EUROPEA



Al servicio  
de las personas  
y las naciones



# CUBA METODOLOGÍAS PARA LA DETERMINACIÓN DE RIESGOS DE DESASTRES A NIVEL TERRITORIAL

PARTE 1

### **Edición a cargo**

MSc. Juana Herminia Serrano Méndez

MSc. Ida Inés Pedroso Herrera

MSc. Osvaldo Enrique Pérez López

MSc. Sheila Silvia Chang Fentes

Ing. Ramón Omar Pérez Aragón

MSc. Elsa Lidia Fonseca Arcalla

Dr. Armando Graciano Santiago Errasti

### **PNUD/Área Riesgo y Desastre**

Rosendo Mesías González

Oficial Nacional de Programa Riesgo y Desastre

### **Coordinación**

Georgina Michelena Álvarez

### **Diseño**

Salomé García Bacallao

### **Imágenes y fotografías**

Diversas fuentes

La impresión, edición y diseño se ha realizado en el marco del Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) con recursos del Proyecto DIPECHO: Mejora del Sistema de Alerta Temprana hidrometeorológico (SAT) con el objetivo de aumentar la preparación frente a desastres y reducir la vulnerabilidad de la población viviendo en las provincias afectadas por el huracán Sandy (Cuba). La Iniciativa de Manejo de Riesgos para el Caribe (CRMI) de PNUD Regional ha colaborado en la producción de este material.

Las opiniones expresadas en esta publicación pertenecen a sus autores y autoras. No representan necesariamente aquellas de las Naciones Unidas, incluyendo al PNUD.

2014, PNUD Cuba

ISBN: 978-959-300-033-8



Grupo de Evaluación de Riesgo de la Agencia de Medio Ambiente (AMA)  
del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA)



*Al servicio  
de las personas  
y las naciones*

# CUBA METODOLOGÍAS PARA LA DETERMINACIÓN DE RIESGOS DE DESASTRES A NIVEL TERRITORIAL

PARTE 1



Olas de tres metros golpean al Malecón de La Habana

# Índice

El PNUD y la evaluación de los riesgos de desastres en Cuba	7
Introducción general	8
<b>1. Metodología para la realización de los estudios de peligro, vulnerabilidad y riesgos de desastres de inundación por intensas lluvias</b>	<b>11</b>
1.1 Materiales y métodos	12
1.2 Cálculo del peligro	14
1.3 Cálculo de la vulnerabilidad	23
1.4 Estimación del riesgo	30
Bibliografía	32
<b>2. Metodología para la realización de los estudios de peligro, vulnerabilidad y riesgos de desastres de inundaciones costeras por penetraciones del mar</b>	<b>35</b>
2.1 Materiales y métodos	36
2.2 Cálculo del peligro de inundaciones costeras	36
2.3 Cálculo de las vulnerabilidades	41
2.4 Estimación del riesgo	49
Bibliografía	51
<b>3. Metodología para la realización de los estudios de peligro, vulnerabilidad y riesgos de desastres provocados por fuertes vientos</b>	<b>56</b>
3.1 Materiales y métodos	57
3.2 Cálculo del peligro	57
3.3 Cálculo de la vulnerabilidad	59
3.4 Estimación del riesgo	63
Bibliografía	64

<b>4. Metodología para el estudio de peligro, vulnerabilidad y riesgo por intensa sequía</b>	<b>66</b>
4.1 Materiales y métodos	68
4.2 Cálculo del peligro	69
4.3 Cálculo de vulnerabilidad	80
4.4 Cálculo del riesgo	98
Bibliografía	101

### **Principales términos**

# El PNUD y la evaluación de los riesgos de desastres en Cuba

La reducción de riesgo de desastres naturales en Cuba es una prioridad. El Programa País acordado por el gobierno cubano y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo incluye en sus objetivos promover el desarrollo económico sostenible, impulsar la dinámica poblacional, la protección del medio ambiente, la adaptación al cambio climático, la seguridad alimentaria y nutricional y el enfoque de gestión del riesgo de desastres.

El Secretario General de las Naciones Unidas, Ban Ki-moon, ha exhortado a un cambio radical en las prácticas de desarrollo donde se enfatice en la prevención de desastres y en invertir en la reducción de los riesgos de desastres como método efectivo para la protección del desarrollo.

De igual manera, los Lineamientos de la Política Económica y Social de Cuba consideran importante priorizar los estudios encaminados al enfrentamiento del cambio climático y a la conservación de los recursos naturales.

Cuba, apoyada en un marco legal, a través del Sistema de la Defensa Civil ha desarrollado instrumentos y herramientas que permiten determinar el riesgo de desastres, accionar en su prevención y dar una respuesta eficaz ante los peligros naturales. La Directiva No.1, actualizada y perfeccionada en el 2010, orienta la planificación, organización y preparación del país para situaciones de desastres, establece la estrategia de la gestión de riesgos y el carácter obligatorio de los estudios de reducción de desastres, como elementos de partida para la elaboración de los planes económicos y de los proyectos de inversión en los territorios.

La Agencia de Medio Ambiente, en particular el Grupo de Evaluación de Riesgo, nos entrega con este material la gran lección de considerar los factores vulnerables en la reducción del riesgo de desastres. Como apreciará el lector, el material constituye la Metodología para la realización de los estudios de peligro, vulnerabilidad y de estimación del riesgo, confeccionada por un grupo de especialistas del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente con la participación de varias instituciones científicas del país y con la contribución y asesoramiento del Estado Mayor Nacional de la Defensa Civil. Los autores revisaron una amplia bibliografía, estudiaron documentos, sistematizaron información y conceptualizaron esta metodología que ahora llega con una utilidad y provecho, en especial para los actores y decisores locales vinculados al trabajo de prevención de riesgos de desastres.

El material presenta la información básica conceptual del cálculo del peligro, de la vulnerabilidad y la estimación del riesgo en situaciones de inundaciones por intensas lluvias, inundaciones costeras por penetración del mar, fuertes vientos e intensa sequía. Se consideraron estudios anteriores, registros históricos con su cartografía, mapas planimétricos señalizados, mapas geomorfológicos, imágenes satelitales, el empleo de sistemas de información geográficos y modelaciones numéricas y matemáticas para el trabajo de pronóstico, entre otras pericias.

Felicitemos este libro que servirá como herramienta para establecer los lineamientos metodológicos en la realización de los estudios de peligro, vulnerabilidad y riesgos de desastres en Cuba. Es muy oportuno en un momento que el mandato es avanzar con pasos sólidos hacia la búsqueda de soluciones preventivas ante el actual incremento de los desastres climatológicos y las necesidades de adaptación a los impactos del cambio climático. Confiamos que la divulgación de este material sirva a la comunidad regional y a todos los que se sumen en el esfuerzo de reducir riesgos y garantizar el bienestar de su población.

Sra. **Barbara Pesce-Monteiro**  
REPRESENTANTE RESIDENTE PNUD CUBA

## Introducción general

Cuba inició desde 1959 una labor dirigida a eliminar las causas de fondo que crean los riesgos de desastres en la sociedad, al desarrollarse un proceso revolucionario con un carácter eminentemente social. Este ha estado encaminado a elevar la calidad de vida y protección de la población cubana, mediante una distribución más equitativa de los recursos, el ejercicio del derecho a la educación, a la salud, a la cultura, al trabajo, a la seguridad social, el desarrollo científico técnico y la creación de capacidades científicas, todo lo cual ha repercutido en la mejora de las condiciones de vida y la eliminación de la pobreza extrema.

Al inicio de la década de los 60 del siglo pasado, se vislumbra una estrategia de reducción de desastres y la conformación de un sistema de defensa civil, en el que la población, el conocimiento y la adecuada coordinación y cooperación entre todos sus componentes han constituido y constituyen sus principales fortalezas. Dicha estrategia ha estado en un continuo desarrollo y perfeccionamiento considerando las nuevas exigencias, logros e insuficiencias del desarrollo económico y social, los avances en la materia y los compromisos establecidos a partir de los acuerdos internacionales para la reducción de los desastres.

En los últimos años, el incremento de la frecuencia y los impactos de los peligros de desastres están incidiendo en las condiciones de riesgos de desastres y obstaculizando el desarrollo sostenible. Entre éstos peligros se encuentran los de origen natural, fundamentalmente los hidrometeorológicos y los que se originan como consecuencia del cambio climático, ambos con efectos devastadores para la sociedad y el medio ambiente.

En todo el proceso de perfeccionamiento de la estrategia cubana para la reducción de desastres, se ha ido profundizando en el alcance de las acciones para estimar y reducir los riesgos ante los diferentes peligros que afectan al país. En ello ha tenido mucha importancia la puesta en vigor en el año 2005 de la Directiva No.1 del Presidente del Consejo de Defensa Nacional, la cual también ha sido objeto de perfeccionamiento por lo que se cuenta hoy con su tercera edición promulgada en el año 2010 y con un cuerpo legal fortalecido.

El Sistema Nacional de Defensa Civil en su accionar ha ido conceptualizando y definiendo que para reducir los desastres, se requiere:

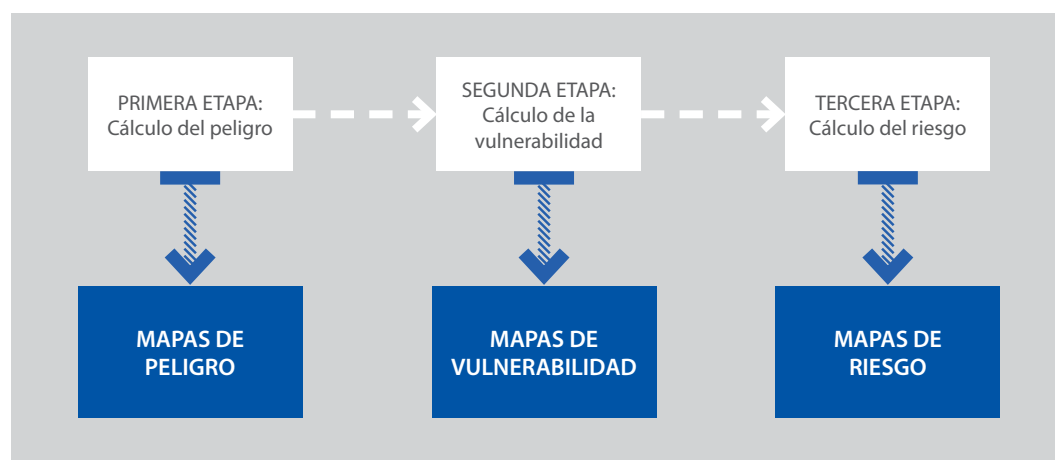
- Realizar una gestión de la reducción de riesgos de desastres, con un enfoque integrador que abarque la gestión económica, la gestión social, la gestión ambiental, y su vínculo constante con la gestión para el desarrollo sostenible de la sociedad cubana.
- Estimar los riesgos, conociendo el peligro y determinando como factor clave las vulnerabilidades.
- Jerarquizar la etapa de prevención de desastres dentro del ciclo de reducción de desastres.
- Evaluar la eficiencia de la gestión de riesgos, considerando en primer lugar el grado de protección de la población y la reducción de pérdidas económicas y los impactos negativos en el funcionamiento de la sociedad.
- Lograr en la acción una visión integradora de la reducción de desastres y el enfrentamiento al cambio climático.



Una herramienta que contribuye a la estimación del riesgo y facilita la identificación de medidas y toma de decisión para su reducción son los estudios de peligro, vulnerabilidad y riesgos de desastres, los que en Cuba son organizados y coordinados por el Grupo de Peligro, Vulnerabilidad y Riesgo de la Agencia de Medio Ambiente del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, con la participación de especialistas e instituciones científicas del país, de conjunto con el Estado Mayor Nacional de la Defensa Civil.

Estos estudios constituyen un proceso de investigación, identificación, caracterización, estimación cuantitativa y cualitativa del peligro, la vulnerabilidad de los elementos expuestos y el riesgo, y los mismos se realizan a nivel territorial con vistas a que posibiliten la gestión del riesgo. Para ello se han establecido requisitos, entre los que están: la existencia de metodologías; la utilización de Sistemas de Información Geográfico y de otras tecnologías de avanzada disponibles; basarse en un enfoque ecosistémico y realizarse por equipos de expertos multi y transdisciplinarios. Resulta una premisa que los resultados se expresen en mapas e informes elaborados con un lenguaje asequible a todos los actores sociales.

La secuencia de realización de los estudios se expresa en el esquema siguiente:



La presente publicación es un compendio de las metodologías para los estudios de peligro, vulnerabilidad y riesgo de inundaciones por intensas lluvias, inundaciones costeras por penetración del mar, fuertes vientos, sequía, y deslizamientos de tierra.

Estas metodologías son el resultado del trabajo de grupos de expertos, integrados por investigadores, especialistas y técnicos de diferentes instituciones, las cuales han sido aplicadas y validadas por grupos de trabajo territoriales. A todos ellos va dirigido nuestro reconocimiento por su calificación, profesionalidad y elevado sentido de dedicación.

Un merecido reconocimiento también al Estado Mayor Nacional de la Defensa Civil, por su contribución, asesoramiento, participación y apoyo técnico en la elaboración de las metodologías.

**MSc. Juana Herminia Serrano Méndez**  
JEFE DEL GRUPO DE EVALUACIÓN DE RIESGO, AMA



# 1. Metodología para la realización de los estudios de peligro, vulnerabilidad y riesgos de desastres de inundación por intensas lluvias

## INTRODUCCIÓN

Una inundación es la ocupación por parte del agua de zonas que habitualmente están libres de esta, bien por desbordamiento de ríos por lluvias torrenciales o por deshielo, causando grandes daños a los bienes o seres vivos que pudieran estar expuestos a las mismas. Diferentes factores climáticos y eventos hidrometeorológicos pueden provocar inundaciones, pero el hombre con el incremento de su vulnerabilidad al construir en los planos de inundación y cauces de los ríos, realizar vertimientos indiscriminados a los mismos, rellenar las redes de drenaje natural, realizar construcciones que se convierten en diques y obstaculizan el escurrimiento, entre otras ha provocado junto al aumento en la intensidad y la frecuencia de los fenómenos hidrometeorológicos, que las inundaciones sean uno de los peligros que más daños están causando a la humanidad a nivel mundial.

Las intensas lluvias, combinadas con elementos físico-geográficos del territorio como la permeabilidad del suelo y su degradación, el relieve, la vegetación y en sentido general el uso del suelo, pueden provocar inundaciones al aumentar el escurrimiento superficial de la cuenca. Estas inundaciones pueden ser pluviales y fluviales. Mientras más densa sea la red de drenaje más catastróficos pueden ser los eventos.

### OBJETIVO GENERAL:

Establecer los lineamientos metodológicos para la realización de los estudios de peligro, vulnerabilidad y riesgos de desastres de inundación por intensas lluvias.

### OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

1. Establecer los procedimientos fundamentales para recopilar y organizar la información y para realizar la investigación garantizando un nivel de medición y análisis homogéneo en todos los territorios.
2. Calcular el peligro de inundación por intensas lluvias para diferentes períodos de retorno.
3. Realizar la cartografía del peligro de inundaciones por intensas lluvias.
4. Identificar todos los elementos expuestos, calcular la vulnerabilidad y estimar el riesgo según los indicadores definidos en esta metodología con el empleo de los sistemas de información geográfica.

### ALCANCE:

Los estudios de peligro, vulnerabilidad y riesgos de desastres de inundación por intensas lluvias, parten del análisis y evaluación de las cuencas hidrográficas y sus resultados se expresan a nivel provincial, municipal y de consejo popular. La escala de trabajo será 1:25 000 o superior.

.....

Autores:

MSc. Ida Inés Pedroso Herrera,  
Agencia de Medio Ambiente,  
CITMA

Dr. Manuel Fundora Granda,  
Facultad de Ingeniería Civil,  
CUJAE

Dr. José Carlos Núñez Pradera,  
GeoCuba

Tec. Mario Guerra Oliva, Instituto de Geodesia y Astronomía

MSc. Jorge Olivera, Instituto de Oceanología

.....

## 1.1 MATERIALES Y MÉTODOS

En los estudios de peligro, vulnerabilidad y riesgos de inundación por intensas lluvias se utilizan los siguientes materiales:

- Estudios anteriores realizados en esta temática en el territorio bajo estudio
- Registro histórico de inundaciones con su cartografía
- Red de drenaje superficial con el límite de las cuencas hidrográficas
- Modelo digital de elevación del terreno (MDE)
- Mapa de agrupamiento del suelo, que incluya las propiedades de drenaje del mismo
- Mapa de procesos de degradación de los suelos que influyan en la acumulación y saturación con agua de los mismos
- Mapa geomorfológico, con la identificación de las zonas bajas del relieve
- Mapa ingeniero – geológico (si se posee, no es imprescindible)
- Mapas planimétricos de localidades y poblados expuestos en zona de peligro de inundación
- Mapa de cobertura vegetal
- Mapa de pendiente
- Mapa de subtipo de carso
- Mapa de uso de suelo
- Mapa de los depósitos no consolidados del cuaternario
- Imágenes satelitales multiespectrales para identificación de suelos humedecidos y para comprobación de resultados
- Datos y cartografía de las lluvias máximas en 24 horas, para diferentes periodos de retorno
- Mapa de viales (principales carreteras o líneas férreas) expuestas en zona de peligro de inundación
- Mapa con el límite de los municipios y los consejos populares

Los principales métodos a emplear son los siguientes:

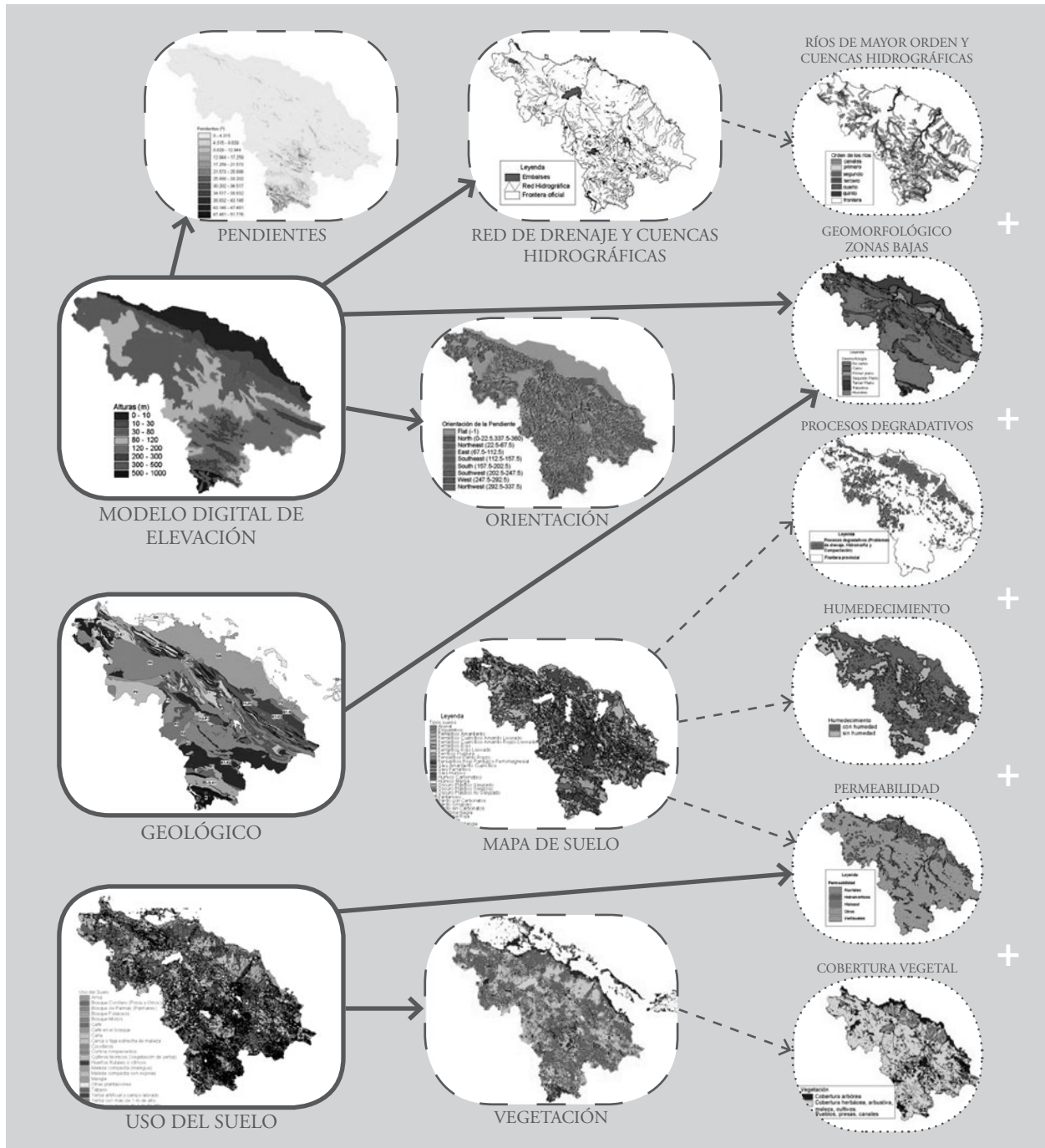
1. **Análisis bibliográfico o documental:** Consulta y análisis de bibliografía especializada, garantizando el conocimiento de los antecedentes y estado actual de la temática e identificando información que puede ser útil al trabajo que se va a desarrollar. Se recopilará la información relacionada con las zonas que históricamente se han inundado en el territorio bajo estudio, con la delimitación cartográfica del límite histórico de inundación.
2. **Trabajos de gabinete:** La información recopilada (cartográfica, numérica y literal) se analizará y se discutirá con el grupo de trabajo y expertos del territorio, la composición (multidisciplinaria y multisectorial) de este equipo es fundamental en el análisis de la información de entrada que se utilizará en el análisis, así como en sus resultados y las recomendaciones. El peligro se calculará a partir del análisis multicriterio. La vulnerabilidad se calculará por matrices a través de hojas de cálculo programadas.
3. **Trabajos de campo:** Se deben realizar verificaciones de campo o validación de los resultados.

### **Empleo de Sistemas de Información Geográfica (SIG):**

Se emplearán los SIG como una herramienta necesaria para llevar toda la información disponible a formato digital, con una base de datos geoespacial asignada para cada capa temática tratada, garantizando con esto una mayor precisión cartográfica a la hora de realizar los análisis.

Se emplearán en los cálculos con el uso del álgebra de mapas y no solo serán una herramienta de apoyo cartográfico, sino que servirán también como un instrumento de gestión y de actualización de los resultados.

En la **Figura 1.1** se muestra con el ejemplo la combinación de los principales mapas necesarios para obtener el escenario de inundación, señalándose con flechas el origen de los mapas temáticos.



**Figura 1.1:** Combinación de los principales mapas necesarios para obtener las zonas susceptibles de inundarse con el ejemplo de la provincia Villa Clara.

## 1.2 CÁLCULO DEL PELIGRO

Cuando se realiza el cálculo del peligro se está dando respuestas en términos probabilísticos a las preguntas:

### ***¿Dónde va a ocurrir el evento, cuándo y cómo?***

Para responder a la pregunta ¿dónde ocurrirá el evento? es necesario caracterizar el lugar que es susceptible de inundarse o sea obtener el mapa de escenario de peligro.

A la pregunta ¿cuándo ocurrirá el evento? se responde con la frecuencia de ocurrencia del evento o su periodo de retorno, en este caso se puede tomar la frecuencia o periodo de retorno del elemento disparador o desencadenante de la inundación que es la lluvia.

Y finalmente a la pregunta ¿cómo ocurrirá el evento? responden los valores de intensidad o severidad que se pudieran esperar de ocurrir la inundación, los cuales se generan a partir de la combinación de la severidad de la susceptibilidad ante el peligro y la intensidad de la lluvia que lo puede provocar.

### **1.2.1 DETERMINACIÓN DE LAS ZONAS SUSCEPTIBLES DE INUNDARSE O DEL ESCENARIO DE PELIGRO**

Para la obtención del escenario de peligro o zonas susceptibles de inundarse se aplica la modelación multicriterio. Los criterios recomendados son los siguientes:

#### ***– Criterios topográficos***

Como criterio topográfico, se utilizará para la delimitación de la llanura de inundación el uso del mapa hipsométrico generado a partir del modelo digital del terreno, del cual se seleccionará la cota de inundación máxima definida desde el cauce del río hasta la isolínea que identifica el máximo valor de inundación reportado históricamente.

Se considerarán además las zonas de depresiones del relieve donde existan corrientes de alimentación hídrica con pendientes bajas.

#### ***– Criterios para la consideración de la permeabilidad del suelo***

Para el análisis se consideran las capas correspondientes a los mapas de Agrupamiento del Suelo y procesos degradativos del mismo. Este incluye la cartografía de los suelos impermeables tanto en las zonas no urbanizadas como muy poco urbanizadas.

#### ***– Criterio geomorfológico***

El mapa geomorfológico, permite mediante la interpretación de las formas del relieve definir si se está en presencia de relieves carsificados o no, criterio importante a tener en cuenta ya que la inundación tiene comportamientos muy diferentes en cada caso.

Los relieves no carsificados son los más susceptibles a que en ellos ocurran inundaciones, debido a que están formados por rocas agrietadas de baja permeabilidad. En las rocas carsificadas que son altamente permeables, las inundaciones tienen menor duración porque ocurre un rápido proceso de infiltración de las aguas pluviales hacia el acuífero.

Sobre el mapa geomorfológico se distinguen las formas fluviales del relieve. En este caso las formas del lecho de los ríos, se reconocen el cauce permanente o de estiaje, el lecho aparente y los planos o llanuras de inundación, en la desembocadura de los ríos, los deltas, estuarios y marismas. Se diferencian las zonas más bajas del relieve, en el relieve carsificado las depresiones cársicas del relieve, como son las dolinas, poljes y uvalas, y en el relieve no carsificado las zonas más bajas en general, que por su morfología permiten la acumulación de las aguas. También se reconocen las formas lacustres del relieve, que son altamente susceptibles a las inundaciones debido a sus características de ser relieves bajos e impermeables.

**– Criterios para la consideración de la influencia del carso**

Se evaluará según el subtipo de carso:

- Carso cubierto por ciénagas y pantanos
- Carso cubierto por depósitos de potencia cuando hay suelos muy profundos (>100 cm y a veces de más de 10 metros de profundidad) y generalmente con suelos que no poseen asociación genética directa con las calizas
- Carso cubierto por una delgada capa de suelos
- Carso desnudo y semidesnudo

**– Criterios para la consideración de la influencia de la vegetación**

Ante los picos de avenida, con la aparición de lluvias intensas la infiltración y el escurrimiento pueden variar en dependencia de la cobertura vegetal, fundamentalmente en las franjas hidroreguladoras que se correspondan con el primer plano de inundación. Una cobertura boscosa, permitirá ante el fenómeno de intensas lluvias una acción retardante de hidrotección incluso antierosiva.

Se tomará como criterio de susceptibilidad a la inundación el tipo de cobertura vegetal (arbórea, arbustiva o herbácea) como se refleja en la **Tabla 1.1** y en el caso de los bosques se tendrá en cuenta la densidad y las principales especies que lo componen.

TABLA 1.1: CRITERIOS DE VEGETACIÓN	
Tipo de cobertura vegetal	Susceptibilidad a la inundación
Cobertura arbórea (bosques)	Menor susceptibilidad
Cobertura herbácea y arbustiva (matorrales y comunidades herbáceas secundarias) y cultivos y plantaciones frutales	Mayor susceptibilidad

Las inundaciones responden también a la orientación e inclinación de la pendiente, es decir al por ciento en que está presente la vegetación en la pendiente y a la inclinación en grados de esta, considerando que a mayor presencia de vegetación el escurrimiento superficial es menor, por lo que la posibilidad de la ocurrencia de inundaciones en las corrientes fluviales se hace también menos probable.

**– Criterios de consideración ingeniero-geológica**

El mapa ingeniero – geológico brinda información sobre el suelo, su tipo, la relación con el tipo de litología subyacente y las condiciones granulométricas y de porosidad de dichas rocas. Estos



#### **Edición a cargo**

MSc. Juana Herminia Serrano Méndez

MSc. Ida Inés Pedroso Herrera

MSc. Osvaldo Enrique Pérez López

MSc. Sheila Silvia Chang Fentes

Ing. Ramón Omar Pérez Aragón

MSc. Elsa Lidia Fonseca Arcalla

Dr. Armando Graciano Santiago Errasti

#### **PNUD/Área Riesgo y Desastre**

Rosendo Mesías González

Oficial Nacional de Programa Riesgo y Desastre

#### **Coordinación**

Georgina Michelena Álvarez

#### **Diseño**

Salomé García Bacallao

#### **Imágenes y fotografías**

Diversas fuentes

La impresión, edición y diseño se ha realizado en el marco del Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) con recursos del Proyecto DIPECHO: Mejora del Sistema de Alerta Temprana hidrometeorológico (SAT) con el objetivo de aumentar la preparación frente a desastres y reducir la vulnerabilidad de la población viviendo en las provincias afectadas por el huracán Sandy (Cuba). La Iniciativa de Manejo de Riesgos para el Caribe (CRMI) de PNUD Regional ha colaborado en la producción de este material.

Las opiniones expresadas en esta publicación pertenecen a sus autores y autoras. No representan necesariamente aquellas de las Naciones Unidas, incluyendo al PNUD.

2014, PNUD Cuba

ISBN: 978-959-300-033-8



Grupo de Evaluación de Riesgo de la Agencia de Medio Ambiente (AMA)  
del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA)



factores en conjunto caracterizan si una zona es más o menos permeable o impermeable. En resumen esto caracteriza la distribución y la duración de la inundación, el área que esta puede ocupar y el tiempo de duración en escurrir por los ríos o infiltrarse hacia el acuífero.

**– Criterio del índice de humedecimiento del suelo a partir del empleo de imágenes satelitales**

Este índice es un indicador indirecto del grado de permeabilidad que tienen los suelos. Suelos con alto índice de humedecimiento, reflejan zonas con baja permeabilidad y por tanto tienen una menor infiltración. Suelos con bajo índice de humedecimiento, presentan valores más altos de permeabilidad y por tanto de infiltración de las aguas hacia el acuífero. Este índice se interpreta mediante las facilidades que brinda la interpretación de imágenes satelitales multiespectrales, donde determinadas bandas permiten hacer este reconocimiento.

**– Criterio documental**

Comprobación mediante recorridos de campo y por registros documentales históricos, que permiten chequear los datos obtenidos a partir de la interpretación de gabinete, en este caso se realizan encuestas o se fotografían los límites alcanzados por las aguas al ocurrir una inundación. A partir de este criterio se comprueba fundamentalmente la altura alcanzada por las aguas de inundación, su distribución espacial y su comportamiento sobre la cuenca superficial afectada, definiéndose las direcciones y las áreas de origen de dichas inundaciones.

En la **Tabla 1.2** se muestra la valoración de las diferentes capas temáticas empleadas, con un valor máximo que en total suma 10 puntos. Considerando los criterios para la selección del límite máximo de inundación se debe subdividir cada una, dándole a cada subdivisión un puntaje progresivo, en dependencia de su influencia en la susceptibilidad hasta llegar al puntaje máximo que le corresponda.

TABLA 1.2: CLASIFICACIÓN DE LOS PUNTAJES SEGÚN LAS CAPAS TEMÁTICAS	
Capas temáticas	Valor máximo
Ríos de 3, 4, 5 y 6 órdenes	2,0
Geomorfología	1,7
Inclinación de la pendiente	1,2
Permeabilidad del suelo	1,7
Procesos degradativos en los suelos	1,2
Mapa de cobertura vegetal	0,6
Humedecimiento del suelo	0,6
Depósitos no consolidados del cuaternario	1,0

TABLA 1.3: CLASIFICACIÓN DE LOS PUNTAJES SEGÚN EL ORDEN DE LOS RÍOS		
Orden del río	Clasificación	Valor asignado (Puntaje)
De 6° orden	Captación	2,0
De 5° orden	Captación	1,9
De 4° orden	Captación	1,5
De 3° orden	Captación	1,0
De 1° a 2°	Escurrimiento	0,1

Formas del relieve	Valor asignado (Puntaje)
Primer plano de inundación	1,7
Zonas bajas del relieve no carsificado	1,5
Segundo plano de inundación	1,2
Tercer plano de inundación	0,5
Relieve carsificado	0,1

Formas del relieve	Valor asignado (Puntaje)
De 0 a 5	1,2
De 5 a 10	0,9
Mayores de 10	0,5

Tipos de suelos	Valor Asignado (Puntaje)
Vertisol	1,7
Hidromórfico	1,5
Fluvisol	1,0
Histosol	0,8
Otros tipos con gleysación	0,5
Otros suelos	0,2

Proceso degradativo	Valor asignado (Puntaje)
Problemas de drenaje	1,2
Hidromorfía	1,2
Compactación	0,5

Tipo de cobertura vegetal	Valor asignado (Puntaje)
Cobertura herbácea y arbustiva (matorrales y comunidades herbáceas secundarias) y cultivos y plantaciones frutales	0,6
Cobertura arbórea (bosques)	0,0

Índice de humedecimiento	Valor asignado (Puntaje)
Con humedecimiento	0,6
Sin humedecimiento	0,1

Tipo de depósitos	Valor asignado (Puntaje)
Aluviales	1,0
Palustres y lacustres	0,8

A los polígonos resultantes de la combinación y el cálculo con las capas se le realizará la clasificación según los siguientes rangos de susceptibilidad a la inundación:

- (0,1 - 3,3) **Baja**
- (3,4 - 6,6) **Media**
- (6,7 - 10) **Alta**

Los escenarios de peligro se comprueban mediante recorridos de campo y por registros documentales históricos, que permiten la comprobación de los datos obtenidos a partir de la interpretación de gabinete, en este caso se realizan encuestas o se fotografían los límites alcanzados por las aguas al ocurrir una inundación, a partir de este criterio, se comprueba fundamentalmente la altura alcanzada por las aguas de inundación, su distribución espacial y su comportamiento sobre la cuenca superficial afectada, definiéndose las direcciones y las áreas de origen de dichas inundaciones.

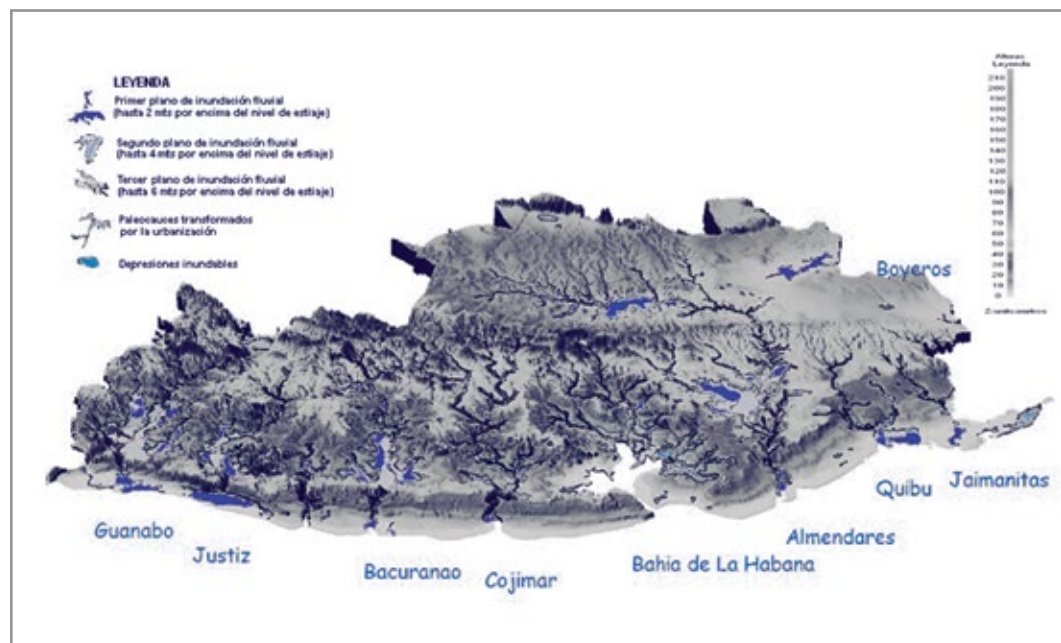


Figura 1.2: Esquema 3D del modelo digital de elevación y las áreas con susceptibilidad de inundación de La Habana.

### 1.2.2 CÁLCULO DE LA INTENSIDAD Y DEL PERIODO DE RETORNO DEL PELIGRO

Para que existan inundaciones, además de la susceptibilidad del terreno explicada en el acápite anterior, debe estar presente el factor externo lluvias.

Con estas condiciones se puede formular que la valoración de la intensidad del peligro de inundación (*PI*) combina los factores de susceptibilidad del escenario de peligro (*FS*) y el factor de disparo (*FI*), que son las intensas lluvias y queda expresado de la siguiente forma:

$$PI = f(FS, FI)$$

Donde

**PI** — intensidad del peligro de inundación por intensas lluvias

**FS** — factor de susceptibilidad (zonas susceptibles) según los rangos anteriores

**FII** — factor de disparo, dado por el nivel de lluvias máximas diarias en 24 horas

## **FII POTENCIAL DISPARADOR LLUVIA**

Para determinar el factor de disparo (**FII**) se calculan los mapas isoyéticos de lluvias máximas en 24 horas para diferentes periodos de retorno **T**.

Este factor se determina a partir del tratamiento estadístico de los datos registrados en estaciones pluviométricas ubicadas en la región de estudio y sus alrededores, tomando los valores de las precipitaciones máximas diarias en 24 horas.

Para calcular los diferentes periodos de retornos se utiliza la siguiente fórmula, según modelo de la Organización Meteorológica Mundial.

$$X_t = X_{media} + DS * K$$

Donde

**X<sub>t</sub>** — Lluvia máxima en 24 horas a caer con un periodo de recurrencia **t** en la estación pluviométrica en cuestión

**X<sub>media</sub>** — media de lluvia máxima en 24 horas caída en el pluviómetro en cuestión

**DS** — es la desviación estándar de esa media

**K** — coeficiente Tabulado en el Manual de Climatología Aplicada Pág. 130 de Felipe Fernández García

T años	K
5	0,89
10	1,58
15	1,96
20	2,30
50	3,09
100	3,73

Es decir, si se tiene una estación pluviométrica con registros de lluvias de **T años**, hay que buscar las lluvias máximas en 24 horas de todos esos años, calcular la media de esos valores y su desviación estándar, sumar la **X<sub>media</sub>** con el producto de la desviación estándar por el coeficiente **K** tabulado anteriormente, y eso permite estimar la lluvia máxima que caería en 24 horas en la estación en cuestión con un periodo de recurrencia de **T años**.

Con estos resultados se realiza para cada provincia una división en tres intervalos de lluvia, tomando un acumulado mínimo y uno máximo caído en el territorio, de manera que se pueda conformar la siguiente tabla:

TABLA 1.11: CLASIFICACIÓN DEL FACTOR LLUVIA	
Intervalos de lluvia en 24 horas (mm)	Valor Asignado
Poner el intervalo con el valor máximo de lluvia caída en el territorio como tope	4
Poner un intervalo intermedio	3
Poner el intervalo mínimo a partir de 100 mm	2

*Nota: La primera columna de la tabla se completa en dependencia de los intervalos de lluvia registrados en los diferentes territorios.*

Para la cartografía del peligro, se combinan con la ayuda del SIG, las capas de factores de susceptibilidad o escenario de ocurrencia del peligro y la capa del factor de disparo, que en este caso se corresponde con los mapas isoyéticos, se considera la lluvia máxima diaria ocurrida en 24 horas. Es decir para cada periodo de retorno se obtiene un mapa de lluvias que se hará corresponder con el escenario de ocurrencia del peligro. Se realiza la multiplicación de las capas considerando los rangos y pesos establecidos más arriba para la capa de escenario de peligro y la **Tabla 1.11** de la clasificación del Factor Lluvia. Resultando de dicha combinación, los siguientes intervalos para la clasificación de la intensidad del peligro, para los periodos de retorno correspondiente a la lluvias.

- (0,2 - 13,3) Peligro Bajo**
- (13,3 - 26,6) Peligro Medio**
- (26,6 - 40,0) Peligro Alto**



**Figura 1.3:** Avenida del río Zaza a la altura del asentamiento Zaza del Medio con las lluvias intensas del año 2002, Sancti Spíritus.

Para la comprobación de los resultados, de manera alternativa, se pueden utilizar en los puntos de cierre de las cuencas algunos métodos empíricos de trabajo que tienen como principal ventaja la exigencia de pocos datos y la facilidad de los cálculos. Los datos utilizados para su aplicación provienen de las secciones transversales documentadas en el campo y que caracterizan la morfología de los cauces. Para esto se estiman los periodos de retorno o la probabilidad de ocurrencia de las inundaciones partiendo de la hipótesis de que el conocimiento de los caudales que se producen en el área debido a las precipitaciones y de los caudales máximos que pueden transitar por el cauce dadas sus características permiten calcular en que tramos habrá inundaciones y con qué probabilidad de ocurrencia.

Este método plantea el uso de la fórmula racional para el cálculo del Gasto máximo que circula por un cauce (González, 1996):

$$Q = \frac{C * I_p * A}{3.6} * K$$

Donde

$Q$  — caudal pico en  $m^3/s$

$C$  — coeficiente de escurrimiento máximo adimensional

$I_p$  — intensidad máxima media (mm/h) para una duración igual al tiempo de concentración de la cuenca  $t_c$  (min)

$A$  — área de la cuenca en  $km^2$

$K$  — coeficiente de uniformidad (Témez, 1991)

Se calcula el tiempo de concentración de la cuenca, que significa el tiempo que demora el agua producto de las precipitaciones en correr por el cauce. Este parámetro se obtiene para definir el coeficiente de uniformidad  $K$  necesario para la aplicación de la ecuación del gasto máximo según California.

$$t_c = 5.8 \left[ \frac{(L_r)^3}{\Delta H} \right]^{0.385}$$

Donde

$t_c$  — tiempo de concentración de la cuenca (min)

$L_r$  — longitud del río principal (km)

$\Delta H$  — desnivel del río desde el nacimiento (m)

Luego se calcula el coeficiente de uniformidad ( $K$ )

$$K = 1 + \frac{t_c^{1.25}}{t_c^{1.25} + 14}$$

Donde

$t_c$  — tiempo de concentración de la cuenca

Una vez calculados estos parámetros se determina las intensidades de lluvia para los diferentes periodos de retorno o probabilidades utilizando los parámetros de las curvas que describen los pluviógrafos vecinos al área. La expresión matemática para calcular  $I_p$  se refiere a continuación:

$$I_p = \frac{A}{(t_c + B)^n}$$

Donde  $A$ ,  $B$ ,  $n$  son coeficientes

$t_c$  — tiempo de concentración de la cuenca (min)

$I_p$  — intensidad máxima media (mm/h) para una duración igual al  $t_c$  (min)

**TABLA 1.12: EJEMPLO DE PERIODOS DE RETORNO Y VALOR DE LOS COEFICIENTES PARA LAS DIFERENTES PROBABILIDADES**

Probabilidad (%)	Periodos de retorno (años)	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>n</b>
50	2	5682,1	48,5	0,99
20	5	6813,63	45,0	0,99
10	10	7486,78	43,0	1,00
4	25	8873,41	43,0	1,01
2	50	9455,71	41,5	1,01
1	100	10118,95	40,5	1,01
0.1	1000	13135,37	40,0	1,02

Los valores de los coeficientes **A**, **B** y **n** para las diferentes probabilidades se deben tomar a partir de las curvas de intensidad frecuencia duración de los pluviógrafos ubicados en el territorio bajo estudio.

Para el cálculo de la  $Q_p$  del 1% se selecciona el coeficiente de escurrimiento (**C**) a partir de la tabla de Basso (González 1996) atendiendo a como varia este coeficiente en función de la pendiente del territorio, los suelos y la vegetación. Con este coeficiente seleccionado y con **K**, **A**,  $I_p$  sustituidos en la formula racional se calcula  $Q_{1\%}$ . Luego a partir de este  $Q_{1\%}$  se calculan el resto de los  $Q_p$  aplicando las siguientes relaciones.

$$\begin{aligned}
 Q_{0,1\%} &= 2,09 * Q_{1\%} \\
 Q_{3\%} &= 0,8 * Q_{1\%} \\
 Q_{4\%} &= 0,61 * Q_{1\%} \\
 Q_{10\%} &= 0,43 * Q_{1\%} \\
 Q_{20\%} &= 0,29 * Q_{1\%} \\
 Q_{50\%} &= 0,19 * Q_{1\%}
 \end{aligned}$$

Según recomendaciones de Aleksee (1962) para Cuba, se realiza el cálculo de todos los gastos máximos probables para cada probabilidad variando  $I_p$  y el **C** para cada probabilidad de cálculo según metodología de Francis (1996).

Para conocer el volumen de agua que corre por los cauces de los ríos y compararlos con los caudales estimados según las precipitaciones que se producen en el área, se calcula el área de las secciones transversales de los ríos de acuerdo a la documentación de campo y luego se multiplican por su velocidad de flujo. Esto se expresa según (Cooke et al, 1990), Derruau 1978) como:

$$Q = V * A = V * W * H$$

Donde

**V** — velocidad de flujo (m/s)

**Q** — caudal (m<sup>3</sup>/s)

$A$  — área del cauce (m<sup>2</sup>)

$W$  — ancho del canal

$H$  — profundidad (m)

$$V = H^{0.167} * (H * Y)^{\frac{1}{2}} * \frac{1}{N}$$

Donde

$H$  — profundidad (m)

$Y$  — pendiente del tramo del río (m/m)

$N$  — coeficiente que caracteriza la rugosidad del tramo

Una vez obtenidos los caudales que originan las precipitaciones y los que pueden transitar por el valle de crecida de los ríos se comparan para concluir si ocurrirá o no inundaciones. Otro elemento es comparar el área hidráulica y el área geométrica:

- Si  $A_g > A_h$  la sección no presenta problemas por desborde.
- Si  $A_g < A_h$  la sección presenta problemas por desborde.

Para el cálculo del área geométrica, se determina el tirante de agua  $h_1$  y  $h_2$  para el área de inundación para conocer la altura de la inundación.

Se muestran a continuación en las **Figuras 1.4 y 1.5** ejemplos de mapas de peligro de inundación por intensas lluvias de una provincia y de un municipio.

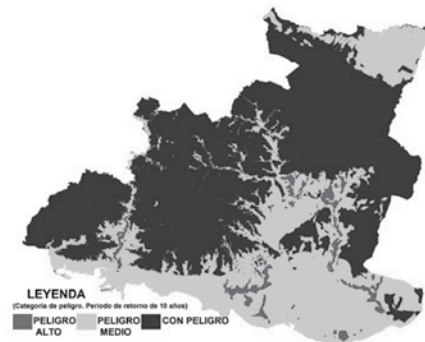


Figura 1.4: Peligro de inundación por intensas lluvias en una provincia. Periodo de retorno 10 años (150- 600 mm de lluvia en 24h)



Figura 1.5: Peligro de inundación por intensas lluvias en un municipio.

### 1.3 CÁLCULO DE LA VULNERABILIDAD

Para el cálculo de la vulnerabilidad se requiere de la compilación de información sobre los bienes, la población, los animales, los cultivos, las áreas protegidas y los ecosistemas frágiles expuestos al peligro de inundación. Es necesario el uso de información socioeconómica, agrícola y ecológica, así como información sobre las viviendas, las instalaciones críticas y las líneas vitales, expuestas en áreas con peligro de inundación. Toda la información debe estar georeferenciada para su expresión cartográfica.

La vulnerabilidad ( $V$ ) se expresará desde el punto de vista matemático como un número acotado entre cero (0) y uno (1). Esto implica que para un evento de determinada intensidad  $V$  tome el valor 0 cuando los daños son nulos y 1 cuando los daños son totales.

Los juicios de valores para la determinación de la vulnerabilidad se deben realizar en talleres por criterios de expertos y especialistas de los grupos de trabajo y los territorios, de manera multidisciplinaria y multisectorial.



Se consideran en este estudio la vulnerabilidad estructural, no estructural, funcional, social, ecológica y económica.

El cálculo se basa en el uso de matrices, con el auxilio de hojas de cálculo.

### 1.3.1 VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL

Se analizará la capacidad resistiva de las edificaciones del fondo habitacional a las fuerzas destructivas de las inundaciones.

Para el cálculo se considera el factor de daño a la edificación (***Dc***) que indica la calidad de la vivienda en función de la intensidad del peligro y los factores de ubicación.

El factor de daño ***Dc*** se podrá evaluar con diferentes gradaciones como, sin daño, con daños considerables o daños graves, dándole diferentes pesos en la ecuación general. Este factor de daño, incrementado o no por los elementos de ubicación que también tendrán un peso, sumará un valor de peso total para la vulnerabilidad estructural.

La vulnerabilidad estructural se calculará de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$Ves = Dc + \text{Factores de ubicación}$$

Donde

***Dc*** — factor de daño a las construcciones

***Factores de ubicación*** — valor que expresa la influencia de la impermeabilización o no del suelo debido a la urbanización, la influencia de la pendiente y de la cota del terreno donde se localiza la construcción, este indicador puede sumar como máximo un peso de 3

A la permeabilidad del suelo se le asignan los siguientes pesos:

Permeabilidad del suelo	Pesos
Zonas descubiertas de litología permeable	0,0
Zonas medianamente cubiertas de litología permeable	0,5
Zonas impermeables	1,0

La pendiente se refiere a la inclinación que rodea a la vivienda. Se puede tomar como referencia las pendientes del consejo popular. Si la vivienda está rodeada de pendientes altas, o si existen asentamientos en el fardo de una montaña, se afectará cuando ocurran escurrimientos rápidos.

A la influencia de la pendiente del terreno se le asigna los siguientes pesos:

Pendiente	Pesos
Baja (<10 grados)	0,0
Media (10 – 15 grados)	0,5
Alta (>15 grados)	1,0

La cota se analiza como el coeficiente dado por el porcentaje de la zona expuesta con cota por debajo de la altura media del consejo popular. A la influencia de la cota del terreno donde está ubicada la construcción se asignan los siguientes pesos:

Cota del Terreno	Pesos
Por encima de la cota media del Consejo Popular	0,0
La mitad de la cota de la zona de inundación por debajo de la cota media del Consejo Popular	0,5
Toda la cota de la zona de inundación por debajo de la cota media del Consejo Popular	1,0

$Dc_n$  se expresa según la ecuación:

$$Dc_n = \sum (f_i * p_{ji}) + AET$$

Donde

$Dc_n$  — daño potencial que pueden sufrir las construcciones de una determinada tipología, ante un evento de una determinada intensidad en un consejo popular  $n$

$f_i$  — fracción de las viviendas o instalaciones de tipología  $i$ -ésima dentro de un consejo popular

$p_{ji}$  — valor que expresa un peso de potencialidad de daño que puede sufrir la instalación de tipología  $i$ -ésima, debido a la afectación de un evento de intensidad  $j$ -ésima

$AET$  — afectación debida al estado técnico de la construcción, considerando el estado técnico predominante en el consejo popular

Para evaluar los daños a que están expuestas las construcciones, se debe distinguir un factor  $f$ , que exprese, la fracción o el por ciento de construcciones pertenecientes a una tipología determinada, del total de construcciones del consejo popular, por ejemplo, si en el consejo existe un total de 1200 construcciones y de ellas 700 son de tipología I, entonces  $fI$  es igual a 700 entre 1200,  $fI = 0,58$  o lo que es lo mismo el 58% de las viviendas del consejo popular son de tipología I.

Cuando se evalúa  $p_{ji}$  se consideran tres intervalos de intensidad de lluvias y los pesos a dar son los valores indicados en color rojo. En dependencia de la tipología constructiva y la lluvia.

Rango Lluvia (mm/24h)	TIPOLOGÍA CONSTRUCTIVA				
	I	II	III	IV	V
100 – 200	0	0	2	6	8
200-300	0	2	6	8	10
más de 300	2	6	8	10	12

Para evaluar  $AET$ :

$AET=0$  si el estado predominante en el consejo popular es bueno

$AET=2$  si el estado predominante en el consejo popular es regular

$AET=5$  si el estado predominante en el consejo popular es malo

De esta forma la vulnerabilidad estructural  $V_{es}$  suma un peso de 20.

### 1.3.2 VULNERABILIDAD NO ESTRUCTURAL



Figura 1.6: Inundaciones provocadas por el huracán IKE en el 2008, centro de Cuba.

Se evaluarán las afectaciones que pueden sufrir las líneas vitales del territorio, como carreteras, sistemas de gasificación, comunicaciones, sistema energético, torres de alta tensión y redes eléctricas soterradas, en caso de inundación, así como el estado del sistema de drenaje y las redes de alcantarillado.

Las vulnerabilidades estructural y no estructural, expresarán los factores de exposición, es decir, permitirán valorar el grado de exposición del territorio estudiado a la influencia de los peligros.

Para evaluar la vulnerabilidad no estructural  $V_{nes}$ , que puede alcanzar un valor máximo de 10 puntos se tendrán en consideración los siguientes indicadores de exposición:

TABLA 1.13: CLASIFICACIÓN DE LOS PUNTAJES SEGÚN LOS INDICADORES DE EXPOSICIÓN	
Indicador	Valor asignado (Puntaje)
Estado del drenaje y de la red de alcantarillado	5
Carreteras dañadas u obstruidas	3
Otras líneas vitales dañadas (red eléctrica, gas, comunicaciones)	2
<b>Total</b>	<b>10</b>

- Estado del drenaje y de la red de alcantarillado: Evaluar el por ciento de la red de drenaje y alcantarillado del área afectada, que se encuentra obstruida, dañada o no existe.

Estado del drenaje y de la red de alcantarillado (%)	Pesos
100% afectadas	5
50% afectadas	2,5
0% afectadas	0

- Carreteras dañadas u obstruidas: Se valora qué por ciento de las carreteras del área afectada están dañadas u obstruidas.

Carreteras dañadas u obstruidas (%)	Pesos
100% afectadas	3
50% afectadas	1,5
0% afectadas	0

- Otras líneas vitales dañadas: Se valoran las redes eléctricas soterradas, el gas y las comunicaciones.

Otras líneas vitales dañadas(%)	Pesos
100% afectadas	2
50% afectadas	1
0% afectadas	0

### 1.3.3 VULNERABILIDAD FUNCIONAL

En este análisis se estudiará la influencia de la vulnerabilidad estructural y no estructural en la estabilidad o paralización de la producción y los servicios, ante cada tipo de evento de determinada categoría, el análisis de esta vulnerabilidad permitirá ver el estado de los **factores preparativos de respuesta**.

Para evaluar la vulnerabilidad funcional  $V_f$  que en el peor de los casos hace un total de 20 puntos se sumarán los elementos preparativos de respuesta siguientes:

Indicador	Valor asignado (Puntaje)
Disponibilidad de grupos electrógenos de emergencia	4
Preparación del sistema salud para caso de desastres	4
Capacidad de albergar a los evacuados	4
Acceso a zonas aisladas	4
Reserva de suministros básicos (agua, alimentos, combustible)	4
<b>Total</b>	<b>20</b>

- Disponibilidad de los grupos electrógenos de emergencia

Disponibilidad de los grupos electrógenos de emergencia (%)	Pesos
0% de disponibilidad	4
50% disponibilidad	2
100% disponibilidad	0

- Preparación del sistema de salud para caso de desastre

Preparación del sistema de salud para caso de desastre (%)	Pesos
0% preparado	4
50% preparado	2
100% preparado	0

- Capacidad de albergamiento de evacuados

Capacidad de albergamiento de evacuados (%)	Pesos
0% albergados	4
50% albergados	2
100% albergados	0

- Acceso a zonas aisladas

Acceso a zonas aisladas (%)	Pesos
0% de acceso	4
50% de acceso	2
100% de acceso	0

- Reserva de suministros básicos (agua, alimentos, combustible)

Reserva de suministros básicos (agua, alimentos, combustible) (%)	Pesos
0% reserva	4
50% reserva	2
100% reserva	0

### 1.3.4 VULNERABILIDAD SOCIAL

Para evaluar la vulnerabilidad social  $V_s$  se consideran los **factores sociales** siguientes sumando un peso total 20 puntos:

TABLA 1.15: CLASIFICACIÓN DE LOS PUNTAJES SEGÚN LOS FACTORES SOCIALES	
Indicador	Valor asignado (Puntaje)
Afectación a la población (densidad de población)	10
Percepción del peligro por la población y los decisores	2
Presencia de barrios insalubres o precarios	2
Preparación de la población y los decisores	3
Presencia de desechos sólidos en las calles	3
<b>Total</b>	<b>20</b>

- Afectación a la población ( $AP$ )

$$AP = \text{Población afectada} / \text{población total del CP}$$

Población afectada	Pesos
< 0,25	0
0,26 – 0,50	2
0,51 – 0,75	5
0,75 – 0,90	7
1,0	10

- Percepción del peligro por la población y los decisores

Percepción del peligro por la población y los decisores	Pesos
Baja	3
Media	1,5
Alta	0,0

- Presencia de barrios insalubres o precarios

Presencia de barrios insalubres o precarios (%)	Pesos
0%	0
50%	1
100%	2

- Preparación de la población y los decisores

Preparación de la población y los decisores (%)	Pesos
0% preparados	3
50% preparados	1,5
100% preparados	0

- Presencia de desechos sólidos en las calles

Presencia de desechos sólidos en las calles (%)	Pesos
0% presencia de desechos	0
50% presencia de desechos	1
100% presencia de desechos	2

### 1.3.5 VULNERABILIDAD ECOLÓGICA

Los indicadores a evaluar son los siguientes y suman un total de 10 puntos:

- Ecosistemas frágiles o zonas ecológicamente sensibles (ZES) que pueden sufrir afectación.

Indicador	Pesos
0% dañados	0
50% dañados	2,5
100% dañados	5

- Áreas protegidas (AP) que pueden sufrir afectación.

Indicador	Pesos
0% dañadas	0
50% dañadas	2,5
100% dañadas	5

### 1.3.6 VULNERABILIDAD ECONÓMICA

Se evalúan los factores económicos teniendo en cuenta las zonas industriales, las áreas cultivadas y los animales en áreas de inundación, el nivel de ejecución del presupuesto de reducción de vulnerabilidades y que esté contabilizado el costo de la respuesta. En este caso el valor máximo total es de 20 puntos.

Indicador	Pesos
Nivel de ejecución del presupuesto de reducción	4
Zonas industriales en áreas de riesgo	4
Contabilizado el costo de la respuesta	4
Cantidad de áreas cultivadas en zona de riesgo	4
Cantidad de animales en zona de riesgo	4

Resulta finalmente la vulnerabilidad total del consejo popular ante un determinado peligro la suma de todas sus vulnerabilidades, calculadas de forma independiente, es decir:

$$V_t = V_e + V_{ne} + V_F + V_s + V_{ec} + V_{ecn}$$



**Figura 1.7:** Inundaciones provocadas por la Tormenta tropical Noel en el 2007, cuenca del río Cauto, en el oriente de Cuba.

Donde

$V_e$  — vulnerabilidad estructural

$V_{ne}$  — vulnerabilidad no estructural

$V_F$  — vulnerabilidad funcional

$V_s$  — vulnerabilidad social

$V_{ec}$  — vulnerabilidad ecológica

$V_{ecn}$  — vulnerabilidad económica

La salida cartográfica será a partir de un proyecto SIG, con atributos de clasificación, total de personas expuestas, total de viviendas expuestas, tipologías, estado de las viviendas y toda la información relacionada con cada elemento que forman parte de las diferentes vulnerabilidades.

### **Rangos de vulnerabilidad**

**(0 - 33) Vulnerabilidad Baja**

**(34 - 66) Vulnerabilidad Media**

**(67 - 100) Vulnerabilidad Alta**

Este valor se divide entre 100 para acotar el valor entre 0 y 1, y se informa en decimales.

## **1.4 ESTIMACIÓN DEL RIESGO**

El Riesgo se evalúa a partir de la ecuación:

$$R = \sum_{i=1}^n V_i * P_i$$

Donde

$R$  — riesgo de ocurrencia de la inundación

$V_i$  — vulnerabilidad total para una intensidad  $i$  del peligro

$P_i$  — Probabilidad de ocurrir un peligro de intensidad  $i$

Resultando la clasificación del riesgo según los siguientes intervalos:

**(0 - 0,33) Riesgo Bajo**  
**(0,34 - 0,66) Riesgo Medio**  
**(0,67 - 1,0) Riesgo Alto**



## BIBLIOGRAFÍA

Álvarez M.A., Montes L. y Ávila A., Estudio Nacional sobre la Diversidad Biológica de la República Cuba. Vales. Comp. 1998 Ed. CESYTA. Madrid. 464 pp. Cap. 2 pp. 174, 405.

Cuevas Ojeda J. L., B. Polo González, I. I. Pedroso Herrera, M. J. Fundora Granda, L. A. Díaz Larrinaga, J. F. Alcalde Orpí, E. Jaimez Salgado, M. Guerra Oliva, Y. González Jorge, S. Pacheco Moreno, B. E. González Raynal, J. A. García Peláez, L. D. Pérez Lara, G. Saura González, R. Osés Rodríguez y W. Hernández Viera, 2005, "Estimación y zonación de escenarios de peligros y la vulnerabilidad por procesos gravitacionales e hidrometeorológicos extremos, en el macizo montañoso de Guamuahaya, Cuba: una metodología de estimación para zonas montañosas." Memorias Electrónicas de la Primera Convención Cubana de Ciencias de la Tierra, La Habana. ISBN 959-7117-03-7- Sociedad Cubana de Geología.

Cuevas Ojeda J. L., B. Polo González, M. J. Fundora Granda, I. I. Pedroso Herrera, L. A. Díaz Larrinaga, Y. González Jorge J. F. Alcalde Orpí, E. Jaimez Salgado, 2005, SIG Riesgos Guamuahaya V1.0 Sistema de Información Geográfica de Peligro, Vulnerabilidad y Riesgos geológico geofísico y tecnológicos inducidos en el macizo montañoso Guamuahaya. Manual de usuario, Instituto de Geofísica y Astronomía. La Habana, 16 pp.

Derruau, M (1978) Geomorfología, Ed. Ariel, 528 Pags, Barcelona

EMNDC, 2005, "Directiva 1 del Vicepresidente del Consejo de Defensa Nacional para la Organización, planificación y preparación del país para las situaciones de desastres."

EMNDC, 2002, Glosario de términos de la Defensa Civil.

EMNDC, Agosto 2005, "Guía para la realización de estudios de riesgo para situaciones de desastres"

Fernández García Felipe, 1999, Manual de climatología aplicada, Clima Medio Ambiente y Planificación, Editorial Síntesis Páginas 288, ISBN: 9788477382751

Fundora G. Manuel, Ida Inés Pedroso Herrera, Lázaro Díaz L, Tomás Torres R., Bertha Elena González y otros, 2000, "Peligros, Vulnerabilidad y Riesgos Geológicos en el municipio San José de las Lajas, Provincia Habana", CD Memorias de GEOMIN 2001, IV Congreso de Geología y Minería de la SCG, marzo del 2001, Ed. CEINGEO, IGP, La Habana, Cuba.

Fundora Granda Manuel, Ida Inés Pedroso Herrera, Ismael González, Yhoama González Jorge, Mario Guerra, Efrén Jaimez, Silvestre Elier Pacheco, Bertha Elena González Raynal, Luis David Pérez, Carlos Llanes, Emigdo Suárez y Liván Hernández. Peligros, 2005, "Vulnerabilidad y Riesgos Geológicos, Geofísicos y Tecnológicos. Caso de estudio Municipio Playa". Memorias Electrónicas de la Primera Convención Cubana de Ciencias de la Tierra, La Habana. ISBN 959-7117-03-7- Sociedad

Ordaz Mario, 1996. "Algunos conceptos del análisis de riesgos". Prevención No. 14, CENAPRED.

Pedroso Herrera Ida I., Manuel J. Fundora Granda, Yhoama González Jorge, Mario Guerra Oliva., Elier S. Pacheco Moreno e Ismael González Metauten Berta Elena González Raynal), Luis D. Pérez Lara, Efrén Jaimez Salgado, 2005, "Mapas de Peligros Múltiples del Municipio Capitalino Playa".

Memorias Electrónicas de la Primera Convención Cubana de Ciencias de la Tierra, La Habana. ISBN 959-7117-03-7- Sociedad Cubana de Geología.

Pedroso Herrera Ida Inés, Manuel Fundora Granda, Ismael González Metauten, Yhoama González Jorge, Mario Guerra Oliva, Efrén Jaimez Salgado, Silvestre Elier Pacheco Moreno, Bertha Elena González Raynal, Luis David Pérez Lara, Carlos Llanes Burón, Emigdo Suárez y Liván Hernández, 2005, "Atlas Digital de Riesgos Naturales y Tecnológicos del municipio Playa, Ciudad de la Habana, Cuba". Memorias Electrónicas de la Primera Convención Cubana de Ciencias de la Tierra, La Habana. ISBN 959-7117-03-7- Sociedad Cubana de Geología.

Témez O. (1991). Extended and improved Rational Method .Proc. XXIV Congress, Madrid, España, 33 pp.

WRI, UICN y PNUMA (1992). Estrategia Global para la biodiversidad. Pautas de acción para salvar, estudiar y usar en forma sostenible y equitativa la riqueza biótica de la Tierra. 243 p.



Penetración del mar en el Malecón de La Habana, consecuencia del paso de un frente frío en 2010

## 2. Metodología para la realización de los estudios de peligro, vulnerabilidad y riesgos de desastres de inundaciones costeras por penetraciones del mar

### INTRODUCCIÓN

Los principales problemas costeros en Cuba según Alcolado (2003) se relacionan con las afectaciones a la diversidad biológica, la erosión costera, la pérdida de la calidad de las playas, la contaminación, la merma de los recursos pesqueros, formas de uso inadecuadas y el aumento del nivel medio del mar e inundaciones costeras por penetraciones del mar ante eventos hidrometeorológicos extremos.

El incremento actual de la frecuencia y la fuerza destructora de los eventos hidrometeorológicos extremos, sus principales manifestaciones destructivas que son las penetraciones del mar, las intensas lluvias, los fuertes vientos y las posibilidades de desastres tecnológicos y sanitarios, incluyendo las amenazas reales de una agresión biológica, condicionan la necesidad de perfeccionar el enfoque político, social, económico y ambiental de la gestión y manejo de riesgos y la necesidad de un estudio de riesgo en el país.

### OBJETIVO GENERAL:

Establecer los lineamientos metodológicos para la realización de los estudios de peligro, vulnerabilidad y riesgos de desastres de inundaciones costera por penetraciones del mar en todo el país.

### OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Los procedimientos fundamentales que ordenen la información, la investigación y garanticen un nivel de medición y análisis homogéneo en todos los territorios, desde nivel nacional hasta local.
- Calcular el peligro de inundaciones costeras con diferentes períodos de retorno.
- Realizar la cartografía del peligro de inundaciones costeras en SIG
- Identificar todos los elementos expuestos y determinar las vulnerabilidades según los indicadores definidos en este lineamiento con el empleo de los SIG e información de terreno.
- Obtener el riesgo de los municipios y consejos populares para su análisis y comparación con otros dentro del país y su cartografía en SIG
- Informe técnico con los resultados y salida cartográfica para cada unidad de análisis.

### ALCANCE:

Los estudios de peligro, vulnerabilidad y riesgos de desastres de inundaciones costeras por penetraciones del mar se realizan para determinar las vulnerabilidades y riesgos de los elementos expuestos ante la afectación de varios escenarios de peligro, los resultados se darán a nivel provincial con salida a nivel municipal y de consejo popular. En el caso de las inundaciones costeras se trabajará por municipios y como escala de trabajo será 1:25 000 o superior para casos de estudio de detalle.

Autores:

Dra. Yunit Juantorena Alén,  
Instituto de Meteorología  
MSc. Osvaldo Enrique Pérez  
López, Instituto de Meteorología  
Dr. Rafael Pérez Parrado, Instituto  
de Meteorología  
Dr. Isidro Salas García, Instituto  
de Meteorología

## 2.1 MATERIALES Y MÉTODOS

Para los estudios de peligro de la inundación costera se tiene en cuenta:

1. Análisis de los mapas necesarios para la realización del estudio.
2. Cálculo de los períodos de retorno de ocurrencia de estos eventos a partir de los datos históricos de viento, oleaje extremo y situaciones meteorológicas extremas que los generaron.
3. Modelación numérica de la surgencia y del oleaje y la cartografía tierra adentro.
4. Cartografía del límite máximo de la inundación costera por penetraciones del mar con el empleo de los Sistemas de Información Geográfica.
5. Análisis de los resultados de la vulnerabilidad identificados a partir de los indicadores analizados.
6. Análisis de estudios de base existentes en temáticas relacionadas con estudios de peligro, vulnerabilidad y Riesgos de la Directiva No. 1.

Mapas imprescindibles para la realización del estudio:

- Modelo Digital de Elevación del Terreno en la escala 1:25 000 o superior en formato digital (GRID) en SIG, los cuales se emplean para realizar la cartografía de las inundaciones tierra adentro ante diferentes eventos hidrometeorológicos
- Mapa o datos batimétricos del área de estudio en SIG, se emplean para la confección de la malla de cálculo del modelo de oleaje.
- Mapa de curvas de nivel y cotas de altura, los cuales se emplea para realizar correcciones al MDT en caso de ser necesario su generación por el grupo de expertos.
- Mapa Geomorfológico.
- Mapa con de línea de costa, se emplea para conocer el límite del terreno emergido.
- Mapa de bosques de mangles, se emplea para identificar aquellos lugares con la existencia de barreras protectoras contra el oleaje.
- Mapa de Agrupamiento del Suelo y procesos degradativos se emplea para conocer la capacidad de infiltración de las posibles zonas inundadas.
- Mapas de localidades y poblados para conocer que poblaciones afectadas.
- Mapa de Carreteras para identificar las vías de acceso obstruidas para los planes de evacuación.
- Mapa con el límite de los consejos populares o municipios en estudio.
- Imágenes satelitales como apoyo y comprobación de resultados.
- Estudios anteriores realizados en esta temática.
- Imágenes satelitales multiespectrales. (Landsat TM resolución 30 metros por píxel), Quickbird, Aster, Spot, GeoEye1, etc.
- Imágenes de Google Earth como apoyo en caso de no disponer de las anteriores.

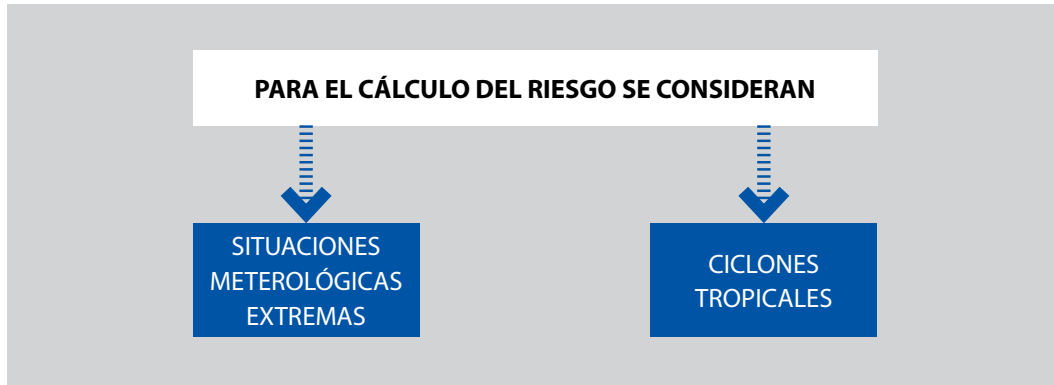
## 2.2 CÁLCULO DEL PELIGRO DE INUNDACIONES COSTERAS

Las inundaciones costeras se producen por efecto del oleaje generado por situaciones meteorológicas (frentes fríos, sudes y ciclones tropicales). Se presenta por la combinación de la sobre elevación por oleaje y la surgencia.

La inundación costera se afectará en mayor o menor medida por estos efectos en dependencia de la pendiente submarina (abrupta o suave) y la configuración de la costa (playa, acantilado o rocosa).



El cálculo se realiza por separado según como se muestra en siguiente diagrama:

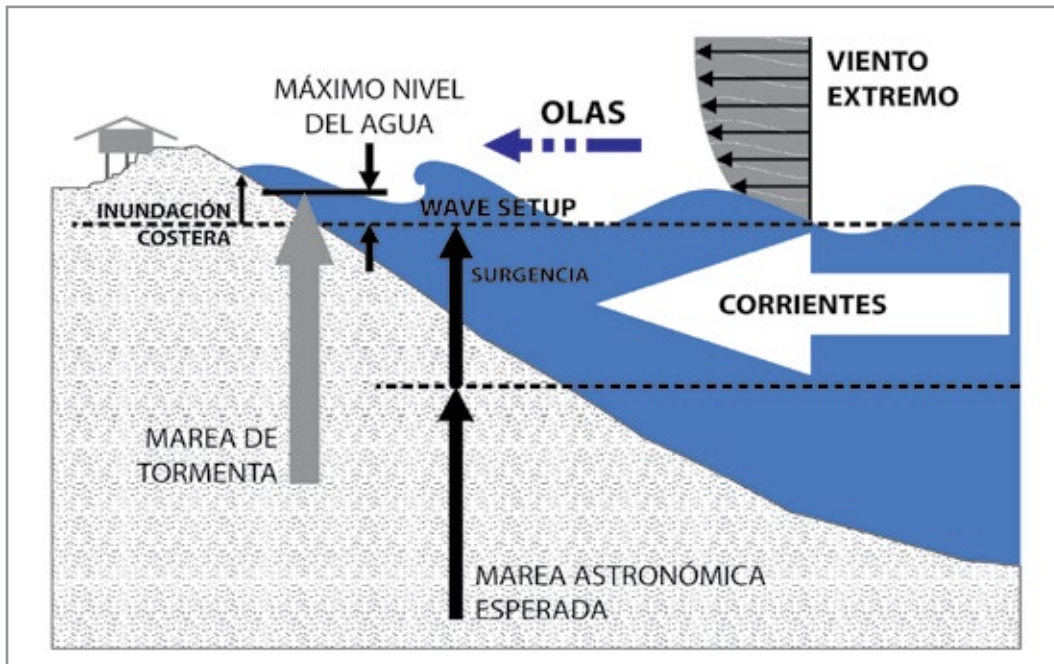


Se pueden trabajar todas las intensidades de los ciclones tropicales, desde la categoría 1 hasta la categoría 5 (según establece la Escala Saffir Simpson, así como del oleaje generado por otros eventos a partir de su simulación en tiempo real. También puede realizarse los análisis de eventos pasados y partiendo de periodos de retorno, considerando varias direcciones de afectación.

En ocasiones se enfrentan problemas para obtener la información necesaria debido a la falta de personal técnico calificado para asumir la investigación y el difícil acceso a fuentes informativas. En estos casos pueden seleccionarse determinados eventos extremos conocidos para evaluar todas las vulnerabilidades y el riesgo.

### **Modelación numérica de la surgencia**

La surgencia está constituida por una onda gravitacional larga con longitud escalar similar al tamaño del CT que la genera, con durabilidad de algunas horas y afecta como promedio 200 km



**Figura 2.1:** Componentes de la Marea de Tormenta. **Fuente:** WMO (2006) Observations and forecasts of storm tides. Workshop Topic Reports. Sixth WMO International Workshop on Tropical Cyclone (IWTC-VI). Report Series TMRP No. 72. San José, Costa Rica, 21-30 November 2006.

de costas. A su vez existe otro término asociado a la surgencia al que se le denomina marea de tormenta. Esta consiste en el efecto combinado de la surgencia, la marea astronómica y en los últimos años se ha aceptado incluir en ella los efectos de sobre elevación del nivel medio del mar por las olas rompientes en la línea costera, el cual es conocido en lengua de habla inglesa por el término “wave setup” (Wagenseil, 2000 y WMO, 2006) (**Figura 2.1**).

En la altura que alcanza la surgencia y la extensión de las inundaciones tierra adentro, desempeñan un papel fundamental: el tamaño, velocidad de traslación, los periodos de retorno de cada punto, tiempo sobre la plataforma insular o continental, ángulo de incidencia entre la trayectoria del ciclón y la costa, velocidad máxima del viento, radio de vientos máximos y presión central, además influye la batimetría, la topografía del terreno y la configuración de la costa, las construcciones y edificaciones en el litoral y la vegetación existente.

La característica espacial del fondo oceánico es en particular, el factor más importante en la amplificación de la onda de surgencia. Las mayores se originan en regiones con plataformas amplias y poco profundas, contribuyendo a ello la morfología de la costa. En este aspecto desempeña un papel muy importante el tipo de costa y su pendiente tierra adentro. Se utilizaron las bases de datos de ciclones tropicales pertenecientes al INSMET, las del Centro de Predicción Tropical del Centro Nacional de Huracanes de los Estados Unidos (1851 al 2005) (Landsea et. al., 2005) que aparecen en el sitio web <http://www.nhc.noaa.gov/pastall.shtml>, y se procesaron con los sistemas computacionales “Eye of the Storm” y “HURREVAC”.

La modelación numérica de la surgencia se realiza con el Modelo Numérico de Alta Resolución MONSAC 3.1 (Pérez Parrado et. al 2005) y su correspondiente base de datos batimétricos. El cálculo de los Regímenes Extremales se realiza por el Método de las Frecuencias Picos (Martín, et. al., 1990; Martín y Martínez, 1996), ordenando los datos en forma descendentes de acuerdo a la Escala Saffir-Simpson que norma la intensidad de los CT atendiendo a la intensidad del viento. La evaluación del peligro por surgencia se efectuó a través de la metodología planteada por Salas et. al., 1999 y 2006.

Para seleccionar las mejores familias de curvas fue utilizado el Sistema Computacional Curve-Expert (Versión 1.3). Los mejores ajustes de las curvas se obtuvieron a través del Modelo de Weibull.

### **Modelación numérica del oleaje**

Para la modelación del oleaje se emplea el modelo de tercera generación de oleaje SWAN Ciclo 3 versión 40.85 (Simulating Waves Nearshore), Booij et al. (2010). El modelo incluye los procesos de generación y disipación de la energía, generación por el viento, las interacciones no lineales, la difracción, la disipación por “white capping” y por rompiente de la ola al sentir el fondo. En los procesos de propagación se encuentran la refracción debido a la variación espacial con el fondo y las corrientes, el “shoaling” debido a la variación con el fondo y las corrientes, el bloqueo y oposición por corrientes opuestas y la reflexión contra obstáculos en puntos de la malla y la propagación a través del espacio geométrico.

En SWAN las olas están descritas con el espectro bidimensional de la densidad de acción:

$$N(\sigma, \theta) = \frac{E(\sigma, \theta)}{\sigma}$$

Donde

$\sigma$  — es la frecuencia relativa

$\theta$  — es la dirección de las olas

El espectro en este caso se representa en función de la densidad de acción mejor que en función de la densidad de energía espectral  $E(\sigma, \theta)$  pues en presencia de corrientes, la densidad de acción se conserva y la energía no. Las variables independientes son la frecuencia relativa y la dirección de la ola.

La evolución del espectro de las olas se describe por la ecuación de balance de la densidad de acción que en coordenadas cartesianas se escribe:

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} C_x N + \frac{\partial}{\partial y} C_y N + \frac{\partial}{\partial \sigma} C_\sigma + \frac{\partial}{\partial \theta} C_\theta N = \frac{S}{\sigma}$$

Donde

$\frac{\partial}{\partial t} N$  — es la razón de cambio local de la densidad de acción en el tiempo

$\frac{\partial}{\partial x} C_x N$   $\wedge$   $\frac{\partial}{\partial y} C_y N$  — representan la propagación de la acción en el espacio geográfico con velocidad de propagación  $C_x$  y  $C_y$  en el espacio  $X$  y  $Y$  respectivamente.

$\frac{\partial}{\partial \sigma} C_\sigma N$  — es el cambio de la frecuencia relativa debido a la variación en la profundidad y la corriente, con velocidad de propagación  $C_\sigma$  en el espacio  $\sigma$

$\frac{\partial}{\partial \theta} C_\theta N$  — es la refracción por la profundidad y la corriente con velocidad de propagación  $C_\theta$  en el espacio  $\theta$

$S = S(\sigma, \theta)$  — son los términos fuentes que incluye la generación, disipación y las interacciones no lineales.

El espacio geográfico está discretizado con una rejilla rectangular con resoluciones constantes  $\Delta X$  y  $\Delta Y$  en las direcciones  $X$  y  $Y$  respectivamente. Las resoluciones varían en dependencia del área de trabajo. El espectro, en el modelo, está discretizado con una resolución constante en las direcciones y una resolución constante de la frecuencia relativa  $\Delta\sigma/\sigma$ . Por razones de tiempo consideramos la opción de hacer el cálculo solamente en aquellas componentes de las olas que viajen en una dirección predefinida  $\theta_{min} < \theta < \theta_{max}$ . Las frecuencias discretas están definidas entre un corte fijo de bajas frecuencias y uno de altas frecuencias, por debajo del límite de las bajas frecuencias la densidad espectral se considera 0. En el límite de las altas frecuencias se adiciona un diagnóstico de  $f^m$  para la cola del espectro, en SWAN  $m$  es 4 o 5 en dependencia de la formulación de la entrada del viento en los términos fuentes de la ecuación de balance que se emplee, en nuestro caso  $m = 5$  pues se emplea la formulación de Janssen (1991 a) como en el modelo WAM ciclo4 (Booij et al. 2004). La razón por la que se emplea una frecuencia de corte fija para las altas frecuencias, mejor que una frecuencia de corte dinámica que depende de la velocidad del viento o de la frecuencia media, como se hace en WAM o WAVEWATCH III, es que en aguas



costeras el oleaje combinado puede tener frecuencias muy diferentes, además cerca de la costa un viento local puede generar oleaje muy joven sin relación alguna con el oleaje de leva, en tales casos la frecuencia dinámica de corte puede ser baja para tener en cuenta las características del oleaje locamente generado.

Se utilizan varios programas confeccionados para este trabajo en MATLAB, para agilizar la generación de los inputs de entrada al modelo, apoyándose con el uso de los Sistemas de Información Geográfica, la altura de la ola en la costa y el periodo que se obtienen del modelo SWAN, el cual puede operarse en modo estacionario y no estacionario.

La preparación, revisión, interpolación y procesamiento de los datos batimétricos se realiza mediante el empleo del Sistema de Información Geográfico Mapinfo versión 10.5. Con la herramienta Vertical Mapper 3.1.1 se preparan los datos de batimetría en forma de malla regular con una resolución espacial definida por el grupo de trabajo en dependencia de la densidad y calidad de los datos disponibles para hacer el estudio; puede diseñarse desde 5 metros hasta kilómetros. También puede emplearse mallas batimétricas no estructuradas a partir de agilizar el procesamiento del modelo.

Para determinar la altura y el periodo de retorno del oleaje se emplea la metodología empleada en Pérez et, al. (1994). Estos autores desarrollaron diversas curvas que permiten calcular para cada evento el periodo de retorno, las características de las olas en aguas profundas y el viento, partiendo de todo un análisis y procesamiento estadístico y los registros existentes, con el apoyo de información de boyas, de satélite o registro de sensores existentes en la costa, utilizándose como datos de entrada al modelo y realizar la transformación del oleaje desde aguas profundas hasta su llegada a la costa.

Para el cálculo del oleaje en la frontera se utilizó el espectro de JONSWAP, de modo que el espectro direccional de olas de viento en cada punto estará determinado por la expresión: (Juantorena, 2001, Juantorena et al. 2004)

$$E(f, \theta) = E(f)D(f, \theta)$$

El espectro de frecuencias se expresa:

$$E(f) = \alpha g^2 (2\pi)^{-4} f^{-5} \exp\left\{\left(-\frac{5}{4}\left(\frac{f}{f_m}\right)^{-4}\right)\right\} + \ln \gamma \exp\left\{-\frac{(f - f_m)^2}{2\sigma^2 f_m^2}\right\}$$

y para la distribución angular de energía se emplea la expresión:

$$D(f, \theta) = \begin{cases} \frac{2}{9} \pi \cos^n(\theta - \phi) & \text{para } |\theta - \phi| \leq \pm \frac{\pi}{2} \\ 0 & \text{para el resto} \end{cases}$$

Donde  $\sigma$  — es el ancho del pico e igual a  $\sigma = \sigma_a = 0.07$  para  $f \leq f_p$  y  $\sigma = \sigma_b = 0.07$  para  $f > f_p$ ,  $\gamma$  es el factor de ensanchamiento del pico,  $g$  es la aceleración de la gravedad,  $\theta$  es la dirección de propagación de las olas y  $\phi$  es la dirección del viento.

La modelación del oleaje para los frentes fríos y otros organismos como bajas extratropicales en todo el territorio se realizó por tramos costeros a diferencia de la surgencia que fue de forma puntual, debido a la existencia de varios rumbos de oleaje y las particularidades de la costa, realizándose la cartografía a la dirección del oleaje que más altura de ola y sobreelevación producía.

La sobreelevación del oleaje asociado a eventos meteorológicos extremos es un proceso que se produce por el incremento del nivel del mar por efecto de la transferencia del momento de la ola a la columna de agua durante el rompiente de la ola. Cuando las olas se aproximan a la costa, ellas transportan energía y momentum en la dirección de las olas. En la rompiente las olas se disipan, sin embargo el momento nunca se disipa, sino que se transfiere a la columna de agua. De esta forma se produce un gradiente en la superficie de agua que permite balancear la componente hacia la costa el flujo de momento desde la zona de rompiente hasta la línea de costa.

## 2.3 CÁLCULO DE LAS VULNERABILIDADES

### 2.3.1 VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL

Se analiza la capacidad resistiva de las edificaciones del fondo habitacional a las fuerzas destructivas de las diferentes inundaciones, para esto se considerará la tipología constructiva, el estado técnico y altura de las mismas y el tipo de suelo en dependencia del escenario de peligro.

Se utiliza la clasificación por Tipología Constructiva de la Dirección de Arquitectura y Urbanismo (DAU), que divide las edificaciones según las características constructivas de los elementos que las componen (paredes, techo, pisos, etc.) en cinco categorías (Manual del Programa para el Desarrollo Tecnológico de la Vivienda, 1998 - 2000).

Los daños sufridos por las viviendas o por las instalaciones en general, dependerán del tipo de peligro, esto se expresa con el factor  $D_c$  o coeficiente de daño a las construcciones. Este coeficiente indica el grado de daño, que pueden sufrir las edificaciones, considerando la calidad de la vivienda o de la construcción en general (tipología y estado técnico) y la intensidad del peligro. Se clasifica con diferentes gradaciones: sin daño, con daños considerables o daños graves, dándole diferentes pesos en la ecuación general. El factor de daño, incrementado o no por los elementos de localización que también tienen un peso, sumará un valor total para la vulnerabilidad estructural. Los edificios administrativos, de servicios, de industrias, de almacenes y otros objetivos de riesgo de accidentes, así como los que juegan un papel principal en la satisfacción de las necesidades básicas de la población durante la respuesta al desastre, como hospitales, policlínicos, centros de elaboración y otras instalaciones críticas se analizan solo teniendo en cuenta si están presentes en el área de peligro.

#### ***Vulnerabilidad Estructural (Peso Total 20)***

$$V_e = D_c + F_c$$

Donde

$V_e$  — vulnerabilidad estructural

$F_c$  — factor de ubicación que señala la impermeabilización o no del suelo debido a la urbanización, la influencia de la pendiente y de la cota donde se localiza la construcción, la ubicación de las casas con respecto a la costa para considerar el efecto del oleaje y del paso veloz del agua.

A la permeabilidad del suelo se le asignan los siguientes pesos:

Permeabilidad del suelo	Pesos
Zonas cubiertas de litología permeable	0
Zonas medianamente cubiertas de litología permeable	0,5
Zonas impermeables	1

A la influencia de la pendiente del terreno se le asigna los siguientes pesos:

Pendiente	Pesos
Baja (<10 grados)	1
Media (10 – 15 grados)	0,5
Alta (>15 grados)	0

La cota se analiza como el coeficiente dado por el porcentaje de la zona inundada con cota por debajo de la altura media del municipio. A la influencia de la cota del terreno donde está ubicada la construcción se asignan los siguientes pesos:

Cota del Terreno	Pesos
Por encima de la cota media del Municipio	0
La mitad de la cota de la zona inundada por debajo de la cota media del Municipio	0,5
Toda la cota de la zona inundada por debajo de la cota media del Municipio	1

**Factores de ubicación**, es un valor que expresa la influencia de la impermeabilización o no del suelo debido a la urbanización, la influencia de la pendiente y de la cota del terreno donde se localiza la construcción, este indicador puede sumar como máximo un peso de 3.

$Dc_n$  se expresa según la ecuación:

$$Dc_n = \sum (f_i * p_{ji}) + AET$$

Donde

$Dc_n$  — daño potencial que pueden sufrir las construcciones de una determinada tipología, ante un evento de una determinada intensidad en un consejo popular  $n$

$f_i$  — fracción de las viviendas o instalaciones de tipología  $i$ -ésima dentro de un consejo popular

$p_{ji}$  — valor que expresa un peso de potencialidad de daño que puede sufrir la instalación de tipología  $i$ -ésima, debido a la afectación de un evento de intensidad  $j$ -ésima

$AET$  — afectación debida al estado técnico de la construcción, considerando el estado técnico predominante en el consejo popular

Para evaluar los daños a que están expuestas las construcciones, se debe distinguir un factor  $f$ , que exprese, la fracción o el por ciento de construcciones pertenecientes a una tipología determinada, del total de construcciones del consejo popular, por ejemplo, si en el consejo existe un total de 1200 construcciones y de ellas 700 son de tipología I, entonces  $fI$  es igual a 700 entre 1200,  $fI = 0,58$  o lo que es lo mismo el 58% de las viviendas del consejo popular son de tipología I.

Cuando se evalúa  $P_{ji}$  se consideran tres intervalos de intensidad de lluvias y los pesos a dar son los valores indicados en color rojo. En dependencia de la tipología constructiva y la lluvia. En la siguiente tabla se presentan las características de las tipologías de las edificaciones.

### TIPOLOGÍAS DE LAS EDIFICACIONES

Tipo	Paredes	Techo
I	Paneles prefabricados de hormigón, armado o no, bloques de hormigón, ladrillos de barro cocido, sillería, mampostería.	Losa de hormigón armado fundida in situ, losas prefabricadas de hormigón armado, viguetas de hormigón armado con bovedillas de hormigón o barro cocido.
II	Bloques de hormigón, ladrillos de barro cocido, sillería, mampostería, bloques o ladrillos prensados de suelos estabilizados, tapial, canto.	Viguetas de hormigón armado con losas planas o abovedadas de hormigón, barro cocido, suelos estabilizados, cantos, ferrocemento, etc.
III	Bloques de hormigón, ladrillos de barro cocido, sillería, mampostería, bloques o ladrillos prensados de suelos estabilizados, canto, tapial, apisonado, adobes, madera dura o madera preciosa.	Viguetas de hormigón armado, metálicas o de madera aserrada, cubiertas de tejas de barro, de planchas metálicas, asbesto cemento o mortero vibrado (tevi).
IV	Bloques o ladrillos prensados de suelos estabilizados, mampuesto, canto, tapial, adobes, embarrado.	Viguetas de madera aserrada o rolliza, cubiertas de planchas metálicas conformadas o de fibrocemento
V	Madera aserrada o tabla de palma.	Soportaría de madera rolliza, cubiertas de guano, tejas de cartón asfáltico, papel embreado.

A la ubicación de las casas con respecto a la costa se le van a asignar los siguientes pesos:

Ubicación de las casas	Tipo de Afectación	Pesos
En la primera línea de la costa	Afectación directa del oleaje	2
Casas en la primera manzana con respecto a la costa	Afectación por el paso veloz del agua de mar	1
Casas ubicadas en el área de inundación pero más allá de la primera manzana.	Afectación por la permanencia del agua en el terreno	0,5
Casas ubicadas fuera del área de inundación	No se afecta por la inundación	0

$D_c$  — factor de daño a las inundaciones costeras

$$D_C = \sum_i^n n_i D_j + ETC$$

Donde

$i$  — índice de la tipología

$TC$  — cantidad total de tipología constructiva, de acuerdo a 5 tipologías constructivas dentro de las zonas inundadas

$n_i$  — factor de la vivienda de tipología  $i$ -ésima dentro de las zonas inundadas

$D_{ji}$  — peso del daño que puede sufrir la instalación de tipología  $i$ -ésima para una afectación de evento de intensidad  $j$ -ésima

$ETC$  — estado técnico constructivo

- Para el estado técnico constructivo se van a considerar los siguientes pesos:

Estado técnico	Peso
Malo	5
Regular	2,5
Bueno	0

- Para el grado de daños que puede sufrir una instalación se van a considerar los siguientes pesos:

Daño de la instalación	Peso
Sin daños	0,0
Daños ligeros	2,5
Daños moderados	5,0
Daños considerables pero reparables	7,5
Daños graves irreparables	10,0

### 2.3.2 VULNERABILIDAD NO ESTRUCTURAL

Se evalúan las afectaciones que pueden sufrir las líneas vitales del territorio, como carreteras, sistemas de gasificación, comunicaciones, sistema energético, torres de alta tensión y redes eléctricas (incluidas las soterradas, en caso de inundación) así como el estado del sistema de drenaje y las redes de alcantarillado. Las vulnerabilidades estructural y no estructural, expresan los factores de exposición, es decir, se valora el grado de exposición del territorio estudiado a la influencia de los peligros.

#### **Vulnerabilidad no estructural (Peso total 10)**

Se tiene en cuenta los siguientes indicadores y pesos:

- Infraestructura del transporte: Se valoran el % de las carreteras situadas en las zonas inundadas que están dañadas u obstruidas.

Afectación de las vías de transporte	Pesos
100% afectadas	3
50% afectadas	1,5
0% afectadas	0

- Sistema de Acueducto: Se valora qué por ciento del Sistema de Acueducto de las zonas inundadas tiene falla en su funcionamiento por la contaminación (cisternas)

Afectación al sistema de acueductos	Pesos
100% afectadas	2
50% afectadas	1
0% afectadas	0

- Sistema de alcantarillado: Se valora la inutilización de los drenes en las zonas inundadas.

Afectación al sistema de alcantarillado	Pesos
100% afectadas	3
50% afectadas	1,5
0% afectadas	0

- Otras líneas vitales dañadas: Se valoran las redes eléctricas soterradas, el gas y las comunicaciones

Afectación a las líneas vitales	Pesos
100% afectadas	2
50% afectadas	1
0% afectadas	0

### 2.3.3 VULNERABILIDAD FUNCIONAL

En este análisis se estudia la influencia de la vulnerabilidad estructural y no estructural en la estabilidad o paralización de la producción y los servicios, ante cada tipo de evento de determinada categoría. El análisis de esta vulnerabilidad permite ver el estado de los factores preparativos de la respuesta, a partir de la disponibilidad de grupos electrógenos de emergencia, la preparación del sistema de salud para caso de desastres, la capacidad de albergamiento de evacuados y certificación de las instalaciones, el acceso a zonas aisladas, la reserva de suministros básicos (agua, alimentos, combustibles, medicamentos) y otros.

#### ***Vulnerabilidad funcional (Peso total 20)***

- Disponibilidad de los grupos electrógenos de emergencia

Indicador	Pesos
0% de disponibilidad	4
50% disponibilidad	2
100% disponibilidad	0

- Preparación del sistema de salud para caso de desastre

Indicador	Pesos
0% preparado	4
50% preparado	2
100% preparado	0

- Capacidad de albergamiento de evacuados

Indicador	Pesos
0% albergados	4
50% albergados	2
100% albergados	0

- Acceso a zonas aisladas

Indicador	Pesos
0% de acceso	4
50% de acceso	2
100% de acceso	0

- Reserva de suministros básicos (agua, alimentos, combustible)

Indicador	Pesos
0% reserva	4
50% reserva	2
100% reserva	0

#### 2.3.4 VULNERABILIDAD SOCIAL

Se valorará el grado en que los factores sociales puedan incrementar la vulnerabilidad. Se evaluará el total de población expuesta, densidad de población o afectación a la población ( $AP$ ), percepción del riesgo y grado de preparación, presencia de desechos sólidos en las calles y la preparación de los órganos de dirección.

##### **Vulnerabilidad Social (Peso total 20)**

- Afectación a la población ( $AP$ ).

$$AP = \frac{DPCP}{DMM}$$

Donde  $DPCP$  — es la densidad de población de las zonas inundadas.

$$DPCP = \frac{Población}{Área}$$

$DMM$  — Es la densidad media de población del municipio.

Densidad de población afectada	Pesos
< 0,25	0
0,26 – 0,5	2,5
0,51 – 0,75	5,0
0,76 – 1,0	7,5
> 1,0	10,0

- Percepción del riesgo por la población

Indicador	Pesos
Baja	3,0
Media	1,5
Alta	0

- Preparación de la población

Indicador	Pesos
0% preparados	3
50% preparados	1,5
100% preparados	0

- Presencia de barrios insalubres

Indicador	Pesos
0% presencia	0
50% presencia	1
100% presencia	2

- Presencia de desechos sólidos en las calles

Indicador	Pesos
0% preparados	2
50% preparados	1
100% preparados	0

### 2.3.5 VULNERABILIDAD ECOLÓGICA

Se debe considerar la exposición en zonas de peligro potencial de: Ecosistemas frágiles o zonas ecológicamente sensibles y Áreas protegidas. Las zonas ecológicamente sensibles son seleccionadas según la Guía para la confección de Estudios Nacionales de Biodiversidad y adaptada para Cuba por Rodríguez y Priego, PNUMA, 1998.

#### ***Vulnerabilidad Ecológica (Peso Total 10)***

- Ecosistemas frágiles o zonas ecológicamente sensibles.

Indicador	Pesos
0% dañados	0
50% dañados	2,5
100% dañados	5



- Áreas Protegidas

Indicador	Pesos
0% dañadas	0
50% dañadas	2,5
100% dañadas	5

### 2.3.6 VULNERABILIDAD ECONÓMICA

Se evalúan los factores económicos teniendo en cuenta las zonas industriales en áreas de riesgo, la cantidad de áreas cultivadas y animales en zonas de riesgo, el nivel de ejecución del presupuesto de reducción de vulnerabilidades, que esté contabilizado el costo de la respuesta y esté refrendado con medidas concretas en el Plan de Reducción de Desastres.

La vulnerabilidad se expresa mediante funciones matemáticas o matrices. Las matrices se desarrollan en hojas de cálculo de Microsoft Excel, cada vulnerabilidad debe ser una hoja, que forme parte del libro de Excel que suma la vulnerabilidad total por consejos populares, para un municipio dado (se anexa un modelo matemático para los cálculos de la vulnerabilidad). La vulnerabilidad se considerará solo para los bienes (instalaciones críticas, áreas residenciales, líneas vitales) o personas, expuesto en áreas de peligro.

#### **Vulnerabilidad Económica (Peso Total 20)**

Indicador	Pesos
Nivel de ejecución del presupuesto de reducción	0-4
Zonas industriales en áreas de riesgo	0-4
Contabilizado el costo de la respuesta	0-4
Cantidad de áreas cultivadas en zona de riesgo	0-4
Cantidad de animales en zona de riesgo	0-4

### 2.3.7 VULNERABILIDAD TOTAL

La cartografía de las vulnerabilidades se realiza con ayuda de un sistema de información geográfica. La vulnerabilidad total ( $V_t$ ) del consejo popular, municipio o área de análisis ante un determinado peligro, es la suma de todos los subtipos de vulnerabilidades, calculadas de forma independiente:

$$V_t = V_e + V_{ne} + V_F + V_s + V_{ec} + V_{ecn}$$

Donde

$V_e$  — vulnerabilidad estructural

$V_{ne}$  — vulnerabilidad no estructural

$V_F$  — vulnerabilidad funcional

$V_s$  — vulnerabilidad social

$V_{ec}$  — vulnerabilidad ecológica

$V_{ecn}$  — vulnerabilidad económica

La salida cartográfica será a partir de un SIG, con atributos de clasificación, total de personas expuestas, total de viviendas expuestas, tipologías, estado de las viviendas y toda la información relacionada con cada elemento e indicador que forman parte de las diferentes vulnerabilidades.

Se clasifica en vulnerabilidad alta (color rojo), vulnerabilidad media (color amarillo) y con vulnerabilidad (color verde). El valor total de la vulnerabilidad se divide entre 100 para obtener los rangos de intervalos siguientes:

- (0 - 33) Con Vulnerabilidad**
- (34 - 66) Vulnerabilidad Media**
- (67 - 100) Vulnerabilidad Alta**

## 2.4 ESTIMACIÓN DEL RIESGO

El riesgo total se evalúa a partir del valor del peligro ( $P$ ) de que ocurra un evento potencialmente dañino con determinada intensidad por la vulnerabilidad total ( $Vt$ ) y por el costo de los bienes expuestos. En el caso de no estar disponible el costo de los diferentes bienes expuestos, se puede calcular el Riesgo Específico multiplicando el peligro mencionado anteriormente por la vulnerabilidad, siendo este último el implementado en todo el territorio.

$$R = C \sum_{i=1}^n V_i * P_i$$

$$R = \sum_{i=1}^n V_i * P_i$$

Para realizar la comparación del riesgo entre los consejos populares estudiados de cada municipio o provincia, se considera el máximo valor de riesgo obtenido dentro de todos los consejos analizados para una misma intensidad del peligro, el mayor para establecer el rango y el desglose en riesgo alto, medio y con riesgo.

Ejemplo hipotético del valor de riesgo obtenido en los consejos populares de un municipio:

CP Los Arabos	0,1741
CP Cañitas	0,0091
CP Cantel	0,1623
CP Cárdenas	0,1705
CP Marabú	0,0689
CP Fundación	0,0895
CP Playa	0,1326
CP Marina	0,0662

Se toma el mayor valor de riesgo de todos los obtenidos (0,1741), se divide entre 3 y se obtiene 0,058 con el cual se establece el intervalo para la clasificación del riesgo.

**(0 - 0,058) Con Riesgo**  
**(0,059 - 0,117) Riesgo Medio**  
**(0,118 - 0,1741) Riesgo Alto**

Este procedimiento se realiza para cada intensidad de peligro analizada.

## BIBLIOGRAFÍA

Alcolado P. (2003): Necesidad y características del Manejo Integrado Costero. El caso de estudio Sabana Camagüey. En: Taller de capacidad 21. Experiencias y lecciones aprendidas en del Proyecto PNUD/GEF Sabana Camagüey.

Berkhoff, J. C. W. (1976). Mathematical models for simple harmonic linear water waves wave refraction and diffraction. Nenderland: Publ. 163, Delft Hydraulics Laboratory.

Berkhoff, J. C. W., Booij, N., y Radder, R. C. (1982). Verification of numerical wave propagation models for simple harmonic linear waves. Coastal Engineering, 6, 255-279.

Booij, N., Ris, R. C., y Holthuijsen, L. H. (1999). A third-generation wave model for coastal regions, part i: Model description and validation. J. Geophys. Res., 104 (1), 7649-7666.

Casals, T. R. (2001): Los procesos de transformación del oleaje e incremento del nivel medio del mar en Cayo Largo del Sur, Archipiélago de Los Canarreos. Tesis de Maestría en Meteorología. INSMET. Cuba. 55 pp.

Coastal Engineering Manual, 2006. (U.S. Army. Corps of Engineers. 2002. Coastal Engineering Manual, Engineer Manual 1110-2-1100, U.S. Army. Corps of Engineers, Washington D.C. (in 6 volumes).

Conner, W. C., R. H. Kraft y D. L. Harris (1957): Empirical Methods for Forecasting the Maximum Storm Tide Due to Hurricanes and Other Tropical storm, M.W.R., V. 85, No. 4 pp. 113-116

Díaz, L.; I. Mitrani; P.J. Pérez (1988). Determinación del oleaje característico de fenómenos que han producido penetraciones del mar en la costa norte de La Habana. Tesis de Diploma, Facultad de Geografía, Universidad de La Habana, 53 pp. ICH (1989). Derrotero de las costas de Cuba. Región marítima del norte, Tomo I. 326 pp.

Dingemans, M. W., Radder, A., y Vriend, H. J. de. (1987). Computations of the driving force of water-induced current. Coastal Eng. Manual. (11), 539-563.

Directiva 1 del Vicepresidente del Consejo de Defensa Nacional para la Organización, planificación y preparación del país para las situaciones de desastres. EMNDC, junio de 2005

Dunn, R. L. y B. I. Miller (1969): Atlantic Hurricane. Ed. Instituto del Libro, C. de La Habana, Cuba. 179 pp.

Eye of the Storm (2003): Sistema Computacional para la visualización de la base de datos de ciclones tropicales (DEMO). The Atlantic Hurricane Database Re-analysis Project Documentation. NOAA/Hurricane Research Division, Miami, Florida. Sitio Web <http://www.starstonesoftware.com/>.

Fundora G. Manuel, Ida Inés Pedroso Herrera, Lázaro Díaz L, Tomás Torres R., Bertha Elena González y otros, 2000, "Peligros, Vulnerabilidad y Riesgos Geológicos en el municipio San José de las Lajas, Provincia Habana", CD Memorias de GEOMIN 2001, IV Congreso de Geología y Minería de la SCG, marzo del 2001, Ed. CEINGEO, IGP, La Habana, Cuba.

García, O. (1998): Modelo Dinámico para pronosticar la Surgencia provocada por los ciclones tropicales en las costas de Cuba. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Meteorológicas. INSMET. La Habana, Cuba. 73 pp.

García, O. y R. Pérez Parrado (1996): Modelación numérica de la surgencia provocada por los huracanes en los alrededores de Cuba. Segunda versión. MONSAC2. En el BSMC, V. 2, No. 1, Julio de 1996.

Glosario de términos de la Defensa Civil. EMNDC, 2002.

Guía para la realización de estudios de riesgo para situaciones de desastres EMNDC Agosto 2005

Hoover, R. A. (1957): Empirical relationships of the central pressures in hurricanes to the maximum surge and storm tide. M. W. R., V. 85, No. 5, pp. 167-174.

Juantorena, Y., P.J. Pérez (2004). Caracterización de la ocurrencia de las inundaciones costeras en la costa norte de Ciudad de La Habana. Informe Científico – Técnico, 55 pp.

Juantorena Alén, Y. y P. Beauballet (1996): Método de cálculo para la predicción del mar de leva. Departamento de Meteorología Marina. INSMET.

Juantorena, Y. (2001a). Desarrollo de un método de cálculo de los elementos de olas en los mares adyacentes y costas de Cuba, mediante técnicas espectrales. Tesis Doctoral no publicada, Instituto de Meteorología, ISNMET, CUBA.

Landsea W. Christopher, C. Anderson, N. Charles, G. Clark, J. Dunion, J. Fernandez Partagas P. Hungerford, C. Neumann y M. Zimmer (2005): The Atlantic Hurricane Database Re-analysis Project Documentation. NOAA/Hurricane Research Division, Miami, Florida. NOAA/Climate Diagnostics-Center, Boulder, Colorado. Florida International University, Miami. SAIC, Miami. Deceased. Contributed as a Chapter for the RPI Book. 6 January 2003.

Lezcano, J.C.; E. Rodríguez; P.J. Pérez; S. Samper; C. Larrinaga (1990). Informe hidrometeorológico preliminar sobre la factibilidad del "Proyecto de reanimación del Malecón Habanero", Departamento de Meteorología Marina, Instituto de Meteorología del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (solicitado por el Grupo de Medio Ambiente de la Delegación Ciudad de La Habana del Instituto de Planificación Física), 7 pp. 10.

Lezcano, J. C., A. L. Pérez, R. Casals y A. Peñate (1993): Aspectos esenciales del mapa de riesgo por penetraciones del mar en las costas cubanas. En Geodinámica Ambiental y Riesgos Naturales. Tomo 1, Memorias del IV. Encuentro de Geógrafos de América Latina Mérida, Venezuela. pp. 391-397.

Lineamientos Metodológicos de Estudios de PVR 2006: Lineamientos Metodológicos para la Realización de los Estudios de Peligro, Vulnerabilidad y Riesgos de Desastres de inundación por Penetraciones del Mar, Inundaciones por Intensas Lluvias y Afectación por Fuertes Vientos. Agencia de Medio Ambiente, CITMA, Cuba.

Martín Sol de Villa y J. Martínez Aranzabal (1990): Análisis Medio y Extremal del Oleaje. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas. Madrid, España. pp. 72.

Martín Sol de Villa, M. Jesús, J. María Grassa y J. Carlos Solás (1996): Descripción de las frecuencias de distribución más utilizadas en estudio de climas marinos. Curso Hispano-Cubano de Acciones en Costas. Cap. 6 Oleaje. Centro de Estudios de Puertos y Costas. Experimentación de Obras Públicas (CEDEX). Ministerio de Obras Públicas, Transporte y Medio Ambiente, España.

Mitrani, I.; M. Fontova; L. Díaz; J. González (1984). Determinación del régimen de ola y viento en la costa norte de La Habana. IV Exposición Forjadores del Futuro, Centro de Información y Divulgación de las BTJ. Código D.5625.Mit.D; 15 pp.

Mitrani, I. (1997). Application of the meteorological information on coastal management in the Havana Mole. Boletín SOMETCUBA. Vol. 3, No. 2, INSMET, La Habana (<http://www.met.inf.cu/>).

Mitrani, I., R. Pérez Parrado, I. Salas, M. Ballester, C. Rodríguez, A. Pérez, y demás colaboradores (2001): Monografía "Las penetraciones del mar en las costas de Cuba, las zonas más expuestas y su sensibilidad al Cambio Climático. UDICT – INSMET, La Habana, Cuba. 150 pp.

Mitrani, I., y cols. (2000). Las zonas más expuestas a las inundaciones costeras en el territorio cubano y su sensibilidad al posible incremento del nivel medio del mar por cambio climático. Revista Cubana de Meteorología, 7 (1), 45-.

Mitrani, I., Díaz, L., Salas, I., Lezcano, J., González, J., Rodríguez, N., y cols. (1987). Determinación de los elementos de ola producidos por el viento máximo sostenido en huracanes del Caribe. Centro de Divulgación y Documentación de las Brigadas Técnicas Juveniles, ACC.

Moreno, A. R, I. Salas García y R. Pérez Parrado (1976): Surgencia originadas por las tormentas tropicales, sus causas y efectos. Instituto de Meteorología, Academia de Ciencias de Cuba. 20 pp  
Ordaz Mario 1996. "Algunos conceptos del análisis de riesgos". Prevención No. 14, CENAPRED.

Pérez, D. (1998). Estimación de las inundaciones en un tramo del malecón habanero. Revista de Ingeniería Hidráulica, XIX (1), 11.

Pérez, P.J.; R. Casals; L. Díaz; A. del Sol; R. Vega (1994). Análisis hidrometeorológicos y estadístico de las penetraciones del mar ocurridas en el Malecón Habanero. Instituto de Meteorología. Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente. 55 pp., 25 figuras (inédito).

Pérez, P. (1994). Estudio del régimen de vientos y olas en diferentes zonas marinas de interés socioeconómico para Cuba. (Informe Técnico). Instituto de Meteorología.

Pérez Osorio, P.J., R. Casals, R. Vega, A. del Sol, N. Hernández (2001). Sistema de información y referencia de los fenómenos meteorológicos y oceanográficos que han afectado la costa norte de la región occidental de Cuba con inundaciones costeras por penetraciones del mar. Informe de resultado. Proyecto 21012 Prevención y reducción de desastres provocados por fenómenos meteorológicos. Instituto de Meteorología. 30 pp. Anexos.

Pérez Parrado., y cols. (2001). Análisis de los fenómenos meteorológicos que provocan penetraciones del mar en el malecón habanero. Revista Cubana de Meteorología, 8.

Pérez Parrado R., I Salas y J. Dole (2003): Modelo Numérico para pronosticar la surgencia que provocan los huracanes en las costas de Cuba (MONSAC3). Revista Cubana de Meteorología, 2003. Vol. 10, No.2, pp.66-70.

Pérez Parrado., y cols. (2004). Aplicación del modelo dinámica de alta resolución Monsac 3.1 temporada ciclónica del año 2004. Revista Cubana de Meteorología, 12.

Pérez Parrado, R., I. Salas García y Jesús Dole Chávez (2005): Proyecto de Investigación 01309168 (Informe parcial) "Impacto de la surgencia en el archipiélago cubano, considerando los Cambios Climáticos". Capítulo 3 "Metodologías y Bases de Datos". INSMET. La Habana, Cuba. pp 113- 138.

Pérez, R. Vega, R. y M. Limia. 2005. Climatología de los ciclones tropicales en Cuba (reanálisis). Proyecto 49201226: resultados para cada provincia de la actual División Político-Administrativa.

Portela, M. (1998). Elaboración de un método sinóptico – estadístico para el pronóstico de la ocurrencia de inundaciones costeras en Cuba. Proyecto Cuba/94/003. Instituto de Meteorología-PNUD. pp. 46 – 63.

Portela, M. A. (2004a). Pronóstico de inundaciones costeras en Cuba. Parte I. Diseño General del algoritmo y pronóstico de inundaciones costeras en la costa norte de Cuba. Revista Cubana de Meteorología, 11 (2), 35.

Portela, M. A. (2004b). Pronóstico de inundaciones costeras en cuba. Parte II. Pronóstico de inundaciones costeras por sures en la costa sur occidental de cuba. Revista Cubana de Meteorología, 11 (2), 49.

PNUD (1998): Monografía "Desarrollo de las Técnicas de Predicción de las inundaciones costeras, Prevención y Reducción de su acción Destructiva". Proyecto de Investigación auspiciado por el Gobierno Cubano y el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo. 172 pp.

Salas García, I., R. Pérez Parrado, O. García Concepción, A. L. Pérez Hernández y C. Rodríguez Otero (1999): Mapa de peligro por surgencias de ciclones tropicales. Rev. Cub. de Met. V. 6, N.1. pp. 33-37.

Salas García, I., R. Pérez Parrado, S. Samper Trimiño, J. Dole Chávez, A. Pérez Hernández, C. Rodríguez y B. Pantaleón Orozco (2006): Mapas de Peligro por surgencia para el archipiélago cubano. Escenario actual y previsto por Cambio Climático. Informe de resultado del Proyecto de Investigación No. 01309168 (Informe final) "Impacto de la surgencia en el archipiélago cubano, considerando los Cambios Climáticos", perteneciente al Programa Nacional de Cambio Climático en Cuba. INSMET. La Habana, Cuba. 207 pp.

Salas García, I., R. Pérez Parrado, S. Samper Trimiño, J. Dole Chávez (2008) Surgencia provocada por los ciclones tropicales. Archipiélago Cubano.

Shore Protection Manual, 1984. (Dept. of the Army, Waterways Experiment Station, United States Army. Corps of Engineers; Coastal Engineering Research Center (U.S.), For sale by the Supt. of Docs., U.S. G.P.O. in Vicksburg, Miss., Washington D.C.)

Wagenseil R. (2000): Atlas of Probable Storm Effects in the Caribbean Sea. Caribbean Disaster Mitigation Project. Models and data output by Watson Technical Consulting, Inc. Editing and presentation by Ross Wagenseil, Ph.D. March 2000.

WMO (2006): Observations and forecasts of storm tides. Workshop Topic Reports. Sixth WMO International Workshop on Tropical Cyclone (IWTC-VI). Report Series TMRP No. 72. San José, Costa Rica, 21-30 November 2006.



Vientos del huracán Gustav, 2008



# 3. Metodología para la realización de los estudios de peligro, vulnerabilidad y riesgos de desastres provocados por fuertes vientos

## INTRODUCCIÓN

El peligro de afectaciones por fuertes vientos, tiene una alta incidencia en la Región del Caribe, con un destacado efecto de eventos hidrometeorológicos extremos, que provocan un gran impacto en la población, la economía, las áreas de cultivo y los ecosistemas en toda su extensión. Los ciclones tropicales constituyen el fenómeno hidrometeorológico peligroso más recurrente del país. Otros eventos generadores de fuertes vientos que también afectan al país son los sistemas frontales (frentes fríos) característicos del invierno o periodo poco lluvioso del año y las tormentas locales severas (TLS), que tienen su mayor frecuencia en el país entre marzo y septiembre.

### OBJETIVO GENERAL:

Establecer los lineamientos metodológicos para la realización de los estudios de peligro, vulnerabilidad y riesgos de desastres de afectaciones por fuertes vientos.

### OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

1. Establecer los procedimientos fundamentales para recopilar y organizar la información y para realizar la investigación garantizando un nivel de medición y análisis homogéneo en todos los territorios.
2. Calcular el peligro de afectación por fuertes vientos para diferentes periodos de retorno.
3. Identificar todos los elementos expuestos al peligro de fuertes vientos, calcular la vulnerabilidad y estimar el riesgo según los indicadores definidos en esta metodología con el empleo de los sistemas de información geográfica.
4. Realizar la cartografía de la vulnerabilidad y el riesgo de afectación por fuertes vientos.

### ALCANCE:

Los estudios de peligro, vulnerabilidad y riesgos de desastres de afectación por fuertes vientos se realizan por consejos populares, a partir de la información y los estudios existentes y los resultados se darán a nivel provincial con salida a nivel municipal y de consejo popular (CP). La escala de trabajo será 1:25 000 o superior.

Autores:

MSc. Ida Inés Pedroso Herrera,  
Agencia de Medio Ambiente,  
CITMA

Dr. Carlos Llanes Burón, PRE-  
MIDES Facultad de Ingeniería  
Civil, CUJAE

Dr. Carlos Sacasas León, Dpto.  
Geociencias, Facultad de Inge-  
nería Civil, CUJAE

Dr. Manuel Fundora Granda,  
Dpto. Geociencias, Facultad de  
Ingeniería Civil, CUJAE

Dr. José Carlos Núñez, PRODE-  
SA, GeoCuba

Dr. Ricardo Matos, Inversiones  
Gamma

Lic. Miriam Limia Martínez,  
Instituto de Meteorología

Lic. Yaíma Rodríguez Valiente,  
Instituto de Meteorología

### 3.1 MATERIALES Y MÉTODOS

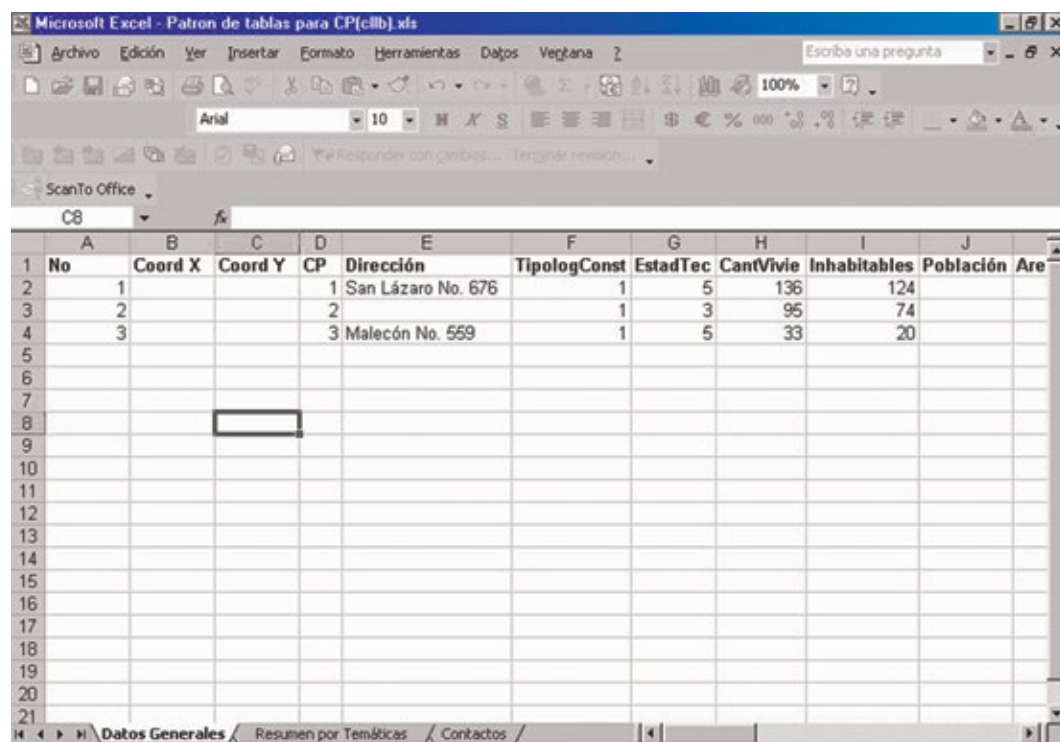
Para el cálculo de la vulnerabilidad se requiere de la compilación de la información sobre los bienes y la población expuestos al peligro de viento, esta información es de todo el consejo popular CP. Toda la información debe estar georreferenciada, para su futura expresión cartográfica.

Mapas:

- Mapa con el límite de los municipios y los consejos populares
- Mapa de viales (principales carreteras o líneas férreas)

La información se organiza y se analiza a nivel de Consejo Popular.

Tanto las variables de la vulnerabilidad como los juicios de valores son determinados en talleres multidisciplinarios y multisectoriales por criterios de expertos.



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	
1	No	Coord X	Coord Y	CP	Dirección	TipologConst	EstadTec	CantVivie	Inhabitables	Población	Are
2	1			1	San Lázaro No. 676	1	5	136	124		
3	2			2		1	3	95	74		
4	3			3	Malecón No. 559	1	5	33	20		
5											
6											
7											
8											
9											
10											
11											
12											
13											
14											
15											
16											
17											
18											
19											
20											
21											

Figura 3.1: Patrón de tablas para recopilación de la información a nivel de CP.

### 3.2 CÁLCULO DEL PELIGRO

Para el cálculo del peligro de viento, se determina para una probabilidad o periodo de retorno prefijado, el menor valor esperado del viento máximo posible (según la distribución de probabilidad que mejor se ajuste a la serie observacional considerada).

#### **Variable climática a considerar**

Para los vientos fuertes es necesario utilizar la variable meteorológica que mejor se ajuste a este concepto con independencia del fenómeno o situación meteorológica que haya dado origen al viento. Por lo general se consideran las rachas de viento de varios segundos de duración.

### **Características de la serie observacional**

Para realizar los cálculos se requiere una serie observacional de cierta longitud, tal que recoja los mayores valores del viento generados por el conjunto de situaciones sinópticas y fenómenos meteorológicos que afecten el lugar de estudio (que generan altos valores del viento), lo que requiere un conocimiento “a priori” de las condiciones climáticas del lugar. Además, la misma debe ser ininterrumpida, o sea, que no tenga datos ausentes. En el caso de que el sitio bajo estudio haya sido afectado por ciclones tropicales o tornados de altos valores de la escala Fujita, es imprescindible que la serie contenga además los valores extremos del viento generados por otros fenómenos o situaciones sinópticas en los años donde no hayan ocurrido ciclones tropicales o tornados en ese sitio o localidad, puesto que la serie debe permitir calcular las rachas de viento esperadas desde probabilidades bajas (1%) hasta probabilidades altas (50%), ya que los valores del viento para altas probabilidades son necesarios en el cálculo de la vulnerabilidad, fundamentalmente la estructural.

### **Modelación estadística**

Mediante el uso de funciones de distribución extremas se determina cuál de ellas se ajusta mejor a la serie observacional, siguiendo las metodologías de la estadística clásica. A partir de la distribución seleccionada se obtienen los valores del viento mínimos del máximo posible (cola a la derecha) para las probabilidades o periodos de retorno prefijados.

Es importante no confundir las probabilidades de afectación por un ciclón tropical de determinada categoría, por ejemplo huracán categoría 1 de la escala Saffir-Simpson cuyos vientos máximos se encuentran dentro de un rango, con los valores del viento extremo para una probabilidad dada, ya que en el primer caso no se tienen en cuenta otros fenómenos o situaciones sinópticas generadoras de viento fuerte, por lo que se corre el riesgo de subestimar los valores extremos del viento, lo que redundaría en una baja valoración del peligro.

En caso de no disponer de series que cumplan con estos requisitos, es posible aplicar el juicio de experto.

No es posible establecer una metodología más detallada ya que esta varía en dependencia de las condiciones climáticas específicas de cada lugar y de los requerimientos de la evaluación de la vulnerabilidad.

**TABLA 3.1: CLASIFICACIÓN DE LOS PUNTAJES SEGÚN LOS FACTORES SOCIALES**

	Periodo de T años	Probabilidad en %	Velocidades esperadas (km/h)
1	100	1	220
2	50	2	194
3	25	4	169
4	20	5	166
5	10	10	148
6	5	20	130

### 3.3 CÁLCULO DE LA VULNERABILIDAD

Para facilitar los cálculos, se pueden expresar los indicadores de vulnerabilidad como números enteros, de manera que la máxima vulnerabilidad sume 100, en el peor caso y 0 cuando no existe vulnerabilidad.

El resultado final, se debe dividir entre 100 para ajustarse a los intervalos establecidos entre 0 y 1.

#### **Rangos de vulnerabilidad**

<b>(0,0 - 0,33)</b>	<b>Vulnerabilidad Baja</b>
<b>(0,34 - 0,67)</b>	<b>Vulnerabilidad Media</b>
<b>(0,68 - 1,0)</b>	<b>Vulnerabilidad Alta</b>

#### 3.3.1 VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL

Se analiza la capacidad resistiva de las edificaciones del fondo habitacional a las fuerzas destructivas de los fuertes vientos, para esto se considera la tipología constructiva, el estado técnico y la altura de las construcciones, y parámetros de localización como la densidad de arbolado las zonas urbanas.

Los daños sufridos por las viviendas dependerán de la intensidad del peligro, que se expresa con el factor *Dc* o coeficiente de daño de las construcciones. Este coeficiente señala el grado de daño, que pueden sufrir las edificaciones, considerando la calidad de la vivienda o de la construcción en general (tipología y estado técnico) y la intensidad del peligro.

La vulnerabilidad estructural para cada consejo popular se calcula según la siguiente fórmula:

$$V_e = Dc + APOB + CV + ALT + ARB$$

Donde

$V_e$  — es la vulnerabilidad estructural que suma 30 puntos.

*Dc* — índice de daño de las construcciones. Es función de las tipologías constructivas, el potencial destructivo de los huracanes y su estado técnico. El mismo se podrá evaluar con diferentes gradaciones como: sin daño, con daños ligeros, daños moderados, daños considerables o daños graves. Su valor varía entre 0 y 10.

*APOB* — índice de afectaciones de la población. Depende de la susceptibilidad poblacional, resultante de la combinación de la susceptibilidad habitacional con la densidad de población. Varía entre 0 y 7.

*CV* — índice de calidad de las viviendas. Se valora en función del número de viviendas de determinada susceptibilidad habitacional, es decir que depende de las tipologías constructivas y su estado técnico. Su valor varía entre 0 y 7.

*ALT* — índice de altura de las construcciones. Se obtiene tomando en cuenta la altura promedio de las edificaciones y del número promedio de pisos de las mismas. Varía entre 0 y 3.



Figura 3.2: Derrumbes provocados por los vientos del huracán Sandy

**ARB** — índice de arbolado que pueden afectar las construcciones. Depende de la densidad de árboles y de su ubicación relativa con relación a las edificaciones y líneas de transmisión. Varía entre 0 y 3.

### 3.3.2 VULNERABILIDAD NO ESTRUCTURAL

Se evalúan las afectaciones que pueden sufrir las líneas vitales, en este caso los viales al obstruirse por la caída de árboles y postes eléctricos y las redes eléctricas incluyendo también las posibles afectaciones a las torres de alta tensión.

El peso total de la vulnerabilidad no estructural es de 20 puntos.

Se tiene en cuenta los siguientes indicadores y pesos:

- Vías de acceso que se obstruyen (8 puntos): Se valora el por ciento de las carreteras del consejo popular que puedan quedar obstruidas por árboles caídos o postes eléctricos.

Indicador	Pesos
100% afectadas	8
50% afectadas	5
0% afectadas	0

- Redes eléctricas aéreas y torres de alta tensión que se afectan (12 puntos)

Indicador	Pesos
100% afectadas	12
50% afectadas	6
0% afectadas	0

### 3.3.3 VULNERABILIDAD FUNCIONAL

Con la evaluación de esta vulnerabilidad se valoran los factores preparativos de respuesta. En este caso el peso total es de 10 puntos y los indicadores a considerar son los siguientes:

- Disponibilidad de los grupos electrógenos de emergencia (2 puntos)

Indicador	Pesos
0% de disponibilidad	2
50% disponibilidad	1
100% disponibilidad	0,0

- Preparación del sistema de salud para caso de desastre (4 puntos)

Indicador	Pesos
0% preparado	2
50% preparado	1
100% preparado	0,0

- Capacidad de albergamiento de evacuados (2 puntos)

Indicador	Pesos
0% albergados	2
50% albergados	1
100%	0,0

- Reserva de suministros básicos (agua, alimentos, combustible) 2 puntos

Indicador	Pesos
0% reserva	2
50% reserva	1
100% reserva	0,0

### 3.3.4 VULNERABILIDAD SOCIAL

Este estudio se realiza considerando los siguientes indicadores y pesos con un peso total de 10 puntos. Su objetivo es valorar el grado en que los factores sociales puedan incrementar la vulnerabilidad.

- Afectación a la población (AP) (5 puntos)

Densidad de población afectada	Pesos
0,1 – 0,25	1
0,26 – 0,5	2
0,51 – 0,75	3
0,76 – 1,0	4
> 1,0	5

- Percepción del riesgo por la población (2 puntos)

Indicador	Pesos
0% preparados	2
50% preparados	1
100% preparados	0,0

- Preparación de la población (2 puntos)

Indicador	Pesos
0% preparados	2
50% preparados	1
100% preparados	0,0

- Presencia de barrios precarios (2 puntos)

Indicador	Pesos
0% presencia barrios insalubres	0,0
50%	0,5
100%	1

### 3.3.5 VULNERABILIDAD ECONÓMICA

La vulnerabilidad económica se calcula considerando los indicadores que de alguna manera pueden afectar la economía de la provincia y del país en caso de ser impactado por los vientos, es decir van a estar en dependencia de cuáles son los elementos más importantes para la economía en cada provincia y su peso total es de 20 puntos.

Indicador	Pesos
Nivel de ejecución del presupuesto de reducción de las vulnerabilidades	2
Zonas industriales en áreas de riesgo	2
Contabilizado el costo de la respuesta	2
Cantidad de áreas cultivadas en zona de riesgo:	10
-Áreas cañeras	2
-Áreas tabacaleras.	4
-Áreas cañeras	1
-Otros cultivos	3
Animales en zona de riesgo	4

### 3.3.6 CÁLCULO DE LA VULNERABILIDAD ECOLÓGICA

El peso total es de 10 puntos.

Para el cálculo de la vulnerabilidad ecológica los indicadores a considerar son:

Indicador	Pesos
Zonas ecológicamente sensibles	5
Áreas Protegidas	5

La vulnerabilidad total del consejo popular ante el peligro de fuertes vientos se expresa por la siguiente fórmula:

$$V_t = V_e + V_{ne} + V_F + V_s + V_{ec} + V_{ecn}$$

Donde  $V_e$  — vulnerabilidad estructural

$V_{ne}$  — vulnerabilidad no estructural

$V_F$  — vulnerabilidad funcional

$V_s$  — vulnerabilidad social

$V_{ec}$  — vulnerabilidad ecológica

$V_{ecn}$  — vulnerabilidad económica

La salida cartográfica será a partir de un proyecto en sistema de información geográfica, con atributos de clasificación, total de personas expuestas, total de viviendas expuestas, tipologías constructivas, estado de las viviendas y toda la información relacionada con cada indicador que forma parte de las diferentes vulnerabilidades.

Se clasificará en alta de color rojo, media de color amarillo y baja de color verde.

Esta clasificación está basada en los intervalos siguientes:

- (0 - 0,3) Vulnerabilidad Baja**
- (0,4 - 0,6) Vulnerabilidad Media**
- (0,7 - 1) Vulnerabilidad Alta**

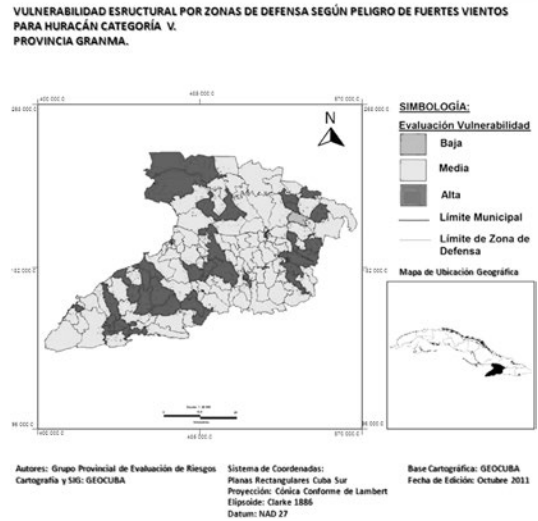


Figura 3.3: Ejemplo de mapa de vulnerabilidad ante los fuertes vientos de una provincia

### 3.4 ESTIMACIÓN DEL RIESGO

El riesgo específico se evalúa a partir de la combolución del peligro ( $P$ ) de que ocurra un evento potencialmente dañino por la vulnerabilidad ( $V$ ) de los bienes expuestos, para las diferentes intensidades  $i$  de dicho peligro.

$$R = \sum_{i=1}^n V_i * P_i$$

El riesgo se va a clasificar según los rangos siguientes:

- (0,0 - 0,11) Riesgo Bajo**
- (0,12 - 0,43) Riesgo Medio**
- (0,44 - 1,0) Riesgo Alto**



## BIBLIOGRAFÍA

WRI, UICN y PNUMA. (1992). Estrategia Global para la biodiversidad. Pautas de acción para salvar, estudiar y usar en forma sostenible y equitativa la riqueza biótica de la Tierra. 243 p.

Estudio Nacional sobre la Diversidad Biológica de la República Cuba. Vales M.A., Álvarez A., Montes L. y Ávila A. Comp. 1998 Ed. CESYTA. Madrid. 464 pp. Cap. 2 pp. 174, 405.

Directiva 1 del Vicepresidente del Consejo de Defensa Nacional para la Organización, planificación y preparación del país para las situaciones de desastres. EMNDC junio de 2005

Glosario de términos de la Defensa Civil. EMNDC, 2002.

Guía para la realización de estudios de riesgo para situaciones de desastres EMNDC Agosto 2005

Fundora, M, I. Pedroso Herrera, Y. González Jorge, M. Guerra Oliva, y otros, 2003. Peligros, vulnerabilidad y riesgos geofísicos, geológicos y tecnológicos del municipio capitalino Playa. Informe final. Instituto de Geofísica y Astronomía (IGA). CITMA.

Fundora G. Manuel, Ida Inés Pedroso Herrera, Lázaro Díaz L, Tomás Torres R., Bertha Elena González y otros, 2000, "Peligros, Vulnerabilidad y Riesgos Geológicos en el municipio San José de las Lajas, Provincia Habana", CD Memorias de GEOMIN 2001, IV Congreso de Geología y Minería de la SCG, marzo del 2001, Ed. CEINGEO, IGP, La Habana, Cuba.

Pérez, R. Vega, R. y M. Limia, 2005. Climatología de los ciclones tropicales en Cuba (reanálisis). Proyecto 49201226: resultados para cada provincia de la actual División Político-Administrativa.

Ordaz, Mario, 1996. "Algunos conceptos del análisis de riesgos". Prevención No. 14, CENAPRED.



## 4. Metodología para el estudio de peligro, vulnerabilidad y riesgo por intensa sequía

### INTRODUCCIÓN

En los últimos decenios la acrecentada influencia de la sequía ha dado lugar a que se le considere como “uno de los mayores desastres del mundo, el más frecuente y persistente, de mayores efectos negativos para la producción agrícola, como también de impactos adversos reales sobre el medio ambiente” (OMM, 1990).

La sequía afecta a muchas más personas que cualquier otro peligro de origen natural y acarrea un elevado costo económico, social y medio ambiental. Se están dedicando esfuerzos para elaborar planes de preparación frente a la sequía, más eficaces y más preventivos y para tomar medidas de gestión basada en la estimación y reducción de los riesgos (OMM, 2006).

En Cuba, durante las últimas décadas, se han generado tensiones significativas sobre los recursos hídricos superficiales y subterráneos, y sus reservas y características de manejo y explotación, debido al fuerte impacto de persistentes y significativos eventos de sequía de cortos y largos periodos, causando efectos perjudiciales para la producción agropecuaria y la conservación de suelos, constituyendo un obstáculo en los esfuerzos por garantizar el bienestar de la población, su salud y el estable desarrollo de la economía.

La sequía suele enfocarse desde dos puntos de vista diferentes: por sus condicionantes climáticas (sequía meteorológica), es decir el carácter de la circulación atmosférica, las precipitaciones, la temperatura, evaporación, entre otras; o por sus consecuencias, ya sean de tipo agrícola, hidrológica o socio-económicas (**Figura 4.1**).



Figura 4.1: Interrelaciones entre las sequías meteorológica, agrícola, hidrológica y socioeconómica. (Tomado de: OMM, 2006)

La sequía presenta tres rasgos distintivos: **intensidad**, **duración**, y **magnitud**. La **intensidad** refleja el déficit de precipitación y la gravedad de los efectos asociados al déficit (**Figura 4.3**), la **duración** porque una vez comenzada la sequía puede durar meses o años y la **magnitud** está

Autores:

Dr. Braulio Lapinel Pedroso,  
Centro del Clima

MSc. Cecilia Fonseca Rivera,  
Centro del Clima

MSc. Idelmis González García,  
Centro del Clima

Dra. Cecilia González Pedroso,  
Centro de Pronóstico

Lic. Dagne Boudet Rouco,  
Centro del Clima

MSc. Virgen Cutié Cancino,  
Centro del Clima

Lic. Marieta Hernández Sosa,  
Centro del Clima

Tec. Reinaldo Báez Altamirano,  
Centro del Clima

MSc. Ramsés J. Vázquez, Centro  
de Meteorología Agrícola

Dr. Jorge Oscar Solano, Centro  
de Meteorología Agrícola

MSc. Argelio Omar Fernández  
Richelme, Instituto de Recursos  
Hidráulicos

Ing. Bernardo Lora Borrero (†)  
Ing. Margarita Fontova de los  
Reyes, Instituto de Recursos  
Hidráulicos

MSc. Lucía Favier González,  
Instituto de Planificación Física

MSc. Sheila Silvia Chang  
Fentes, Instituto de Ecología y  
Sistemática

MSc. Carlos M. Rodríguez  
Otero, Instituto de Planificación  
Física

Dra. Ana Boquet Roque, Instituto  
de Planificación Física.

Lic. Marilú Abreu Tamayo, Instituto  
de Planificación Física

MSc. Ada Rosa Roque Miranda,  
Instituto de Geografía Tropical

estrechamente relacionada con el momento en que comienza la escasez de precipitación y con la **intensidad** y **duración** del fenómeno.

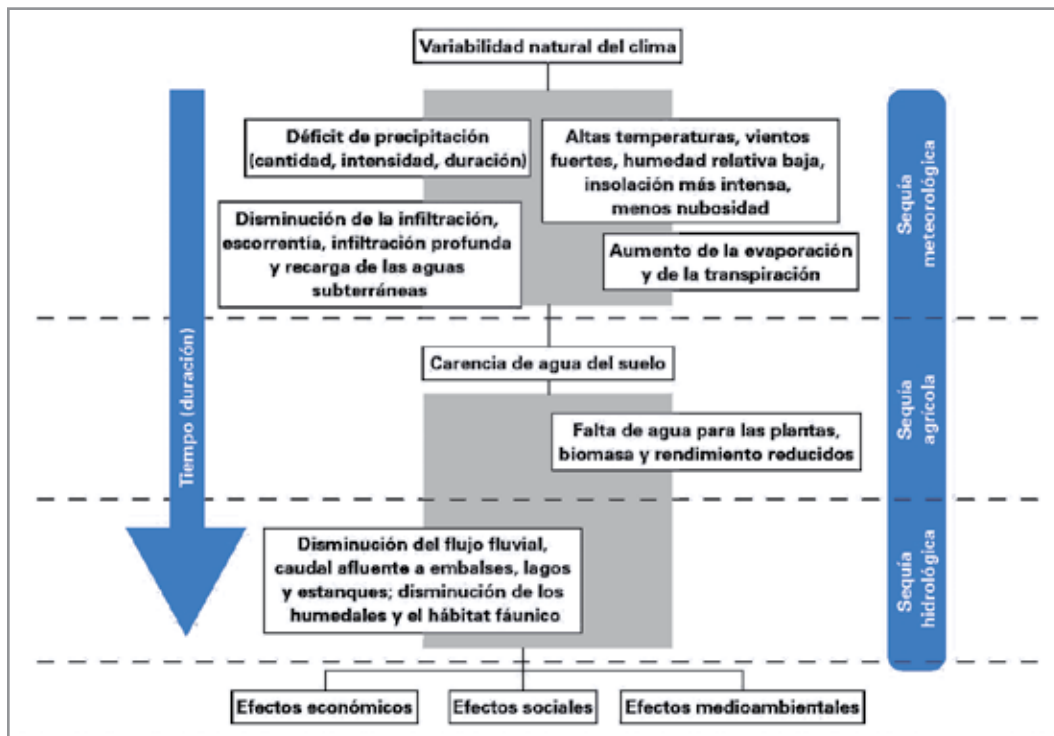


Figura 4.2: Secuencia de sucesos de sequía y de sus efectos para tipos de sequías comúnmente aceptados. (Tomado de: OMM, 2006)

Los efectos de la sequía no son estructurales y abarcan áreas geográficas más extensas que las afectadas por otros peligros, que sumado a la manera imperceptible en que se manifiesta hace especialmente difícil cuantificar sus efectos y todavía más difícil prestar ayuda en caso de desastre, por lo que no es fácil saber cuándo comienza y termina una sequía, ni los criterios con que lo decidiremos.

### OBJETIVO GENERAL:

Establecer los lineamientos metodológicos para la realización de los estudios de peligro, vulnerabilidad y riesgos de desastres por intensa sequía en todo el país.

### OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Calcular el peligro de sequía meteorológica, agrícola e hidráulica a partir de disponer de índices representativos del "peligro" como una expresión potencial del fenómeno.
- Realizar la cartografía del peligro en SIG y construir los mapas de frecuencia relativa correspondientes a los distintos grados de peligro (1, 2, 3), desde el punto de vista de la sequía meteorológica y agrícola.



Figura 4.3: Cuba atraviesa una sequía que dio sus primeros signos entre 2002 y 2003 en la región oriental y se fue trasladando al resto del país.

- Cálculo y cartografía del Peligro Integrado de las sequías agrícola y meteorológica para lograr una evaluación integral de estos eventos.
- Cálculo y cartografía del Peligro por sequía hidráulica a partir del cálculo del índice de peligro a nivel de municipio como herramienta para los tomadores de decisiones teniendo en cuenta no solo el estado de las fuentes de abasto sino también el comportamiento de la demanda.
- Identificar todos los elementos expuestos y determinar las vulnerabilidades según los indicadores definidos en este lineamiento con el empleo de los SIG e información de terreno.
- Obtener la evaluación del riesgo para dos periodos estacionales (lluvioso y poco lluvioso) a nivel de municipio para su análisis y comparación con otros dentro del país y su representación cartográfica utilizando los SIG.
- Informe técnico con los resultados y salida cartográfica para cada unidad de análisis.

#### **ALCANCE:**

Los estudios de peligro, vulnerabilidad y riesgos por intensa sequía se realizan para determinar el peligro meteorológico, agrícola e hidráulico y las vulnerabilidades y riesgos de los elementos expuestos ante la afectación del peligro. Los resultados se darán a nivel provincial con salida a nivel municipal de acuerdo a las características del fenómeno desde el punto de vista espacial y temporal. La información resultante es procesada y analizada por periodos estacionales poco lluvioso (diciembre – abril) y lluvioso (mayo – noviembre).

Los resultados del estudio se representan en escalas espaciales: localidad, municipio, provincia, y nación. Aunque el reticulado para el país cuya cuadrícula o punto de rejilla representa una resolución espacial de 4 km<sup>2</sup>, sin embargo, de ser necesario, los métodos empleados permiten a través de la interpolación obtener información de cuadrículas hasta de 1 km<sup>2</sup>.

En las escalas temporales: por décadas y meses (periodos de diez días y del mes), periodos lluvioso y poco lluvioso.

#### **4.1 MATERIALES Y MÉTODOS**

Para los estudios de peligro por intensa sequía se tiene en cuenta:

1. Datos y productos del Sistema de Vigilancia y Alerta Temprana (SAT) de la Sequía Meteorológica que opera el Centro del Clima, específicamente datos de acumulados de las lluvias e indicadores de sequía (acumulados de las lluvias expresados mediante la técnica de los deciles, el índice de precipitación estandarizada o SPI, entre otros), para diferentes periodos temporales.
2. Componentes y productos del Sistema de Vigilancia y Alerta Temprana de la Sequía Agrícola que el Centro de Meteorología Agrícola del Instituto Nacional de Meteorología ejecuta, basado en la obtención de índices terrestres de interés agrícola a partir de la observación



decadal de parámetros meteorológicos y el suelo en cualquier estación de la red. Los datos pluviométricos están referidos a la misma base de datos utilizada para la sequía meteorológica y las categorías de peligro seleccionadas son similares.

3. Aplicación de algoritmos de interpolación a las datas de lluvia de las estaciones pluviométricas con lo cual se obtiene la rejilla que facilita el análisis de las características de los acumulados de la lluvia y la sequía.
4. Información histórica disponible sobre el estado de las fuentes de abasto tanto espacial como temporal, sobre el comportamiento de niveles de agua característicos y críticos y la explotación histórica de las fuentes de abasto subterráneas o superficiales en función del comportamiento de los factores climáticos, y también del comportamiento de la demanda de agua.
5. Levantamiento y análisis de información en los el territorio sobre los indicadores de vulnerabilidad a través de sectores involucrados como la agricultura, sector agua, industria, población, gobiernos y otros.
6. La cuantificación de la vulnerabilidad está dada por un esquema de ponderación vinculado a una escala numérica que indica la importancia relativa de los diferentes elementos dentro de la estructura jerárquica. Para calcular los pesos se emplea un método de evaluación, donde para cada nivel jerárquico se utiliza el procedimiento más adecuado a sus características, entre los utilizados se encuentran la comparación binaria del método jerárquico analítico de T. L. Saaty y el método del valor esperado, entre otros (ITC, 2007).
7. Sistemas de Información Geográfica para llevar toda la información disponible a formato digital, con una base de datos geoespacial asignada para cada capa temática tratada, garantizando con esto una mayor precisión cartográfica a la hora de realizar los análisis.

## 4.2 CÁLCULO DEL PELIGRO

### 4.2.1 PELIGRO INTEGRADO POR SEQUÍA METEOROLÓGICA Y AGRÍCOLA

En los últimos años algunos países vienen realizando importantes esfuerzos para abordar simultáneamente los principales componentes y factores que están implicados de uno u otro modo en la reducción del riesgo por sequía.

De estas experiencias y las desarrolladas también en Cuba, a los efectos de los Planes de Reducción de Riesgos, se deduce que para la determinación del “Riesgo por Sequía”, es necesario previamente, disponer de índices representativos del “Peligro” por sequía (componentes meteorológico, agrícola, hidrológico, etc.), para ser integrados y evaluados en la ecuación que representa dicho Riesgo, en su interpretación más abierta (Centella, 2007). Éstos índices muestran el resultado, para un momento y lugar dado, de una compleja combinación de atributos relativos al comportamiento de la lluvia.

A continuación, se desarrolla el cálculo de un “Índice Integrado de Peligro por Sequía”, que incorpora en esta versión, los tipos de sequía meteorológica y agrícola. Los resultados o salidas de cada uno de estos componentes, expresados de manera análoga en términos de “Categoría de Peligro”, permiten articular y ponderar las categorías encontradas para cada localidad, y así lograr una percepción equilibrada de ese fenómeno.

## **PELIGRO POR SEQUÍA METEOROLÓGICA**

### ***Análisis conceptual del Peligro por Sequía Meteorológica***

La definición de Sequía Meteorológica (OMM, 1990), enuncia que la misma tiene lugar cuando se establece “un periodo de condiciones meteorológicas anormalmente secas, suficientemente prolongado como para que la falta de precipitaciones cause un grave desequilibrio hidrológico.” En este caso, la expresión “suficientemente prolongado”, es clave en el proceso de aproximación a una percepción de “Peligro” que refleje el potencial nocivo del fenómeno, más allá del valor que pueda representar un determinado índice de sequía (meteorológica), evaluado para un periodo temporal determinado (mes, trimestre, etc.).

En el examen del comportamiento de la lluvia en un periodo de tiempo (t) seleccionado (n meses), lo “suficientemente prolongado” como para captar el potencial nocivo o “Peligro” de un evento de sequía, se considera que éste es una función de factores tales como las anomalías de las lluvias en determinados lapsos de tiempo contenidos en un período temporal de referencia, la posición de cada uno de estos lapsos en dicho horizonte temporal y su peso relativo en los acumulados anuales de las lluvias, según sus valores normales, lo que expresa finalmente el resultado en “Grados o categorías de Peligro” (1, 2 ó 3).

El Índice de Peligro por Sequía Meteorológica (B12) desarrollado, valora específicamente en qué medida el déficit en los acumulados de las lluvias en un trimestre cualquiera (unidad de tiempo mínima para comenzar a considerar la sequía), está influido por el comportamiento de las lluvias en periodos trimestrales anteriores, hasta un periodo temporal preestablecido, capaz de expresar acertadamente el grado de peligrosidad dominante en dicho trimestre (el criterio de corte utilizado en la presente versión, comprende siempre los 12 meses anteriores, representados por los últimos cuatro trimestres naturales, a partir del mes en que se efectúa la evaluación).

Esta idea concentra en el “Índice de Peligrosidad” elaborado, un “Estado de Prevalencia”, que posee un alto valor agregado, ya que integra cuantitativamente una percepción de “Peligro”, hasta ahora obtenida únicamente mediante una evaluación cualitativa del comportamiento de la lluvia en periodos temporales específicos (1,3,6, ..., n meses anteriores).

La utilización de índices de base, reconocidos internacionalmente, como el Índice de Precipitación Estandarizada (SPI) o los Deciles, así como el empleo de los umbrales más recomendados para la caracterización del déficit, facilita desarrollar este nuevo índice. También, abordar una tarea de este tipo no sería viable sin la disponibilidad de los sistemas de cálculo operacionales, implícitos en los Sistemas Nacionales de Vigilancia y Alerta Temprana de la Sequía (Lapinel et al., 2007), capaces de resolver con éxito todos los requerimientos interpuestos.

### ***Cálculo del Peligro por Sequía Meteorológica***

Cualquier serie histórica de acumulados mensuales de las lluvias, representativa de una localidad, punto de rejilla, o agrupación dada, expresada mediante el índice de precipitación estandarizada (SPI) o la técnica de los deciles, es transformada según los procedimientos formulados en el epígrafe anterior, en una nueva serie compuesta por puntuaciones que en cada mes expresan el “grado de peligrosidad” prevaleciente al cierre del mismo.

Conociendo todas las puntuaciones obtenidas por meses (positivas y negativas), en el curso de todos los años analizados (serie histórica), es posible calcular para una “Norma” acordada, los percentiles seleccionados (deciles, quintiles, cuartiles o terciles), que pueden ser utilizados para fijar los umbrales de las gradaciones de peligro recomendables, y con ellos transformar estas puntuaciones en “Categorías de Peligro”.

**a) Los identificadores para el cálculo detallado de este índice se describen a continuación:**

Primer Trimestre ( $T_1$ ), es el correspondiente al cierre de cualquier mes en cuestión (Por ejemplo: en enero de 1962,  $T_1$  corresponde a noviembre 61- enero 62). Un trimestre será siempre la unidad de tiempo mínima requerida para referirse a la sequía meteorológica.

El trimestre inmediato anterior a  $T_i$  es identificado como  $T_{(i-1)}$  desde  $i= \overline{1,3}$ .

Anomalía positiva o negativa ( $A$ ), catalogada como  $A_1$  (Débil),  $A_2$  (Moderada),  $A_3$  (Severa) y  $A_4$  (Extrema) en cualquiera de los índices de sequía empleados (Deciles, SPI u otros). La anomalía podrá alcanzar valores entre +4 y -4 (Véase **Tabla 4.1**).

$K_1$  — Coeficiente que involucra ponderadamente, la posición o cercanía de cada trimestre analizado en el horizonte temporal considerado desde y respecto al primero ( $T_1$ ). Entonces  $K_i = 5 - i$  para  $T_i$  desde  $i= \overline{1,4}$ .

$K_2$  — Coeficiente  $K_2 = (p_i/p_a)$ , que considera ponderadamente, el peso de los acumulados de las lluvias en el trimestre que se analiza, con respecto al total anual (según su norma). Se considera  $p_i$  = el acumulado medio o norma del trimestre ( $T_i$ ) con  $i= \overline{1,4}$  y  $p_a$  = acumulado medio o norma anual. Este coeficiente varía normalmente entre 1 y 4.

$\Sigma$  — Sumatoria algebraica de las puntuaciones alcanzadas por todos los trimestres contribuyentes:

$$PP = \sum [AT_1 K_{11} K_{21} + AT_2 K_{12} K_{22} + AT_3 K_{13} K_{23} + AT_4 K_{14} K_{24}] = \sum_{(i=1)}^4 AT_i K_{1i} K_{2i}$$

Donde

$PP$  — puntuación de peligro

$A$  — anomalías

En resumen:

- Las anomalías (A) varían entre 1 y 4 puntos (positivos o negativos) (Ver **Tabla 4.1**)
- El coeficiente de cercanía o posición del déficit ( $K_1$ ) varía entre 1 y 4 puntos: para  $T_i = 5 - i$  desde  $i= \overline{1,4}$ .
- La relación entre los acumulados de las lluvias en cualquier periodo trimestral y el acumulado anual ( $K_2$ ) transita por lo general entre 0,1 y 0,4 . El valor obtenido se multiplica por 10 para equilibrar la escala de ponderación.



**TABLA 4.1: ANOMALÍAS DE LOS ACUMULADOS DE LAS LLUVIAS EXPRESADAS SEGÚN EL SPI Y LOS DECILES. PUNTUACIONES DE PELIGRO Y CATEGORÍAS ASOCIADAS**

Escala SPI	Escala Deciles	Puntuaciones de Peligro	Categoría
	$\geq 2$	10	4 Extrema
	$\geq 1,5 < 2$	9	3 Severa
	$\geq 1 < 1,5$	8	2 Moderada
	$\geq 0,5 < 1$	7	1 Débil
	$> -0,5 < 0,5$	5 y 6	0 Normal
	$\leq -0,5 > -1$	4	-1 Débil
	$\leq -1 > -1,5$	3	-2 Moderada
	$\leq -1,5 > -2$	2	-3 Severa
	$> -2$	1	-4 Extrema

**b) Procedimiento detallado para obtener las puntuaciones:**

- **Paso 1.** Es seleccionado el primer mes de la serie que se desea comenzar a transformar (por ejemplo, enero de 1962). Aquí comienza la sumatoria, que corresponderá a enero de 1962 y que de acuerdo con el criterio de corte utilizado en la presente versión, valora hasta 4 trimestres atrás  $T_i$  desde  $i = 1,4$ , los cuales comprenden a los 12 meses anteriores (febrero 1961 a enero 1962).

Este mes de enero de 1962 señala, de hecho a  $T_1$ , es decir el primer trimestre que cierra este mismo mes (noviembre-diciembre 1961 - enero 1962).

- **Paso 2.** La anomalía ( $A$ ) de este trimestre ( $T_1$ ), se clasifica en la escala de puntuaciones elegida y se multiplica por los coeficientes  $K_1$  y  $K_2$ , conforme lo especificado (Ponderaciones y Tabla 1 de escalas de los Índices de Sequía). Se obtiene así la primera puntuación.
- **Paso 3.** A continuación, de manera similar se analiza el trimestre agosto – octubre de 1961 ( $T_2$ ) y su puntuación se suma algebraicamente a la obtenida con anterioridad.

Las anomalías de los trimestres naturales anteriores mayo – julio ( $T_3$ ) y febrero - abril ( $T_4$ ) de 1961, continuarán y finalizarán la contribución a la sumatoria ya iniciada en ( $T_1$ ), según las puntuaciones que determinan las escalas de valores de los índices y los coeficientes  $K$  que les corresponden.

- **Paso 4.** Una vez obtenida la puntuación del primer mes (enero 1962) se pasa al siguiente (febrero de 1962), procediendo de manera similar a lo hecho con anterioridad y así hasta agotar todos los meses y años de la serie.

**c) Acerca de la selección de las categorías de Peligro.**

Una vez transformada la serie de referencia (punto de rejilla, estación pluviométrica ó agrupación relativa a una localidad dada: municipio, provincia, región) en una nueva serie de “puntuaciones de peligro”, se procede a calcular para cada mes, los percentiles que precisan los umbrales o valores por debajo y por encima de los cuales quedan las gradaciones de peligro elegidas.

Las Categorías del Peligro por Sequía Meteorológica serán, a los efectos de la presente metodología, aún en fase de calibración, mediante los siguientes percentiles:

**Categoría de Peligro 1 del 21 al 30 percentil Débil (D)**

**Categoría de Peligro 2 del 11 al 20 percentil Moderado (M)**

**Categoría de Peligro 3 del 1 al 10 percentil Severo o Extremo (S)**

El cálculo de los umbrales (30, 20 y 10 percentil) requeridos para efectuar la categorización de las puntuaciones, se obtendrán mediante la distribución percentilica de las puntuaciones propias a cada mes en cuestión, según la norma seleccionada (por ejemplo, 1971-2000).

La categoría de peligro obtenida cada mes de cualquier localidad o punto de rejilla permite realizar el acople con la categoría correspondiente de la sequía agrícola y obtener así el "Peligro Integrado".

## PELIGRO POR SEQUÍA AGRÍCOLA

### *Análisis conceptual del Peligro por Sequía Agrícola*

En el contexto de la agricultura, la sequía "no comienza cuando cesa la lluvia, sino cuando las raíces de las plantas no pueden obtener más humedad del suelo" y puede ser definida sobre la base de la humedad del suelo más que sobre alguna interpretación indirecta de los registros de precipitación.

Dado que la reserva de humedad productiva del suelo depende del suelo y del cultivo (especie, variedad, fase de desarrollo), existe sequía agrícola, cuando la humedad del suelo en la rizosfera se encuentra en un nivel tal que limita el crecimiento y la producción del cultivo.

El Índice Combinado de Sequía Agrícola (ICSA) ha sido desarrollado a partir del diagnóstico del estado de la sequía agrícola (inicio y permanencia), duración e intensidad.

Sobre la base del seguimiento de los periodos de tiempo seco evaluados por el índice de humedecimiento modificado Solano et al., (2003b), y la escala propuesta por Solano et al., (2000a) que permite evaluar el inicio, fin y duración de la sequía agrícola, en función de las condiciones de estrés hídrico que afectan a la vegetación predominante en la zona estudiada, el estado de la sequía agrícola (ESA) ha sido conceptualizado por Solano et al., (2005) en seis categorías:

- **Periodo seco corto (PSC) [1]:** aquel periodo en el cual las condiciones agrometeorológicas han sido muy secas ( $Pr < ET_o/2$  y  $0.00 \leq W/W_x < 0.40$ ), originando estrés hídrico moderado en los cultivos; o severamente secas ( $Pr = 0$  y  $W/W_x = 0$ ), causando estrés hídrico severo en los cultivos durante dos décadas consecutivas.

$Pr$  es la lluvia,  $ET_o$  la evapotranspiración de referencia,  $W$  es la reserva actual de agua del suelo y  $W_x$  la reserva máxima de humedad del suelo.

- **Periodo seco moderado (PSM) [2]:** aquel periodo en el cual las condiciones agrometeorológicas causaron estrés hídrico moderado o severo en los cultivos durante tres décadas.

- **Inicio de sequía (ISA) [3]:** aquel periodo en el cual las condiciones agrometeorológicas originaron estrés hídrico moderado o severo en los cultivos durante cuatro décadas.
- **Permanencia de sequía (PSA) [4]:** aquel periodo en el cual las condiciones agrometeorológicas causaron estrés hídrico moderado a severo en los cultivos durante cinco o más décadas.
- **Fin de sequía (FS) [5]:** la segunda década donde se presentan condiciones húmedas después de un periodo seco, pudiendo haber entre ellas un periodo ligeramente seco.  $Pr < ETo$  y  $0.40 \leq W/Wx < 0.80$
- **Ausencia de sequía (AS) [6]:** aquel periodo en el cual las condiciones agrometeorológicas no originan periodos secos ni sequías.

Una vez determinado el inicio y el fin de la sequía agrícola es posible determinar la duración, la intensidad. Atendiendo a su intensidad (entendida como niveles de severidad por la presencia de estrés hídrico en un periodo temporal determinado y antecedente (hasta 12 décadas), la Sequía Agrícola fue conceptualizada por Solano et al., (2003c) de la siguiente forma:

- **Muy ligera(1):** Se corresponde con un periodo de tiempo seco en el cual la suma de las décadas muy secas o severamente secas que lo componen no llega a alcanzar 20% de la longitud total de un periodo seco de al menos 12 décadas de duración. Se incluyen también los periodos de tiempo seco corto y moderado.
- **Ligera (2):** Se presenta cuando en un periodo seco, la suma de las décadas muy secas o severamente secas supera o iguala 20%, pero no llega a alcanzar 40% de la longitud de un periodo seco de al menos 12 décadas de duración. Se incluyen también los periodos de tiempo seco con 4 ó 5 décadas evaluadas como muy secas o severamente secas.
- **Moderada (3):** Se corresponde con un periodo de tiempo seco en el cual la suma de las décadas muy secas o severamente secas supera o iguala 40%, pero no llega a alcanzar 60% de la longitud de un periodo seco de al menos 12 décadas de duración. Se incluyen también los periodos de tiempo seco con 6, 7 y 8 décadas clasificadas de muy secas o severamente secas.
- **Severa (4):** Se presenta cuando en un periodo de tiempo seco, la suma de las décadas muy secas o severamente secas supera o iguala 60%, pero no llega a alcanzar 80% de la longitud de un periodo seco de al menos 12 décadas de duración. Se incluyen también los periodos de tiempo seco con 9, 10 y 11 décadas evaluadas de muy secas o severamente secas.
- **Muy severa (5):** Se corresponde con un periodo de tiempo seco en el cual la suma de las décadas secas o severamente secas supera o iguala 80% de la longitud de un periodo seco de al menos 12 décadas de duración.

### **Cálculo del peligro de sequía agrícola**

Para el cálculo del Peligro por Sequía Agrícola, se tienen en cuenta los componentes y productos del Sistema de Vigilancia y Alerta Temprana de la Sequía Agrícola que el Centro de Meteorología Agrícola del INSMET ejecuta, basado en la obtención de índices terrestres de interés agrícola a partir de la observación decadal de parámetros meteorológicos y el suelo en cualquier estación de la red. Los datos pluviométricos están referidos a la misma base de datos utilizada para la sequía meteorológica y las categorías de peligro seleccionadas son similares.

La sequía agrícola es calculada por un modelo (Solano, 2005a), que se sustenta en el diagnóstico de este evento climático adverso a partir del estrés hídrico en la vegetación producido por el déficit de humedad del suelo. Para calcular este término se requiere hallar la demanda y el suministro de agua de cada componente del complejo suelo-planta-atmósfera, en condiciones pasadas, presentes y futuras.

Se utilizan para ello las siguientes variables de entrada:

- **del suelo**, textura, fracción volumétrica de agua aprovechable, capacidad de campo e inclinación de la pendiente del terreno;
- **de la vegetación**, el coeficiente de cultivo, que a su vez depende del tipo de cultivo y su fase de desarrollo y la profundidad de las raíces absorbentes;
- **de la atmósfera** (meteorológicas), altura de la lámina de precipitación caída, temperatura máxima y mínima del aire, humedad del aire, déficit de saturación, radiación solar y velocidad del viento.

El método de balance hídrico del suelo en la rizosfera utilizado para la determinación de la sequía agrícola es el tradicional de la FAO, simplificado por Solano et al., (2003a) para las condiciones pedo-climáticas del país.

En la **Figura 4.4** se presenta una síntesis del proceso seguido, cuadrícula a cuadrícula, para evaluar la sequía agrícola mediante la combinación de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y los algoritmos de cálculo.

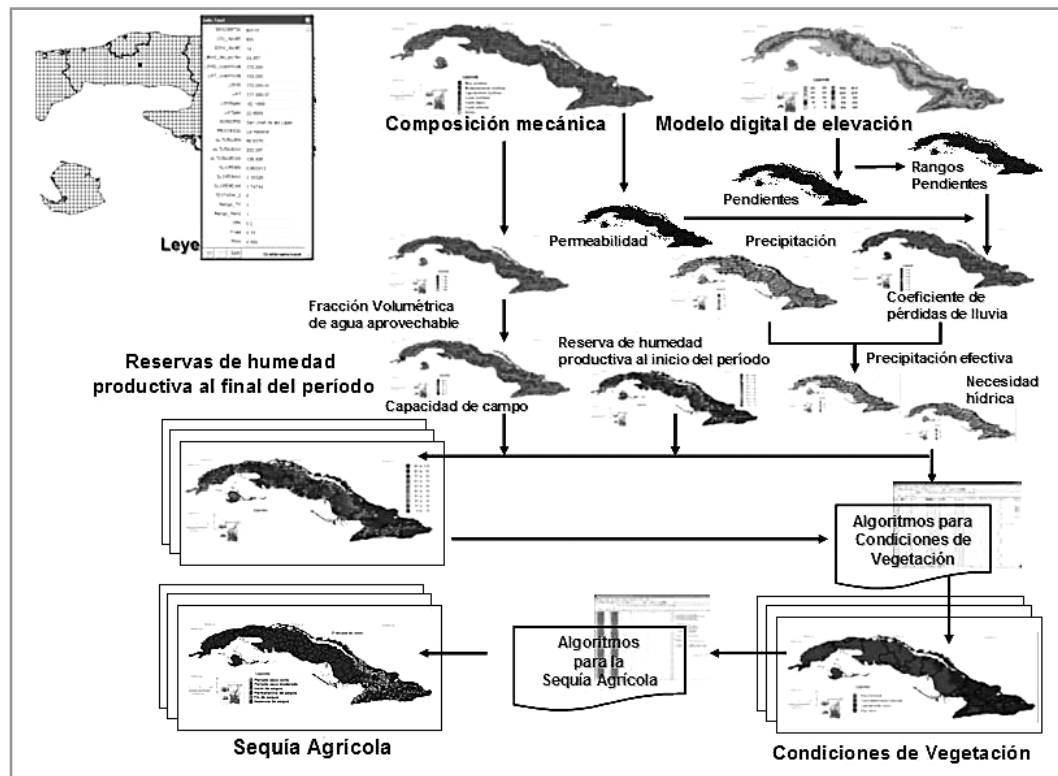


Figura 4.4: Esquema de las operaciones realizadas para evaluar la sequía agrícola mediante la utilización de los SIG. (Fuente: Centro de Agrometeorología del INSMET Cuba)

El ICSA es la multiplicación de puntuaciones otorgadas al clasificar los ESA y la intensidad. Con el propósito de componer el ICSA se reclasifica en cuatro niveles el ESA de la siguiente manera:

- **Ausencia de sequía agrícola (0):** agrupa las categorías 5 y 6.
- **Sequía agrícola baja(1):** agrupa las categorías 1 y 2.
- **Sequía agrícola moderada (2):** se toma en cuenta la categoría 3 o inicio de la SA que comprende aquel periodo seco que ha mantenido sometida a la vegetación en estrés hídrico moderado o severo con una duración de hasta cinco décadas posteriores al inicio del agotamiento del agua del suelo.
- **Sequía agrícola alta (3):** se asume que la categoría 4 es la más importante ya que indica el establecimiento de la sequía agrícola, es decir se ha mantenido sometida a la vegetación en estrés hídrico moderado o severo, por un periodo mayor o igual a seis décadas posteriores al inicio del agotamiento del agua del suelo.

La **Tabla 4.2** muestra la matriz de puntuación para la propuesta de análisis en el caso de la sequía agrícola. La evaluación se realiza mediante la multiplicación del valor que denomina la cualidad tanto del estado de la sequía agrícola como de la intensidad.

**TABLA 4.2: MATRIZ DE PUNTUACIÓN PARA LA PROPUESTA DE COMPILACIÓN DEL ICSA SEGÚN EL ANÁLISIS DE LA SEQUÍA AGRÍCOLA Y LA INTENSIDAD**

		Ausencia / Fin de SA	PSC / PCM	ISA	PSA
		Ausencia (0)	SA baja (1)	SA moderada (2)	SA alta (3)
			1	2	3
Muy ligera (1)	1			2	3
Ligera (2)	2			4	6
Moderada (3)	3			6	9
Severa (4)	4			8	12
Muy severa (5)	5			10	15

Esto nos ofrece una matriz de resultados con un recorrido desde del 2 al 15. La categoría ausencia no se analiza, se asume que no hay presencia de estrés hídrico. Tampoco se toman en cuenta los periodos clasificados como sequía agrícola baja; esto obedece a que en un periodo antecedente de hasta 12 décadas, las repeticiones que pudieran presentarse de estrés hídrico nunca serian consecutivamente las suficientes para dar inicio a un proceso de sequía agrícola. Dentro de las 12 décadas antecedentes pudieran presentarse hasta 9 décadas con estrés hídrico, pero si éstas presentan periodos húmedos alternos, facilitaría la recuperación de la vegetación y no originaría inicio de sequía.

En un análisis diagonal de la tabla propuesta, salta a la vista el hecho del incremento de la severidad o peligrosidad del fenómeno estudiado. El peligro de la presencia de la sequía agrícola se expresaría al efectuar el cálculo de los terciles para dividir el recorrido de las puntuaciones en tres grupos (**Tabla 4.3**).

Categorías ICSA	Nomenclatura
	Ausencia (0)
ICSA = 2, 3 o 4	Bajo Peligro de Sequía agrícola (1)
ICSA = 6, 8 o 9	Moderado Peligro de Sequía agrícola (2)
ICSA = 12, 10 o 15	Alto Peligro de Sequía agrícola (3)

La representación sobre la base de categorías, es en primer lugar, para brindar una mayor visión general del Peligro que naturalmente el fenómeno representa y en segundo lugar para facilitar enlazar el análisis del peligro integrado a la Sequía Meteorológica.

#### **4.2.2 PROCESO DE COMBINACIÓN DE LAS CATEGORÍAS DE AMBOS PELIGROS**

A los efectos de los componentes de sequía meteorológica y agrícola, la experiencia y las ecuaciones de balance hídrico, demostraron que en el periodo seco hay sequía agrícola aunque no la haya meteorológica y que en el periodo lluvioso puede haber sequía meteorológica sin sequía agrícola, siendo más fuertes las relaciones entre ambos tipos de sequía, cuando la sequía meteorológica es severa y prolongada (Rivero y col. (1999)). Esto contribuye a justificar la evaluación integrada de ambos tipos de sequía.

Una vez realizadas las corridas estándar de los índices históricos de sequía meteorológica y agrícola en los SAT correspondientes y dispuestos en la base de datos, el índice Integrado, se obtiene mediante procedimientos almacenados dentro de la misma, programados en SQL Server, según lo establecido.

Como ya ha sido visto, para obtener el "Peligro Integrado" se ha procedido previamente a categorizar las puntuaciones de cada uno de los peligros por sequía (meteorológica y agrícola) en cada mes del periodo temporal común analizado y utilizando una misma norma de referencia, en correspondencia con la siguiente calificación:

**AS [sin peligro (0)]**

**D [peligro débil (1)]**

**M [peligro moderado (2)]**

**S [peligro severo o extremo (3)]**

Abierta la posibilidad de avanzar en el proceso de Integración de ambos peligros, sigue recategorizar cada mes, sobre la base de combinar las categorías obtenidas utilizando las 16 posibles combinaciones que pueden efectuarse (**Tabla 4.4**).

En cada combinación, las categorías de ambos peligros se suman, resultando que para todas las posibilidades, las magnitudes de las sumatoria oscilan entre 0 y 6, lo que permite avanzar a la nueva escala de "Categoría Integrada", la que se expresa de la siguiente manera:

<b>Ausencia de Peligro</b>	<b><math>\Sigma</math> 0</b>	<b>...0</b>
<b>Peligro Débil</b>	<b><math>\Sigma</math> 1 y 2</b>	<b>...1</b>
<b>Peligro Moderado</b>	<b><math>\Sigma</math> 3 y 4</b>	<b>...2</b>
<b>Peligro Severo</b>	<b><math>\Sigma</math> 5 y 6</b>	<b>...3</b>

**TABLA 4.4: PROCEDIMIENTO PARA LA CATEGORIZACIÓN DEL “PELIGRO POR SEQUÍA INTEGRADO”**

PSM	PSA	$\Sigma$ Categoría	Categoría Integrada	Categoría Integrada	Nueva Categoría Integrada
AS (0)	AS (0)	0	0	Ausencia	
AS (0)	D (1)	1	1	Débil	0 Ausencia
AS (0)	M (2)	2	2	Débil	1 Débil
AS (0)	S (3)	3	3	Moderada	2 Moderada
D (1)	AS (0)	1	4	Moderada	3 Severa
D (1)	D (1)	2	5	Severa	
D (1)	M (2)	3	6	Severa	
D (1)	S (3)	4			
M (2)	AS (0)	2			
M (2)	D (1)	3			
M (2)	M (2)	4			
M (2)	S (3)	5			
S (3)	AS (0)	3			
S (3)	D (1)	4			
S (3)	M (2)	5			
S (3)	S (3)	6			

PSM — Peligro Sequía Meteorológica / PSA — Peligro Sequía Agrícola / AS — Ausencia de Sequía  
 Sequía Débil — (D - 1 punto) / Moderada — (M - 2 puntos) / Severa — (S - 3 puntos)  
 $\Sigma$  de ambas categorías (alcanza de 1 a 6 puntos) / Nueva categoría integrada: 1 a 6 puntos  
 Categoría integrada: Ausencia (0 puntos), Débil (1 y 2 puntos), Moderada (3 y 4 puntos) y Severa (5 y 6 puntos).

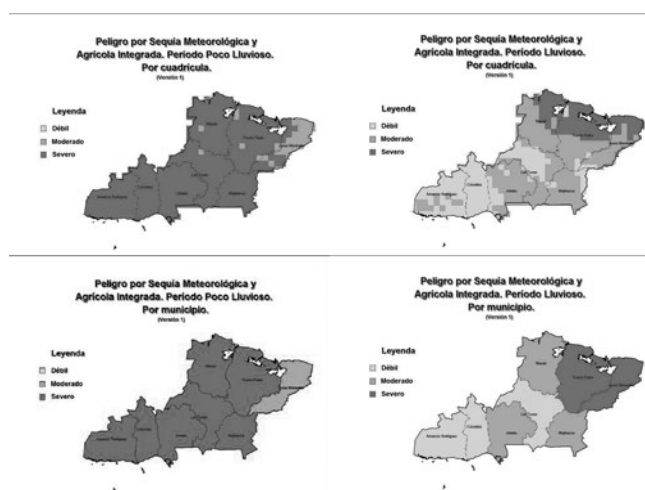
Si de una estación pluviométrica o agrupación que represente un área determinada, se dispone de una extensa serie histórica de valores mensuales del Peligro Integrado, es posible valorar el comportamiento estacional del mismo. Similarmente, si se posee una red de estaciones con la densidad espacial y extensión temporal necesarias, o una rejilla pluviométrica debidamente

elaborada y con estos mismos atributos, pueden confeccionarse mapas para cualquier periodo temporal y superficie de trabajo deseada (país, región, municipio, localidad).

A continuación a modo de ejemplo se muestran los mapas de peligro integrado de sequía meteorológica y agrícola para periodo estacional lluvioso y periodo estacional poco lluvioso para la provincia de Las Tunas.

### Cálculo del peligro de sequía hidráulica

La sequía hidráulica se origina cuando la disponibilidad de agua almacenada no permite garantizar el ritmo anual de entregas a las fuentes superficiales y subterráneas de un territorio hidrológico y/o sistema hidráulico.



**Figura 4.5:** Mapas de sequía integrada para periodo lluvioso y poco lluvioso: a) por cuadrícula, b) por municipio de la provincia las Tunas, Cuba. (Fuente: Centro de Agrometeorología del INSMET Cuba)

\*La escala de valores, indica el grado de gravedad de la sequía.

Como indicadores fundamentales para la evaluación del peligro por sequía hidráulica se consideran los niveles característicos y críticos tanto de las fuentes superficiales (embalses) como subterráneas; así como la explotación histórica de estas fuentes. También es muy importante el análisis del periodo que se analiza.

Considerando que la evaluación desde el punto de vista estadístico de la información sobre el estado de las fuentes de abasto tanto espacial como temporal, no sólo depende del comportamiento de los factores climáticos, sino también del comportamiento de la demanda de agua, para la evaluación cuantitativa del peligro de sequía hidráulica, se considera para cada municipio analizado tres elementos fundamentales: la cantidad de fuentes de abasto asociadas al territorio; el volumen de agua que aporta cada fuente y la cantidad de veces que cada fuente no satisfizo la demanda (fallo) en el periodo de análisis, lo cual se identifica como volúmenes o niveles inferiores a los respectivos valores umbrales.

De acuerdo a la disponibilidad de información se creará una base de datos automatizada, utilizando hojas de cálculo y sistema gestores de base de datos que contenga a nivel de provincia series temporales con los siguientes datos: Fuentes superficiales y subterráneas, Porcentaje de Volumen, Porcentaje de Fallos, Cantidad de Fuentes por municipio para la provincia.

En aras de compatibilizar las magnitudes de cada uno de estos elementos se usó como índice de volumen (**V<sub>o</sub>**) el porcentaje del volumen total que representa el volumen aportado por cada fuente y; como índice de fallo (**F<sub>a</sub>**) el porcentaje de la cantidad total de observaciones que representa la cantidad de fallos de cada fuente.

La determinación del Índice de Peligro (**I<sub>p</sub>**) por sequía hidráulica está en función de la multiplicación del fallo ponderado (**F<sub>ap</sub>**) por el índice de Fuente (**F<sub>u</sub>**).

$$I_p = F_{ap} * F_u$$

Teniendo en cuenta que para cada territorio existe la posibilidad de contar con más de una fuente, se definió un único índice de fallo (**F<sub>ap</sub>**) para el territorio a partir de la ponderación en base al porcentaje de volumen, de los porcentajes de fallos.

$$F_{ap} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} V o_i \times F a_i}{\sum_{i=1}^{i=n} V o_i}$$

Donde:

**n** — es la cantidad de fuentes asociadas al municipio

El índice de fuentes (**F<sub>u</sub>**) se define en función de la cantidad de fuentes asociadas.

Cantidad de fuentes	Índice de fuentes
1	1.0
2	0.8
3 - 4	0.6
Más de 4	0.4



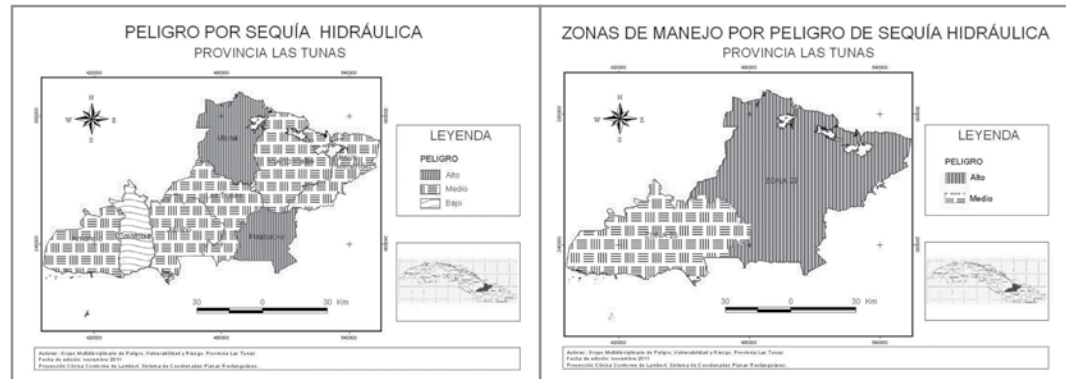
Finalmente los valores obtenidos de índice de peligro se clasifican de la siguiente manera:

Índice de peligro ( $I_p$ )	Clasificación
0.0	Sin peligro
0.1 – 10.0	Bajo
10.1 – 50.0	Medio
50.1 – 100.0	Alto

De manera similar a como se calcula el índice de peligro ponderado para los municipios, estos pueden ponderarse en base al área para la obtención de un índice de peligro para las zonas ( $I_{pz}$ ).

$$I_{pz} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} Fap_i \times A_i}{\sum_{i=1}^{i=n} A_i}$$

Para la cartografía del peligro se exporta la geodatabase al SIG. Para la elaboración de los mapas de peligro de sequía hidráulica se genera un mapa temático de fondo cualitativo, para diferenciar las 3 categorías del peligro: verde para la categoría baja, amarillo para la media y rojo para la alta (**Figura 4.6 a y b**).



**Figura 4.6:** Mapas de peligro; a) Sequía Hidráulica, b) Manejo por peligro de sequía hidráulica, para la provincia de Las Tunas.

### 4.3 CÁLCULO DE VULNERABILIDAD

Una vez realizada la estimación de los peligros meteorológicos, agrícolas e hidráulicos, se pasará a evaluar la vulnerabilidad, teniendo en cuenta los elementos expuestos en las zonas de peligro al impacto de la sequía.

La evaluación de la vulnerabilidad total, está en función de varios factores de exposición y la importancia relativa de cada tipo de vulnerabilidad y se calcula por la siguiente expresión:

$$Vul_{total} = p1 * Vul_{soc} + p2 * Vul_{noestr} + p3 * Vul_{func} + p4 * Vul_{econ} + p5 * Vul_{ecol}$$

Donde

$Vul_{total}$  — es la vulnerabilidad total

$Vul_{soc}$  — es la vulnerabilidad social

$Vul_{noestr}$  — es la vulnerabilidad no estructural

$Vul_{func}$  — es la vulnerabilidad funcional

$Vul_{econ}$  — es la vulnerabilidad económica

$Vul_{ecol}$  — es la vulnerabilidad ecológica

$p1... p5$  — son los pesos correspondientes a cada vulnerabilidad

En la **Tabla 4.5** se relacionan cada uno de los criterios o dimensiones de vulnerabilidad (nivel 2). En los niveles 3 y 4 se identifican los subcriterios que permiten el logro de cada dimensión, y finalmente en el nivel 5 se determinan las categorías o indicadores más desagregados para la medición de la vulnerabilidad. De esta forma se pudo identificar un sistema jerárquico de evaluación, donde se parte de la evaluación de estos indicadores y por sucesivas combinaciones se llega a evaluar la vulnerabilidad total a la sequía en cada territorio. El instructivo además de identificar los elementos correspondientes a cada estrato, cuantifica cada criterio, variables, indicadores y atributos en cada nivel de la estructura jerárquica.

Los pesos se organizan de manera tal que deben sumar 1 dentro de un mismo nivel y para un mismo grupo de indicadores.

La jerarquización de los indicadores de vulnerabilidad, su estandarización y asignación de pesos permite un análisis más coherente de los mismos y hace posible reconocer las causas de la vulnerabilidad para un territorio dado.

La información de la vulnerabilidad por cada una de las cinco dimensiones se hará a nivel de municipio como unidad territorial de salida de los estudios.

En general, la base informativa requerida para el cálculo de la vulnerabilidad depende de la cooperación e inclusión de instituciones y sectores responsabilizados con cada una de ellas (Vivienda, Salud, Educación, Planificación Física, Defensa Civil, Recursos Hidráulicos, Agricultura) y en particular los gobiernos municipales y locales, que aportan su visión integradora y poseen experiencias sobre el enfrentamiento de eventos de sequías.

Para realizar los cálculos de vulnerabilidad se recomienda levantar la información empleando tablas en formato Excel que a manera de plantilla, permite calcular todos los indicadores de vulnerabilidad de todos los niveles incluyendo la vulnerabilidad total.

A continuación se define cada indicador de vulnerabilidad y se explica la manera de calcularlo. Del análisis de cada indicador se conocen las causas y situación de la vulnerabilidad en el territorio.

**TABLA 4.5: JERARQUÍA E INDICADORES DE VULNERABILIDAD CON SUS PESOS POR NIVELES**

Nivel 1	Nivel 2	Pesos	Nivel 3	Pesos	Nivel 4	Pesos		
VULNERABILIDAD TOTAL	Social	0,435	Población	0,731	Población expuesta	0,500		
			Estrés (tensiones adicionales)	0,188	Demanda	0,300		
					Dependencia	0,200		
					Desventaja social	0,560		
			Percepción de la sequía	0,081	Saneamiento	0,440		
	No estructural	0,259	Instalaciones hídricas	0,507	Superficiales	0,550		
			Calidad en acuíferos	0,303	Subterráneas	0,450		
					Abasto real de agua	0,148		
			Sistemas hidro-energéticos	0,042				
					Almacenaje de agua	0,414		
			Acceso físico	0,360				
	Funcional	0,165	Plan de medidas de reducción de desastres	0,120				
			Sistema de salud	0,106	Preparación			
					Agricultura	0,530		
	Económica	0,106	Sensibilidad	0,637	Industria	0,258		
					Ganadería	0,146		
			Uso de suelo compatible	0,258	Otras actividades	0,066		
			Presupuesto de reducción de desastres	0,105				
			Sensibilidad a incendios	0,500				
	Ecológica	0,035	Áreas protegidas	0,300				
Zonas sensibles			0,200					

#### 4.3.1 VULNERABILIDAD SOCIAL

Esta dimensión o criterio valora el grado en que los factores sociales puedan incrementar la vulnerabilidad, considerando la población expuesta, las tensiones adicionales a que puede verse sometida esa población y la percepción que se tenga de la sequía. Las tres variables identificadas para la evaluación de esta dimensión son **Población**, **Estrés** y **Percepción** de la sequía, cuya fórmula se muestra a continuación.

$$Vul_{soc} = 0,731 * Vul_{pobl} + 0,188 * Vul_{estrés} + 0,081 * Vul_{perc}$$

## POBLACIÓN

La población se consideró la variable más importante para medir esta vulnerabilidad en caso de una exposición prolongada a la sequía. En esta variable se identificaron tres indicadores, **Demanda de agua potable**, **Dependencia alimentaria** y **Población expuesta** y se calcula:

$$Vul_{pobl} = 0,300 * Vul_{dem} + 0,200 * Vul_{dep} + 0,500 * Vul_{pobexp}$$

Donde

$Vul_{pobl}$  — es la vulnerabilidad total de la población

$Vul_{dem}$  — es la vulnerabilidad por demanda no cubierta de agua potable

$Vul_{dep}$  — es la vulnerabilidad por la dependencia alimentaria local

$Vul_{pobexp}$  — es la vulnerabilidad de la población expuesta, según tamaño del municipio

La **demanda de agua potable** refleja el por ciento estimado de población que no recibe de forma regular agua potable proveniente de acuíferos o embalses y se calcula según la siguiente fórmula:

$$Vul_{dem} = 1 - \frac{\%demandacub}{100}$$

Donde

$Vul_{dem}$  — es la vulnerabilidad por la demanda de agua potable no servida

$\%demandacub$  — por ciento de demanda de agua potable servida o cubierta

La **dependencia alimentaria** se refiere a la cantidad de población respecto al total de población del municipio dependiente de producciones alimentarias locales o del autoabastecimiento alimentario y se evaluará según la clasificación de la **Tabla 4.6** y la formula asociada. Estas producciones pueden quedar seriamente limitadas en caso de un evento prolongado de sequía afectando las condiciones de subsistencia y que reclamarán algún tipo de respuesta.

Población con	Peso $P_i$
Autoconsumo / Abastecimiento local	1,00
Abastecimiento externo	0,50

$$Vul_{dep} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i * Pobl_{abast_i}}{Pobl_{abast}}$$



Figura 4.7: Tanques de agua y agua potable mediante camiones cisterna en las ciudades para aplacar la sequía. Fuente:IPS Cuba

Donde

$P_i$  — peso según el tipo de abastecimiento

$Pobl_{abast}_i$  — cantidad de población para la que predomina el tipo  $i$  de abastecimiento

$Pobl_{abast}$  — población total resultante en el municipio

La población expuesta se mide por el tamaño poblacional del municipio que se analiza. La **Tabla 4.7** muestra la clasificación de la población correspondiente al tamaño del municipio y el peso que se le asigna.

TABLA 4.7: CLASIFICACIÓN DE LOS MUNICIPIOS SEGÚN NÚMERO DE HABITANTES		
Tamaño del municipio	Rango de población	Peso $P_i$
Muy grande	$\geq 100,000$ habitantes	1,000
Grande	$\geq 60,000$ y $< 100,000$	0,500
Mediano	$\geq 30,000$ y $< 60,000$	0,333
Pequeño	$< 30,000$ habitantes	0,250

Para el cálculo de la vulnerabilidad se pondera el tamaño con el peso correspondiente al rango de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$Vul_{pobexp} = \sum_{i=1}^n P_i * Tmun$$

Donde

$P_i$  — pesos según el tamaño del municipio  $i$

$Tmun$  — tamaño del municipio  $i$

### ESTRÉS (TENSIONES ADICIONALES)

En los diferentes municipios hay grupos de población que están afectados por alguna desventaja social, y en caso de que el territorio sufra un evento severo de sequía estos grupos estarán sometidos a un reforzamiento de esa tensión. Se identificaron dos indicadores y la evaluación de la variable se hace con la función siguiente:

$$Vul_{estrés} = 0,560 * Vul_{desv} + 0,440 * Vul_{saneam}$$

Donde

$Vul_{estrés}$  — vulnerabilidad por situaciones tensionantes adicionales

$Vul_{desv}$  — vulnerabilidad por presencia de desventaja social

$Vul_{saneam}$  — vulnerabilidad por el estado del saneamiento

La **desventaja social** se refiere a situaciones que afectan la capacidad de adaptación de los núcleos familiares (**Tabla 4.8**), como son los núcleos compuestos por ancianos solos, situación que tiende a agravarse con la perspectiva demográfica a nivel mundial; las mujeres solas jefas de núcleo; también los núcleos con miembros discapacitados de diversa severidad, así como aquellos casos donde exista una combinación de al menos dos desventajas.

Tipos de desventajas	Peso $P_i$
Mujeres jefas de hogar	0,350
Ancianos solos	0.500
Discapacitados	0,250
Combinación de desventajas	1.000

La vulnerabilidad por desventaja social se calcula de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$Vul_{desv} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i * CantNucl_i}{CantNucl}$$

Donde

$Vul_{desv}$  — vulnerabilidad por desventaja social

$P_i$  — ponderación para la situación  $i$  de desventaja según tipo de núcleo

$CantNucl_i$  — cantidad de núcleos familiares con la situación  $i$  de desventaja

$CantNucl$  — cantidad de núcleos familiares en el municipio

La variable **saneamiento** hace referencia a los asentamientos concentrados (urbanos y rurales) sin soluciones estables de desechos sólidos y líquidos, excluyendo las zonas o territorios de población dispersa. Se reconocen como “soluciones estables”, en el caso de los desechos sólidos: la existencia real de sistemas de reciclaje conjuntamente con la presencia de la actividad oficial de recogida de basura, incluido el traslado y disposición de la misma a vertederos y para los desechos líquidos: la existencia de alcantarillado, fosas sépticas, letrinas y colectores.

Un asentamiento con otra solución diferente a las descritas, o el hecho de no tener ninguna, califica como “sin solución estable” según la **Tabla 4.9** y se utilizará la siguiente ecuación:

$$Vul_{saneam} = \sum_{i=1}^n \frac{CantAsenti}{CantAsent} * P_i$$

Donde

$Vul_{saneam}$  — vulnerabilidad por falta de soluciones estables de saneamiento

$CantAsenti$  — cantidad de asentamientos sin solución estable de saneamiento del tipo  $i$

$CantAsent$  — cantidad de asentamientos concentrados en el municipio

$P_i$  — es la ponderación para la falta de solución estable del saneamiento  $i$

**TABLA 4.9: CLASIFICACIÓN DE SANEAMIENTO**

Asentamientos sin solución estable de	Peso $P_i$
Desechos sólidos	0,450
Desechos líquidos	0,550

**PERCEPCIÓN DE LA SEQUÍA**

Los estudios sobre la percepción de peligro ofrecen desde una perspectiva cuantitativa una idea general acerca del peligro que tiene la población, a través de sus juicios y valoraciones en cuanto al reconocimiento del peligro, conocimiento sobre los factores que inciden, evolución, preparación, capacidad crítica sobre la actuación de las personas antes, durante y después del evento, valoración sobre los impactos del peligro, niveles de confianza sobre las instituciones y organizaciones encargadas del enfrentamiento, capacidad propositiva para prevenir y minimizar los efectos negativos de este peligro.

La caracterización de esas percepciones y el establecimiento de grupos por niveles de percepción: adecuada, insuficiente y errónea o nula posibilitan su inclusión en el componente de la vulnerabilidad social a escala, municipal, tal como se muestra en la **Tabla 4.10** utilizando la siguiente ecuación:

$$Vul_{perc} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i * CantGrupo_i}{Tmuestra}$$

Donde

$Vul_{perc}$  — vulnerabilidad por grado de percepción de la sequía

$P_i$  — ponderación para el grado  $i$  de percepción

$CantGrupo_i$  — cantidad de personas entrevistadas que clasifican en el tipo  $i$  de percepción y que deben sumar en  $Tmuestra$

$Tmuestra$  — Cantidad total de personas entrevistadas en el municipio (tamaño de la muestra)

**TABLA 4.10: CLASIFICACIÓN DE LA PERCEPCIÓN**

Percepción	Peso $P_i$
Adecuada (grupo A)	0,333
Insuficiente (grupo B)	0,500
Errónea o nula (grupo C)	1,000

**4.3.2 VULNERABILIDAD NO ESTRUCTURAL**

La vulnerabilidad no estructural se vincula con aquellas instalaciones que brindan servicio al territorio y que pueden perder funcionalidad producto de un evento prolongado de sequía. Como tales se identificaron los recursos hídricos superficiales y subterráneos explotables, la calidad del agua en los acuíferos, los sistemas de entrega de agua potable y los sistemas hidro-energéticos a través de la fórmula siguiente:

$$Vul_{noestr} = 0,148 * Vul_{abasto} + 0,507 * Vul_{instal} + 0,042 * Vul_{sisth} + 0,303 * Vul_{calid}$$

## ABASTO REAL DE AGUA

Para evaluar la facilidad de acceso al abasto real de agua potable se utiliza la clasificación de la **Tabla 4.11**. La conexión domiciliaria incluye las acometidas tanto intra-domiciliarias como extra-domiciliarias, características de las zonas urbanas; el fácil acceso significa que el traslado es mediante acarreo de agua hasta distancias de 300 metros de la vivienda, tanto en zonas urbanas, como rurales; en tanto el servicio público hace referencia a la entrega de agua mediante vehículos, como los carros cisternas (pipas).

TABLA 4.11: CLASIFICACIÓN DE LAS FORMAS DE ABASTO	
Viviendas con abasto por	Peso Pi
Conexión domiciliaria	0,250
Fácil acceso	0,500
Servicio publico	0,500
Formas no adecuadas o desconocidas	1,000

En el resto de las viviendas que no cuentan con estos servicios, sus habitantes no tienen un acceso adecuado al recurso. El abasto realmente existente de agua se valora con la fórmula siguiente:

$$Vul_{abasto} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i * NroViv_i}{VivTot}$$

Donde

$Vul_{abasto}$  — vulnerabilidad por el acceso al abasto de agua potable

$P_i$  — ponderación para el tipo  $i$  de acceso al abasto de agua potable

$NroViv_i$  — cantidad de viviendas con el tipo  $i$  de acceso al abasto de agua potable

$VivTot$  — cantidad total de viviendas en el municipio

## INSTALACIONES HÍDRICAS

La vulnerabilidad por este concepto se refiere a las instalaciones vinculadas a fuentes de abasto superficiales y subterráneas, para cada una de las cuales se construye un indicador. Las instalaciones que se tienen en cuenta son aquellas para las que la sequía puede incidir en la reducción y/o el cese de la extracción de agua. Las instalaciones que se evalúan son aquellas que brindan servicio al municipio, los cálculos se hacen de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$Vul_{instal} = 0,550 * Vul_{sup} + 0,450 * Vul_{sub}$$



Para las **fuentes superficiales** se consideran aquellas que se muestran en la **Tabla 4.12** acompañadas de sus respectivas ponderaciones y se calcula según la siguiente fórmula.

$$Vul_{sup} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i * Tipofuente_i}{Tipofuente}$$

Donde

$Vul_{sup}$  — vulnerabilidad por fuentes de abasto superficiales

$P_i$  — ponderación para el tipo  $i$  de fuente superficial

$Tipofuente_i$  — cantidad de fuente superficial del tipo  $i$

$Tipofuente$  — cantidad de fuentes superficiales en el municipio

TABLA 4.12: CLASIFICACIÓN DE LAS FUENTES DE ABASTO SUPERFICIAL	
Tipo de fuentes de abasto	Peso Pi
Presas disponibles	0,250
Micro presas disponibles	0,500
Ríos con entregas históricas	1,000
Canales	0,330

Para las **fuentes subterráneas** se consideran aquellas que se muestran en la **Tabla 4.13**, acompañadas de sus respectivas ponderaciones. Para la evaluación de la vulnerabilidad por fuentes subterráneas se utiliza una ecuación similar a la de las fuentes superficiales.

$$Vul_{sub} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i * Tipofuente_i}{Tipofuente}$$

Donde

$Vul_{sub}$  — vulnerabilidad por fuentes de abasto subterráneas

$P_i$  — ponderación para el tipo  $i$  de fuente subterránea

$Tipofuente_i$  — cantidad de fuente subterránea del tipo  $i$

$Tipofuente$  — cantidad de fuentes subterráneas en el municipio

TABLA 4.13: CLASIFICACIÓN DE LAS FUENTES DE ABASTO SUBTERRÁNEO	
Tipo de fuentes de abasto	Peso Pi
Acuíferos explotables	0,500
Pozos individuales	1,000

## SISTEMAS HIDRO-ENERGÉTICOS

Con esta variable se estima la cantidad de viviendas que dependen de las mini-hidroeléctricas para la generación de su electricidad, y que son independientes del Sistema Electroenergético Nacional (SEN), las que son consideradas más vulnerables porque en un caso grave de sequía pueden quedar sin servicio de energía eléctrica.

Se evalúa la vulnerabilidad en esta esfera con la estimación de la proporción de viviendas dependientes de los sistemas mini-hidroeléctricos en el municipio.

Se determina el por ciento estimado de viviendas no dependientes y se calcula la proporción inversa. El valor correspondiente a la proporción de la cantidad de viviendas dependientes se calcula con la siguiente fórmula:

$$Vul_{depend} = 1 - \frac{\%nodependientes}{100}$$

Donde

$Vul_{depend}$  — vulnerabilidad por la cantidad de viviendas dependientes de las minihidroeléctricas para la generación de su electricidad

$\%nodependientes$  — por ciento estimado de viviendas no dependientes de las minihidroeléctricas para la generación de su electricidad.

## CALIDAD DEL AGUA EN ACUÍFEROS

La calidad de agua en los acuíferos se registra a partir de los controles instituciones que manejan los recursos hidráulicos a través de una red de puntos de observación en los territorios, para evaluar el estado de las cuencas y restringir la extracción de ser necesario. Las diferentes situaciones que interesan aparecen en la **Tabla 4.14** con sus correspondientes pesos; la categoría Sin criterio se refiere a la no existencia de criterios para evaluar las posibles afectaciones a la calidad y se valoran con la ecuación siguiente:

$$Vul_{calid} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i * Nropuntos_i}{PuntosTot}$$

Donde

$Vul_{calid}$  — vulnerabilidad por contaminación de fuentes

$P_i$  — ponderación para el tipo  $i$  de contaminación

$Nropuntos_i$  — cantidad de puntos de observación que reportan el tipo  $i$  de contaminación

$PuntosTot$  — cantidad de puntos de observación en el municipio

Causas de contaminación	Peso Pi
Sobre-explotación	1,000
Intrusión salina natural	0,500
Proximidad a fuentes contaminantes	0,333
Sin criterio	0,250

### 4.3.3 VULNERABILIDAD FUNCIONAL

Este tipo de vulnerabilidad se refiere a la capacidad de respuesta del municipio para enfrentar un evento de sequía. Para ello se consideran, el tipo de almacenamiento de agua, el acceso físico a los asentamientos, las medidas dentro del plan de reducción de desastres para enfrentar la sequía y el grado de preparación del sistema de salud existente en el municipio. Esta vulnerabilidad se valora con la siguiente ecuación:

$$Vul_{func} = 0,120 * Vul_{plan} + 0,414 * Vul_{almac} + 0,106 * Vul_{salud} + 0,360 * Vul_{accf}$$

### ENFRENTAMIENTO A LA SEQUÍA

El enfrentamiento a la sequía se valora a partir de la existencia de medidas de prevención dentro del plan de reducción de desastres del territorio. Para el cálculo de esta vulnerabilidad se clasifica la categoría correspondiente como se expresa en la **Tabla 4.15** y se le asigna el peso de acuerdo a la opción que mejor caracteriza la situación del municipio, y se valora con la ecuación siguiente:

$$Vul_{plan} = \sum_{i=1}^n P_i * C_{plan}$$

Donde

$P_i$  — es el peso para el tipo  $i$  según la categoría especificada en la reducción de desastres

$C_{plan}$  — es la situación  $i$  de clasificación del plan de reducción de desastres

Reducción de desastres	Peso Pi
Plan sin medidas	0,500
Plan con medidas	0,330
Sin plan de reducción	1,000

### ALMACENAMIENTO DE AGUA

En una situación de distribución discontinua de agua, la población requiere tener la posibilidad de acumularla para satisfacer sus necesidades. Se evalúan de acuerdo a la **Tabla 4.16**, tres

alternativas para los asentamientos (urbanos, rurales y dispersos) afectables del municipio: las soluciones colectivas o individuales, mediante tanques o cisternas y la no existencia de solución.

Almacenamiento	Peso Pi
Colectivas	0,500
Individuales	0,333
Sin solución	1,000

Se debe considerar en **colectiva**, la cantidad de asentamientos donde predomina esa forma de asegurar la reserva de agua, independientemente del medio que se utilice (tanques, cisternas, entre otros) y en **individual**, se debe considerar la cantidad de asentamientos donde predomina una solución de tipo particular. Cuando el asentamiento (concentrado o disperso), no tiene forma alguna de garantizar la reserva de agua, se considera **sin solución**, por ejemplo, en situación extrema cuando de forma temporal el agua es servida por tanques cisternas (pipas) y la población del asentamiento no dispone de ningún medio de almacenamiento; situación ésta que se traduce en que ni tienen una fuente de agua segura, ni tienen resuelto tampoco el problema con la forma de distribución adoptada.

Se calcula según la fórmula:

$$Vul_{almac} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i * NroAsenti_i}{AsenTot}$$

Donde

$Vul_{almac}$  — vulnerabilidad por la forma de almacenamiento predominante

$P_i$  — ponderación para la forma  $i$  de acuerdo a la categoría especificada

$NroAsenti_i$  — es la cantidad de asentamientos donde predomina la forma  $i$  de almacenamiento

$AsenTot$  — cantidad total de asentamientos concentrados y dispersos en el municipio

## **SISTEMA DE SALUD**

Se evalúa la vulnerabilidad en esta esfera con la estimación de la proporción de preparación que falta por alcanzar en el municipio ante eventos de sequía. Se deben manejar criterios de otros sectores del municipio y no sólo de estructuras municipales de salud, de forma que se pueda evaluar si realmente se garantiza el servicio asistencial, pese a la sequía, esto posibilita tener una visión más completa del problema.

A partir del por ciento estimado de preparación garantizado por el sistema de salud ante una sequía, se calcula la proporción inversa. El valor correspondiente a la proporción de la no preparación se calcula con la siguiente fórmula:

$$Vul_{prep} = 1 - \frac{\%preparación}{100}$$

Donde

$Vul_{prep}$  — vulnerabilidad por falta de preparación en el sistema de salud para responder a un evento de sequía

$\%preparación$  — por ciento de preparación del sistema de salud para responder a un evento de sequía

### ACCESO FÍSICO

Disponer de facilidades de acceso al asentamiento es muy conveniente para la dinámica de la vida diaria; para garantizar que el agua le sea llevada por vehículos, cuando sea necesario; también facilita otras tareas como posibles evacuaciones y traslado de enfermos a centro de salud. El punto de partida es la conexión que brinda la red de carreteras, caminos, terraplenes y otros presentes en los territorios. Por otro lado la concentración de la población en asentamientos urbanos y rurales de base hace más viable brindar respuestas en condiciones extremas de sequía; para la clasificación de dispersos, se contará la cantidad de zonas con presencia significativa de población dispersa en el municipio según la **Tabla 4.17** y la siguiente ecuación.

$$Vul_{acef} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i * NroAsent_i}{AsentTot}$$

Donde

$Vul_{acef}$  — vulnerabilidad según acceso físico a los asentamientos

$P_i$  — ponderación para el tipo  $i$  de acceso físico

$NroAsent_i$  — cantidad de asentamientos del tipo  $i$ , o zonas de poblamiento disperso

$AsentTot$  — cantidad total de asentamientos y zonas de población dispersa

TABLA 4.17: CLASIFICACIÓN DEL ACCESO FÍSICO	
Acceso físico	Peso Pi
Asentamientos urbanos	0,333
Asentamientos rurales	0,500
Zonas con población dispersa	1,000

### 4.3.4 VULNERABILIDAD ECONÓMICA

La vulnerabilidad económica identifica, valora y diferencia el efecto de la sequía en las actividades productivas que se desarrollan en el territorio, y que de diversas maneras serán afectadas o interrumpidas ante eventos severos, afectando la vida económica y el consumo de sus pobladores.

Esta vulnerabilidad ha sido identificada por las variables **Sensibilidad a la sequía**, **Uso de suelo compatible** y **Presupuesto de reducción de desastres**, y se calcula de la siguiente forma:

$$Vul_{econ} = 0,637 * Vul_{sensib} + 0,105 * Vul_{presup} + 0,258 * Vul_{usoc}$$

## SENSIBILIDAD A LA SEQUÍA

La sensibilidad a la sequía incluye de forma genérica el término **actividades** para delimitar la esfera de actividad productiva relacionada con la industria, la agricultura, la ganadería, y otras actividades, como la acuícola y la apícola, todas ellas impactantes ante una sequía severa. La vulnerabilidad por la sensibilidad a la sequía en el municipio se mide con la siguiente ecuación:

$$Vul_{sensib} = 0,258 * Vul_{ind} + 0,530 * Vul_{agr} + 0,146 * Vul_{gan} + 0,066 * Vul_{otras}$$

Para la vulnerabilidad en la **Industria**, se tendrá en cuenta la clasificación propuesta en la Tabla 20, de acuerdo al nivel de consumo de agua en sus respectivas producciones. De no ser posible obtener información precisa, se propone como referencia lo siguiente: **Grandes consumidoras:** Centrales azucareros, mataderos, actividades relacionadas con la industria láctea, elaboración de productos alimenticios y cárnicos, producción textil y de papel, procesamiento del cuero, procesamiento de cítricos, plantas de levadura, tableros de bagazo, refinerías de petróleo y sus derivados, centrales termoeléctricas. **Medianas consumidoras:** Fábrica de conservas, fábrica de refractarios, fábrica de botellas, plantas de yeso, producción de mármol. **Pocas consumidoras:** Fábrica de toallas, fábrica de helados, plantas de envases, plantas de sacos, centros de elaboración de madera, de asbesto-cemento, de cerámica, de tubos de barro.

Esta relación de industrias no es exhaustiva y pudieran existir otras instalaciones no nombradas, por lo que se recomienda investigar en el territorio para ganar en precisión.

Actividades Industriales	Peso Pi
Altas consumidoras de agua	1,000
Medianas consumidoras de agua	0,500
Pocas consumidoras de agua	0,333

$$Vul_{ActI} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i * CantActI_i}{TotalAct}$$

Donde

$Vul_{ActI}$  — vulnerabilidad por las actividades industriales

$P_i$  — ponderación para cada nivel de consumo de agua en las actividades industriales

$CantActI_i$  — cantidad de industrias con el nivel  $i$  de consumo de agua

$TotalAct$  — cantidad total de industrias en el municipio

La vulnerabilidad en las **actividades agrícolas** está dada por la superficie en km<sup>2</sup> en cada una de las categorías de la **Tabla 4.19** y se mide con la siguiente ecuación.

$$Vul_{ActA} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i * CantActA_i}{TotalAct}$$

Donde

$Vul_{ActA}$  — vulnerabilidad por las actividades agrícolas

$P_i$  — ponderación para cada tipo  $i$  de superficie en las actividades agrícolas

$CantActA_i$  — superficie cultivada en cada categoría

$TotalAct$  — superficie cultivada total del municipio

TABLA 4.19: CLASIFICACIÓN DE ACTIVIDADES AGRÍCOLAS	
Actividades Agrícolas	Peso Pi
Superficies en seco	1,000
Superficies continuas con riego	0,500
Superficie no continuas con riego	0,333

En la vulnerabilidad en las **actividades ganaderas**, se tendrán en cuenta la cantidad de cabezas de ganado mayor y menor según la **Tabla 4.20** y mediante la siguiente ecuación.

$$Vul_{ActG} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i * CantActG_i}{TotalAct}$$

Donde

$Vul_{ActG}$  — vulnerabilidad por las actividades ganaderas

$P_i$  — ponderación para cada tipo  $i$  de ganado

$CantActG_i$  — cantidad de cabezas de ganado en cada categoría

$TotalAct$  — cantidad total de cabezas de ganado mayor y menor del municipio

TABLA 4.20: CLASIFICACIÓN DE ACTIVIDADES AGRÍCOLAS	
Actividades Ganaderas	Peso Pi
Ganado mayor	1,000
Ganado menor	0,500

En **otras actividades productivas**, la vulnerabilidad está dada por el volumen de producción según la clasificación de la **Tabla 4.21** y mediante la siguiente ecuación.

$$Vul_{ActO} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i * CantActO_i}{TotalAct}$$

Donde

$Vul_{ActO}$  — vulnerabilidad por otras actividades productivas

$P_i$  — ponderación para cada tipo  $i$  de actividad

$CantActO_i$  — cantidad de toneladas producidas en cada categoría

$TotalAct$  — cantidad total de otras actividades productivas en el municipio

Otras actividades	Peso Pi
Acuicultura	0,600
Apicultura	1,000

### **PRESUPUESTO DE REDUCCIÓN DE DESASTRES**

El presupuesto para la reducción de desastres debe considerarse en determinados sectores de la economía como pueden ser las estructuras territoriales de agricultura, agua y gobiernos locales.

A partir del por ciento de ejecución del presupuesto se calcula la vulnerabilidad por no ejecución de acuerdo a la siguiente expresión:

$$Vul_{ejecuc} = 1 - \frac{\%ejecución}{100}$$

Donde

$Vul_{ejecuc}$  — vulnerabilidad por la no ejecución del presupuesto de reducción de desastres

$\%ejecución$  — proporción estimada de ejecución del presupuesto de reducción de desastres

### **USO DE SUELO COMPATIBLE EN CULTIVOS ALIMENTARIOS**

Con esta variable se mide la compatibilidad entre el uso de la tierra y la potencialidad del suelo cultivado solamente para los cultivos alimentarios siguientes: arroz, cultivos varios, plátanos, cítricos y frutales. En la medida que haya más incompatibilidad, los rendimientos son más bajos y en situación de sequía, la tendencia es a empeorar. Se deben consultar datos y/o mapas de agro-productividad por cultivo para hallar la relación entre la vocación del suelo y del uso de la tierra.

A partir del por ciento estimado de la superficie total en el municipio de los cultivos alimentarios compatibles se calcula el valor de la proporción no compatible de la siguiente forma:

$$Vul_{usoc} = 1 - \frac{\%usosueloc}{100}$$

Donde

$Vul_{usoc}$  — vulnerabilidad por la no compatibilidad entre el uso de la tierra y la potencialidad del suelo cultivado

$\%usosueloc$  — proporción estimada de compatibilidad entre el uso de la tierra y la potencialidad del suelo cultivado



#### 4.3.5 VULNERABILIDAD ECOLÓGICA

Este tipo de vulnerabilidad evalúa el impacto esperado que se deriva de una sequía severa en ecosistemas de cierta fragilidad, donde podrá tener un comportamiento singular, según las capacidades de adaptación.

Se identifican las variables Zonas sensibles húmedas, Áreas protegidas categorizadas y Sensibilidad a incendios naturales y antrópicos; las dos primeras pueden o no estar presentes en el municipio y la tercera se considera declarable con obligatoriedad.

En aquellos municipios donde la superficie de humedales sean a su vez áreas protegidas categorizadas, deberán ser reportadas sólo como esta última para evitar la duplicidad del dato. Y se calcula con la siguiente expresión:

$$Vul_{ecol} = 0,200 * Vul_{zsensib} + 0,300 * Vul_{areap} + 0,500 * Vul_{incend}$$

#### ZONAS SENSIBLES HÚMEDAS

Sólo se consideran las afectaciones a ecosistemas frágiles del tipo humedales; se incluye en esta categoría: ciénagas, zonas inundables temporalmente al interior del municipio (lagunas en dolinas cársicas) y cultivos de anegación temporal (arroz). Esta vulnerabilidad se evalúa como:

$$Vul_{zsensib} = \frac{Areahum}{Areamun}$$

Donde

$Vul_{zsensib}$  — vulnerabilidad por la potencial afectación de los humedales en el municipio

$Areahum$  — área de humedal

$Areamun$  — área del municipio

#### ÁREAS PROTEGIDAS CATEGORIZADAS

Sólo se consideran las áreas protegidas categorizadas, en tanto significan una cierta restricción de uso y una superior calificación de los ecosistemas presentes en ellas. Para esto, se deberá tener en cuenta la clasificación del Sistema Nacional de Áreas Protegidas, y otras categorías internacionales como Reserva de la Biosfera y Sitios RAMSAR.

$$Vul_{areap} = \frac{Areaproteg}{Areamun}$$

Donde

$Vul_{areap}$  — vulnerabilidad potencial por la afectación de las áreas protegidas en el municipio

$Areaproteg$  — área de la zona protegida

$Areamun$  — área del municipio

### **SENSIBILIDAD A INCENDIOS NATURALES Y ANTRÓPICOS**

Esta variable, incluye además de los incendios forestales (demostrados históricamente), aquellos que se producen en cultivos cañeros y pastizales, asociados al empeoramiento de las condiciones de humedad en una sequía extrema. Como es muy difícil establecer la causa del incendio y la sequía sólo propicia condiciones más favorables a su desencadenamiento, los especialistas deberán evaluar en los informes históricos de incendios, cuáles vincular a condiciones extremas y facilitadoras de su desenlace. Se calcula:

$$Vul_{incend} = \frac{Areasensib\grave{e}}{Areamun}$$

Donde

$Vul_{incend}$  — vulnerabilidad por incendios naturales y antrópicos

$Areasensible$  — superficie de bosque, pastizales y cultivos cañeros sensible a incendios

$Areamun$  — superficie del municipio

#### **4.3.6 VULNERABILIDAD TOTAL**

La vulnerabilidad total para cada municipio es el resultado de las contribuciones de las vulnerabilidades parciales, evaluadas y ponderadas por su peso como se muestra a continuación:

$$Vul_{total} = 0,435 * Vul_{soc} + 0,259 * Vul_{noestr} + 0,165 * Vul_{func} + 0,106 * Vul_{econ} + ,035 * Vul_{ecol}$$

Esta es la vulnerabilidad integrada calculada para un municipio a partir de la suma de las cinco vulnerabilidades, ponderadas según los diversos grados de importancia dentro de cada dimensión. El valor resultante está acotado en una escala continua entre 0 y 1.

Para cualificar la vulnerabilidad se deben establecer rangos apropiados, para esto se recomienda aplicar un método de clasificación bivariada, según los valores de las cuartilas, el cual divide la lista de valores de vulnerabilidad de los municipios en cuatro grupos (comenzando y terminando con los valores mínimos y máximos respectivamente), de este modo la cuartila inferior acumula el 25% de la distribución y se corresponde con la vulnerabilidad baja, mientras que la superior acumula el 75% y se corresponden con la más crítica.

Calculadas estas medidas, se deben identificar cada uno de los valores de vulnerabilidad en cada municipio dentro de cada rango como sigue a continuación:

El símbolo del corchete abierto a la izquierda de cada rango significa que se toma el valor mayor o igual ( $\geq$ ) y el del paréntesis de cierre a la derecha, que se toma el valor menor que ( $<$ ).

**TABLA 4.22: CLASIFICACIÓN DE LA VULNERABILIDAD**

Vulnerabilidad	Clasificación	Rangos 10
Muy alta	4	[Tercera cuartila – Valor máximo)
Alta	3	[ Segunda cuartila – Tercera cuartila)
Media	2	[Primera cuartila – Segunda cuartila)
Baja	1	[Valor mínimo – Primera cuartila)

Se propone ajustar en uno solo los dos intervalos superiores (los cuales conforman la situación más grave de vulnerabilidad), especificando siempre dentro del rango superior que hay determinados municipios con valores más críticos; debiendo quedar reflejado en el informe y en el mapa correspondiente (**Tabla 4.23**).

De acuerdo a la reclasificación propuesta, los rangos quedarían:

**TABLA 4.23: RECLASIFICACIÓN DE LA VULNERABILIDAD**

Vulnerabilidad	Reclasificación	Rangos
Muy alta y Alta	3	[Segunda cuartila – Valor máximo)
Media	2	[Primera cuartila – Segunda cuartila)
Baja	1	[Valor mínimo – Primera cuartila)

La información disponible y procesada por medio de la plantilla en Excel, debe ser empleada, para confeccionar mapas temáticos a nivel municipal de vulnerabilidad (**Figura 4.8**). También de alguna vulnerabilidad en particular, o de algunos de sus indicadores más significativos, para complementar los resultados alcanzados y facilitarle a las autoridades una herramienta adicional de ayuda en la toma de decisiones y viabilizar propuestas de políticas basadas en las medidas de adaptación, que a nivel local pueden tomarse para reducir los efectos la vulnerabilidad por sequía.



**Figura 4.8:** Mapa de Vulnerabilidad total de la Provincia Las Tunas

En aquellos municipios que presenten valores significativos en las vulnerabilidades parciales, se recomienda realizar un análisis con mayor nivel de detalle a partir del comportamiento de los indicadores que más han contribuido en cada una de esas vulnerabilidades.

Igualmente, en el caso de los municipios que clasifiquen en el rango superior de la vulnerabilidad total, se recomienda un análisis detallado de las vulnerabilidades parciales que más inciden en ese resultado.

#### 4.4 CÁLCULO DEL RIESGO

Una vez que se ha determinado el peligro y la vulnerabilidad en un territorio, se estima el riesgo como el elemento fundamental para la determinación de las recomendaciones dirigidas a la prevención de los desastres, además de las de preparación y enfrentamiento.

A los efectos de esta metodología y en tanto no existan las condiciones para estimar los costos de los elementos en riesgo, se utilizará la fórmula del riesgo específico:

$$\text{Riesgo} = (\text{Peligro integrado} \times \text{Vulnerabilidad total})$$

Donde, los componentes del riesgo están dados por las evaluaciones del peligro integrado de sequía y la vulnerabilidad total respectivamente para el ámbito municipal.

El peligro integrado de sequía está conformado por la combinación de los peligros meteorológicos y agro-meteorológicos con resultados formulados para dos periodos: lluvioso y poco lluvioso.

La vulnerabilidad total es el resultado de las contribuciones de las cinco vulnerabilidades parciales obtenidas a través de la plantilla en Excel; evaluadas y ponderadas según los diversos grados de importancia y al final reclasificadas en tres categorías (ver **Epígrafe 2**) y sin hacer distinción entre los dos periodos, como en el caso de peligro.

De modo que cada municipio deberá tener una categoría de peligro de sequía para el periodo lluvioso y otro para el no lluvioso, y por tanto dos evaluaciones de riesgos, uno para cada periodo como se muestra en las ecuaciones siguientes, en tanto la vulnerabilidad no presenta esta particularidad.

Las fórmulas para la evaluación de los dos tipos de riesgo son:

$$\text{Riesgo periodo lluvioso} = \text{Peligro periodo lluvioso} \times \text{Vulnerabilidad}$$

$$\text{Riesgo periodo poco lluvioso} = \text{Peligro periodo poco lluvioso} \times \text{Vulnerabilidad}$$

El punto de partida fue nivelar los resultados de ambos componentes en una escala cualitativa ordinal, según se expresa en la **Tabla 4.24**.

**TABLA 4.24: CATEGORÍAS DE PELIGRO, VULNERABILIDAD Y RIESGO**

Valor ordinal	Categorías de Riesgo	Peligro de sequía	Vulnerabilidad a la sequía
3	Alto	Severo	Muy alta
2	Medio	Moderado	Media
1	Bajo	Bajo	Baja

Independientemente del mayor o menor nivel de complejidad de los procedimientos empleados en cada componente, toda vez que los resultados fueron reclasificados con el objetivo de obtener tres categorías se simplifica el proceso. Se selecciona el método más sencillo para cuantificar el riesgo, de entre varios posibles, sin tener en cuenta algún tipo de ponderación y asumiendo que tanto el peligro como la vulnerabilidad, tienen la misma importancia y que contribuyen por igual al riesgo por sequía.

El producto de ambos componentes se cualifica como se muestra en la tabla 4.25:

**TABLA 4.25: EVALUACIÓN DEL RIESGO**

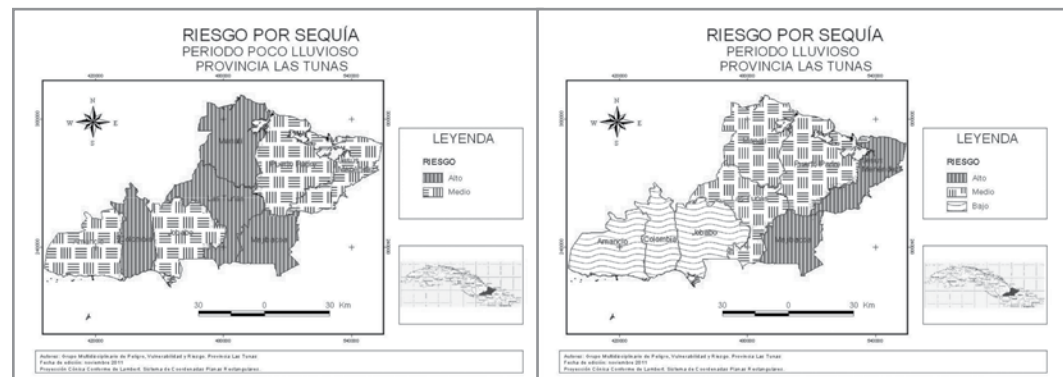
Peligro x Vulnerabilidad	Riesgo
9	Alto
6	Alto
4	Medio
3	Medio
2	Bajo
1	Bajo

Como el peligro y la vulnerabilidad nunca serán mayores que 3, el riesgo no tomará valores mayores que 9, y obviamente también se excluyen de la evaluación los valores 5, 7 y 8.

En aquellos municipios con valores significativos de riesgo, se recomienda realizar un análisis más cualitativo con mayor nivel de detalle para conocer cuál de los dos componentes (peligro o vulnerabilidad) es el que más incide en el territorio, de esta manera es más viable identificar medidas de adaptación (si el más crítico es la vulnerabilidad) o si fuera factible, identificar medidas de mitigación (si el más crítico es el peligro), aunque se conoce que reducir la vulnerabilidad es la opción más factible.

Además, se necesita focalizar las actuaciones en la transformación de los escenarios de riesgos, concentrándonos en reducir la vulnerabilidad, con soluciones socialmente aceptables y económicamente viables para contribuir al desarrollo sostenible.

La representación cartográfica de la vulnerabilidad y del riesgo es similar: mediante un mapa temático de fondo cualitativo, se deben diferenciar las diferentes categorías (**Figura 4.9 a y b**).



**Figura 4.9:** Mapa de Riesgo: a) Sequía para el período lluvioso, b) Sequía para el período poco lluvioso en la Provincia Las Tunas, Cuba.

Hay dos variantes:

Se utilizan colores: verde para la categoría baja, amarillo para la media y rojo para la alta. En el caso de la vulnerabilidad, también se utiliza el rojo para la categoría Muy alta y se especifica en el informe cuáles municipios son los verdaderamente críticos dentro de ese rango. En el caso de que no exista posibilidad de la impresión en colores, pueden diferenciar las tres categorías con tramas rayadas o punteadas, siempre visualizando las tres situaciones de vulnerabilidad o riesgo de manera que no dé lugar a confusión en su identificación.

## BIBLIOGRAFÍA

Adge (1995). Convención de las Naciones Unidas de Lucha Contra la Desertificación. (DPCSD/CCD/95/2). Secretaría Provisional de la CCD, Ginebra, 71 pp.

AMA (2007). Lineamientos metodológicos para la realización de estudios de peligro, vulnerabilidad y riesgo de desastres de inundaciones por penetraciones del mar, inundación por intensas lluvias y afectaciones por fuertes vientos". Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA), La Habana.

Appa Rao, G. 1986: «Mapas de probabilidad de sequías». Reporte número 24 de la CMAg. Ginebra, Suiza.

Bass, Gibbs, W. J. (1987). A Drought Watch System. WMO/TD-No.193 WCP-134 World Meteorological Organization. 23 pp.

Centella A., B. Lapinel, O. Solano, R. Vázquez, C. Fonseca, V. Cutié, R. Báez, S. González J. Sillé, P. Rosario y L. Duarte. 2007. La sequía Meteorológica y agrícola en la República de Cuba y la República Dominicana. Programa de Desarrollo de las Naciones Unidas (PNUD) en Cuba. 174 p.

Downing and Patwardhan (2004). Assessing Vulnerability for Climate Adaptation. In B. Lim and E. Spanger-Siegfried, editors, *Adaptation Policy Frameworks for Climate Change: Developing Strategies, Policies, and Measures*, chapter 3. Cambridge University Press, Cambridge, 2004.

Drought and Desertification in Warm Climates to the Tenth session of the Commission for Climatology (Lisboa, April 1989) WCAP - 7 WMO /TD. No. 286 World Meteorological Organization. Drought and Drought Mitigation in Europe: Jürgen V. Vogt y Francesca Somma (2000). Kluwer Academic Publishers, Dordrecht/Boston/London.

Eldin, M (1986) «Variabilité climatique. Analyse et incidences sur l'établissement et l'utilisation des bilans hydriques pour le zonagr agri-pedo-climatique». Pp 343-352.

EMNDC, 2005: Guía para la realización de estudios de riesgos para situaciones de desastres, La Habana.

Frère M., J. Q. Rijks y J. Rea. 1978: «Estudio Agroclimatológico de la Zona Andina», en Nota Técnica No. 161 de la OMM, Ginebra, Suiza, 297 p.

Gibbs, W. J. 1987: A Drought Watch System. WMO/TD-No.193 WCP-134 World Meteorological Organization. 23 pp.

Hare, F. K. y J. A. Ogallo (1993). *Climate Variations, drought and desertification*. WMO No. 653, Ginebra, 45 pp.

Hayes, M. J. (1996). Abstract "Drought Indices", National Drought Mitigation Center, USA.

Hayes, M. J. (1999). Abstract "Drought Indices", National Drought Mitigation Center, USA.

Ijanssen, R., Van Herwijnen, M., (1994). Multiobjective decision support for environmental management. DEFINITE Decisions on an FINITE set of alternatives. Kluwer Dordrecht, 132 pp.

ITC, 2007: ILWIS 3.4 Open: <http://www.itc.nl/ilwis/news.asp>

Kenneth Hare, F. (1983): Climate and Desertification WCP- 44 World Meteorological Organization United Nations Enviroment Programe. 149 pp.

Kerang Li (1993). Drought, desertification and their mitigation technology in the world. Report of the CCL Reporteur on Drought and Desertification to the Eleventh session of the Commission of Climatology. 30 pp.

Lapinel B., O. Solano, R. Vázquez, C. Fonseca, V. Cutié, R. Báez, S. González J. Sillé, P. Rosario y L. Duarte. (2007). La sequía Meteorológica y agrícola en la República de Cuba y la República Dominicana. Programa de Desarrollo de las Naciones Unidas (PNUD) en Cuba. 174 p.

Lapinel, B. y E. Planos. (2001). Visión de la sequía en Meso América y el Caribe. Diagnóstico, impacto y mitigación. Primera feria del agua en Centro América y el Caribe. 21 pág. Lapinel, B., R. E. Rivero V. Cutié, R. R. Rivero y N. Varela (1993): Sistema Nacional de Vigilancia de la Sequía: análisis del periodo 1931 – 90. Informe Científico – Técnico, Centro Meteorológico Territorial, Camagüey, 40 pp.

Lapinel, B., V. Cutié, C. Fonseca y R. Báez. (2007). "Sistema de Diagnóstico, Vigilancia y alerta Temprana de la Sequía". Guía de Técnicas y Procedimientos. Proyecto GEF-PNUD RLA/01/G31.

Lapinel, B., C. Fonseca, V. Cutié, D. Pérez, I. Rivero. (2003). "Capítulo I Monografía del Proyecto 0421. La Sequía en Cuba.". Obra Científica. Instituto de Meteorología. La Habana. pp. 1 – 11, 1a.

Lapinel, B., C. Fonseca, V. Cutié, D. Pérez, I. Rivero. (2003). Monografía del Proyecto 0421. La Sequía en Cuba". Obra Científica. Instituto de Meteorología. La Habana. 243 p. 12 a.

Lapinel, B., N. Varela y V. Cutié. (1998). Sequía, aridez y desertificación. Términos de referencia. Nueva versión del Sistema Nacional de Vigilancia de la Sequía. Informe Científico Técnico Oficina Territorial de Camagüey.

Luers, A.L., Lobell, D.B., Sklar, L.S., Addams, C.L., Matson, P.A., (2003). A method for quantifying vulnerability, applied to the Yaqui Valley, Mexico. Global Environmental Change 13, 255–267.

Makarau, A. (1993). Reporte sobre sequía a la XI reunión de la Comisión de Climatología de la OMM, La Habana, Cuba.

McKee, T.B., Doesken, N. J., Kleist, J., (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. In: Preprints, Eight Conference on Applied Climatology. January 17 e 22, Anaheim, California, pp.179 e 184.

MEDROPLAN (2013). Mediterranean Drought Preparedness and Mitigation Planning. <http://www.iamz.ciheam.org/medroplan/>. 28/05/2013

National Drought Mitigation Center at the University of Nebraska-Lincoln, the United States Department of Agriculture (2013). The U.S. Drought Monitor. <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/forecasts/>. 28/05/2013

Ogallo, L.J. (1989): Drought and Desertification. Report of the CCL Reporteur on Drought and Desertification in Warm Climates to the Tenth session of the Commission for Climatology (Lisboa, April 1989) WCAP - 7 WMO / TD. No. 286. World Meteorological Organization.

OMM, M/DES-CONV. (1994). Medidas que deben adoptar los miembros de la OMM para la aplicación de la convención de las Naciones Unidas de lucha contra la desertificación y la resolución sobre Medidas Urgentes para África.

OMM. (1990): "Vocabulario Meteorológico Internacional". OMM No 182. (Organización Meteorológica Mundial 1966: Vocabulario Meteorológico Internacional. WMO - No. 182, tp.91, Ginebra, Suiza).

OMM. (2006). Vigilancia y alerta temprana de la sequía: conceptos, progresos y desafíos futuros. OMM-N° 1006. Información meteorológica y climática para el desarrollo.

PNUD, (2006). "Informe sobre Desarrollo Humano 2006 en ocasión de la celebración del Día Mundial del Agua", 22 de marzo del 2007, Oficina PNUD.

Rao, G. (1986). «Mapas de probabilidad de sequías». Reporte número 24 de la CMAg. Ginebra, Suiza.

Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de España (2000).

Rivero, R., D. Bargados, R.R. Rivero I. Martínez, J. Peña. (1999) Balances de radiación, hídrico y energético de la superficie activa. Índices climáticos principales y su relación con las precipitaciones y las sequías meteorológicas en Cuba. Centro de Documentación del Instituto de Meteorología.

S., Ramasamy, S., Dey Deprick, J., and Battista, F. (2008). Disaster Risk Management Systems Analysis. Environment, Climate Change and Bioenergy Division. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, January.

Saaty, T.L. (1996). The Analytic Hierarchy Process. McGraw Hill, 1980, New York.

Saaty, T.L. (2008). 'Decision making with the analytic hierarchy process', Int. J. Services Sciences, Vol. 1, No. 1, pp. 83–98.

Saaty, T.L., Vargas, L.G. (2001). Models, methods, concepts & applications of the analytic hierarchy process. Kluwer Academic Publishers, 333 pp.

Saaty, T.L. and Vargas, L.G. (2000). Models, Methods, Concepts and Applications of the Analytic Hierarchy Process, Boston: Kluwer Academic Publishers.

Saaty, T.L. and Vargas, L.G. (2006). Decision Making with the Analytic Network Process: Economic, Political, Social and Technological Applications with Benefits, Opportunities, Costs and Risks, New York: Springer.

Schneider, S.H. (2007). "Assessing key vulnerabilities and the risk from climate change. In: Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [M.L. Parry et al. (eds.)]". Cambridge University Press, Cambridge, U.K., and New York, N.Y., U.S.A. pp. 779–810. Retrieved 2009-05-20.



Smit, B. and J. Wandel. (2006). Adaptation, adaptive capacity and vulnerability. *Global Environmental Change*, Volume 16, Issue 3, pp. 282-292.

Solano, O., R. Vázquez, C. J. Menéndez y J. A. Menéndez. (2000). "Sistema Agrometeorológico Operativo para la Detección y Seguimiento de la Sequía Agrícola en Cuba". En *Actas de la Reunión de Expertos de las Asociaciones Regionales III y IV Sobre Fenómenos Meteorológicos Adversos*. Caracas, Venezuela, 12 – 14 de julio de 1999. Pp 45 – 54.

Solano, O., R. Vázquez, C. Menéndez, J.A. Menéndez y M.E. Martín. (2005). "Evaluación de la Sequía Agrícola en Cuba". *Revista Cubana de Meteorología*. Instituto de Meteorología. Vol. 12 No. 2. La Habana. pp 3-14.

Solano, O., R. Vázquez, J.A. Menéndez y M.E. Martín. (2003). "Modelo agroclimático de balance hídrico del suelo. Formulación y representación espacial". Informe científico técnico de resultado de investigación. Proyecto "Pronostico de peligro de incendios forestales su seguimiento y evolución, utilizando técnicas de observación terrestre y la percepción remota". Instituto de Meteorología. La Habana. 30 p.

Solano, O., R. Vázquez, J.A. Menéndez y M.E. Martín. (2003). "Modelo agroclimático para el cálculo del índice de humedecimiento modificado". Informe científico técnico de resultado de investigación. Proyecto "Pronostico de peligro de incendios forestales su seguimiento y evolución, utilizando técnicas de observación terrestre y la percepción remota". Instituto de Meteorología. La Habana. 22 p.

UNDRO (United Nations Disaster Relief Coordinator) (1979). *Natural Disasters and Vulnerability Analysis in Report of Expert Group Meeting (9-12 July 1979)*. Geneva: UNDRO. 49 pp.

VARGAS, L.G.; SAATY, R.W. (1987). The Analytic Hierarchy Process. Theoretical Developments and some applications. *Mathematical Modelling* 9(3-5).

Vázquez, R. (2007). Mapa de zonas áridas. *Zonas Áridas* 11(1), 2007. Proyecto de UNESCO para la elaboración de los mapas de aridez de Cuba.

Wilhite DA, Buchanan-Smith M. (2005). Drought as a natural hazard: understanding the natural and social context. In: Wilhite DA, *Drought and water crises: science, technology, and management issues*. CRC Press, Boca Raton, FL, pp 3–29.



Inundaciones en el Malecón de La Habana

## Principales términos

**Aguas poco profundas:** el agua de una profundidad tal que las ondas superficiales son notablemente afectadas por la topografía del fondo. Se acostumbra a considerar el agua de profundidades inferiores a una vigésima parte de la longitud de onda de superficie como el agua poco profunda.

**Aguas profundas:** Zona donde la profundidad es mayor que la mitad de la longitud de onda de superficie.

**Alcance del viento (fetch):** Longitud de la superficie oceánica sobre la cual el viento sopla a una velocidad y en una dirección específica.

**Altura de la ola:** Es la diferencia de la elevación de la superficie entre cresta de la ola y el valle anterior de la ola.

**Altura total máxima del mar:** Altura máxima del mar en un lugar por donde pasan dos o más grupos de olas u oleajes al mismo tiempo.

**Alturas horarias del nivel del mar:** Altura del nivel del mar en cm, referida al cero del puesto mareográfico medida a intervalos de una hora.

**Amplitud de la ola:** Es la magnitud máxima del desplazamiento del nivel medio de mar.

**Análisis del nivel del mar:** Proceso de la investigación básica mediante el cual, se aplican diversos procedimientos matemáticos con la finalidad de conocer como varían el nivel del mar y sus diferentes componentes así como las causas de dichas variaciones.

**Área de inundaciones:** Territorio que se afecta a consecuencia de lluvias intensas y/o prolongadas que provocan desbordamientos de ríos, cañadas, presas e inundaciones en zonas bajas con poco escurrimiento. Las inundaciones pueden producirse también como resultado de rupturas en las cortinas de las presas.

**Asentamiento costero:** Es todo asentamiento humano ubicado espacialmente en vínculo directo con la línea de costa donde se produce el impacto directo de las penetraciones del mar por concepto de los fenómenos acompañantes de eventos meteorológicos severos como la ola de surgencia de ciclones tropicales y huracanes, o el oleaje generado por el viento. Se reconoce como zona de mayor impacto aquella constituida por los primeros 1000 m desde la línea de la costa y con una altura sobre el nivel medio del mar inferior o igual a 1 m. A los efectos de estas investigaciones se consideran asentamientos humanos costeros, todos aquellos que aun encontrándose a más de los 1000 m expresados, pueden verse afectados por las penetraciones del mar con una probabilidad de ocurrencia inferior, con valores mayor que 1.0 m y menor a 7.0 m y en profundidad mayor de 1000 m y menor de 10,000 m.

**Batimetría:** Estudio de las profundidades del agua o de la forma de la superficie del fondo de un cuerpo de agua.

**Cauce:** Lecho de los ríos y arroyos por donde corren las aguas producidas por la precipitación.

**Ciclón tropical:** Término genérico de un sistema frontal que se forma sobre aguas tropicales o subtropicales y que tiene una convección organizada. El ciclón tropical posee una extensa zona de influencia que puede alcanzar un diámetro de 800 a 1000 km. Los ciclones tropicales tienen tres elementos peligrosos que hay que considerar: fuertes vientos, intensas lluvias, marea de tormenta o surgencia. Se incluyen dentro del término ciclón tropical a los estadios de depresión tropical, tormenta tropical y huracán. Según la velocidad de los vientos se clasifica en: depresión tropical, cuando sus vientos máximos constantes alcanzan los 62 km/h; tormenta tropical cuando sus vientos máximos sostenidos se encuentran entre 63 y 118 km/h y huracán cuando sus vientos máximos sostenidos exceden los 118 km/h.

**Consejo popular:** Estructura de gobierno instaurada en Cuba a nivel de barrio y pequeñas poblaciones, que responde a una organización comunitaria y constituye un nivel intermedio de gobierno que se ubica entre la instancia municipal y la circunscripción.

**Cotas:** Valor que representa a los puntos característicos o de interés sobre la superficie del terreno, con valor de altura determinado, con métodos precisos expresado en metros.

**Crecimiento de las olas:** está relacionado con la velocidad, el alcance y la duración del viento.

**Cresta de la ola:** Parte más alta de una onda o la parte sobre el nivel del mar.

**Cuenca:** zona de la superficie terrestre en donde (si fuera impermeable) la lluvia que cae sobre ella tienden a ser drenada por el sistema de corrientes hacia el mismo punto de salida.

**Curvas de nivel:** Isolínea que une a puntos con igual altura.

**Decil:** son cada uno de los nueve valores que dividen un conjunto de datos en diez grupos con iguales efectivos (Gibbs, 1987).

**Déficit hídrico:** Desequilibrio temporal de los recursos hídricos inducido por el hombre. El déficit hídrico en un sistema de abastecimiento conlleva restricciones en el uso con respecto a la demanda, que puede ocurrir debido a una sequía o a otras causas inducidas por el hombre.

**Desastre:** Generalmente se denomina así a un acontecimiento o serie de sucesos de gran magnitud, que afectan gravemente las estructuras básicas y el funcionamiento normal de una sociedad, comunidad o territorio, ocasionando víctimas y daños o pérdidas de bienes materiales, infraestructura, servicios esenciales o medios de sustento a escala o dimensión más allá de la capacidad normal de las comunidades o instituciones afectadas para enfrentarlas sin ayuda.

**Desertificación:** Un proceso de degradación y disminución de la capacidad productiva de tierras áridas, semiáridas, subhúmedas, u otras que tengan una estación seca, causada principalmente por la sobreexplotación o el uso inapropiado del suelo en interacción con la variabilidad climática.

**Difracción:** Este fenómeno ocurre comúnmente cuando la ola encuentra a su paso una barrera. Esta obstrucción causa que la energía se transfiera a lo largo de la cresta y la reducción progresiva de la difracción-altura de las olas cuando una onda se propaga en la zona de sombra detrás de una barrera después de la ola ha pasado a su fin.

**Dirección de las olas:** Dirección de los frentes de onda.

**Disipación de olas:** Transformación del periodo y la altura de las olas que se produce a medida que el oleaje se aleja de la zona de generación de olas.

**Dispersión angular o lateral de las olas:** Dispersión hacia los lados de la energía de las olas a medida que se alejan de la zona de generación.

**Dispersión de las olas:** Fenómeno que describe la separación de los componentes de un grupo de olas según su longitud de onda y periodo. Las olas con periodos y longitudes de onda mayores se desplazan más rápidamente y se alejan de las olas con periodos y longitudes de onda menores del mismo grupo.

**Dolina:** Valle o depresión de relieves cásicos.

**Duración de la región de generación de olas (duración del fetch):** Cantidad de tiempo que una región de generación de olas donde el viento sopla a una velocidad y en una dirección específica sigue existiendo sobre la misma área de superficie oceánica.

**Escasez de agua:** Indica una condición permanente de desequilibrio entre los recursos hídricos y las demandas de agua en una región (o en un sistema de abastecimiento de agua) caracterizada por un clima árido o un aumento rápido de la demanda de agua, asociado al crecimiento de una población, ampliación de agricultura bajo regadío, u otras causas.

**Escurrimiento:** Es el agua proveniente de la precipitación que circula sobre o bajo la superficie terrestre y llega a una corriente para finalmente ser drenada hasta la salida de la cuenca.

**Espectro de olas:** Distribución de diferentes periodos de olas dentro de un grupo de olas.

**Evento extremo:** Evento con una probabilidad de excedencia anual muy baja. Se define algunas veces como un evento por encima del nivel de extrapolación y por lo tanto, dependiente de la longitud del registro y de la calidad de los datos disponibles.

**Evento:** Descripción de un fenómeno en términos de sus características, su dimensión y ubicación geográfica; registro temporal de un fenómeno que constituye una amenaza.

**Frecuencia de la ola:** Es el número de crestas sucesivas que pasan por un punto fijo en un segundo.

**Frente frío:** Superficie de discontinuidad que separa las masas de aire frío y seco de altas latitudes, de las masas de aire húmedo y cálido originadas en bajas latitudes.

**Índice de precipitación estandarizada (SPI):** Diseñado para cuantificar el déficit de precipitación para escalas temporales múltiples. Estas escalas temporales reflejan el impacto de la sequía sobre la disponibilidad de las diferentes fuentes del recurso agua. Las condiciones de humedad en el suelo responden a anomalías de precipitación para una escala temporal relativamente corta, 1, 3, 6 meses, mientras que el agua de las corrientes superficiales, subterránea y reservorios reflejan anomalías de lluvia de periodos más largos: escalas temporales de 12, 24 y 48 meses (McKee, 1993).

**Inundación costera por penetraciones del mar:** Es un desbordamiento de una extensión de agua que sumerge la tierra, donde su origen se encuentra vinculado a fenómenos meteorológicos como ciclones tropicales y bajas extratropicales que producen fuerte oleaje, sobreelevación del nivel del mar y la consecuente afectación a instalaciones y viviendas en el litoral.

**Inundaciones fluviales:** Causadas por el desbordamiento de los ríos y los arroyos es atribuida al aumento brusco del volumen de agua más allá de lo que un lecho o cauce es capaz de transportar sin desbordarse, durante la crecida.

**Inundaciones lentas o estáticas:** Se produce cuando lluvias persistentes y generalizadas, producen un aumento paulatino del caudal del río hasta superar su capacidad máxima de transporte. Entonces el río se sale de su cauce, inundando áreas planas cercanas al mismo.

**Inundaciones rápidas o dinámicas:** Suele producirse en ríos de montaña o en ríos cuyas cuencas vertientes presentan fuertes pendientes, por efecto de lluvias intensas. Las crecidas son repentinas y de corta duración. Son éstas las que suelen producir los mayores estragos en la población, sobretodo porque el tiempo de reacción es prácticamente nulo.

**Línea de costa:** es la línea en la superficie de la tierra que define el límite entre el mar y la tierra firme.

**Líneas vitales:** Infraestructura básica de redes, tuberías o elementos conectados que permite la movilización o transportación de la energía eléctrica, agua, combustibles, información, personas y productos, esencial para realizar con calidad y eficiencia las actividades de la sociedad.

**Llanuras o planos de inundación:** Son áreas de superficie adyacente a ríos o riachuelos, sujeta a inundaciones recurrentes.

**Longitud de onda:** Distancia horizontal entre dos crestas sucesivas.

**Marea astronómica:** Movimiento periódico de ascenso y descenso de las aguas del mar en las costas por influjo de las atracciones combinadas del sol y la luna.

**Marea de cuadraturas:** Marea que se produce cuando la luna está en cuarto menguante o creciente.

**Marea:** El ascenso y descenso rítmico y alternado de la superficie del océano (o nivel del agua) y de los cuerpos de agua conectados con el océano, tales como: estuarios, bahías, golfos y canales, que ocurren dos veces al día sobre la mayor parte de la tierra y que resultan de la atracción gravitacional de la luna y en menor grado de la del sol, actuando desigualmente sobre partes diferentes de la tierra en rotación.

**Marejada:** Altura marea de tormenta por encima de la marea prevista puede alcanzar alrededor de 0,5 metros en un periodo de retorno anual, y potencialmente pueden llegar a un límite superior.

**Mitigación:** Acciones a corto y largo plazo, programas o políticas implementadas con anterioridad a que se produzca un peligro, o en sus primeras fases, con el fin de reducir el grado de riesgo para las personas, las propiedades y la capacidad productiva.



**Modelo digital del terreno:** Estructura numérica de datos que representa la distribución espacial del valor de la altura de forma cuantitativa y continua sobre el terreno con respecto a una referencia específica al aplicar un método de interpolación.

**Modelo espectral de olas:** Modelo que usa un espectro de frecuencias a través de tiempo y espacio para medir una suma finita de componentes de olas de diferentes longitudes y amplitudes.

**Nivel medio del mar:** Nivel medio del mar que se estima como el valor medio de los valores medio anuales para un período no menor de 19 años e idealmente superior a 50 años.

**Ola en aguas profundas:** Ola cuya longitud es menor que dos veces la profundidad del agua.

**Ola en aguas someras:** Ola cuya longitud es mayor que 20 veces la profundidad del agua.

**Ola que rompe gradualmente sobre una distancia considerable (spilling breaker):** Ola que rompe gradualmente en aguas someras. El agua vierte gradualmente por encima de la cresta a medida que la ola se aproxima al litoral.

**Ola que rompe violentamente (plunging breaker):** Ola que rompe violentamente en aguas someras.

**Ola rompiente que surge sobre la playa (surging breaker):** Ola que alcanza su máximo y surge sobre la playa sin que la cresta de la ola llegue a romper.

**Ola:** Perturbación oceánica que ocurre en la superficie del mar, y que está animada de movimiento ondulatorio, de traslación aparente y rotación verdadera.

**Olas de viento:** Ola de superficie generada por la acción del viento sobre la superficie del océano.

**Oleaje (swell):** Olas que han salido de la región de generación de olas que las engendró.

**Penetración del mar:** Inundación costera por la acumulación de agua de mar sobre un terreno que habitualmente no sufre los efectos de la marea, por lo general en zonas bajas del litoral.

**Percepción del riesgo:** Estudio de las creencias, actitudes, juicios y sentimientos, así como de los valores y disposiciones sociales y culturales que las personas adoptan frente a las fuentes de peligro.

**Período de la ola:** Es el intervalo de tiempo del paso de dos olas sucesivas pasando por un punto fijo.

**Período significativo de las olas (Ps):** Promedio del período de las olas usado para calcular la altura significativa de las olas.

**Planos de inundación:** Son aquellos terrenos sujetos a inundaciones recurrentes con mayor frecuencia, y ubicados en zonas adyacentes a los ríos y cursos de agua.

**Preparación:** Es el conjunto de acciones previas al impacto de un peligro, diseñadas para incrementar el nivel de alerta o mejorar las capacidades operativas para responder al evento. La

preparación es una acción de mitigación.

**Reflexión del oleaje:** Fenómeno que ocurre cuando las olas chocan contra un obstáculo y regresan en sentido contrario al lugar de donde vienen.

**Refracción del oleaje:** Fenómeno que ocurre cuando las olas comienzan a interactuar con el fondo. Cuando las olas entran en aguas transicionales y no viajan perpendicular a las isobatas entonces las olas que van por aguas más profundas se desplazan a una velocidad más rápida que aquellas que viajan por aguas poco profundas.

**Región de generación de olas (fetch region):** Zona de vientos que constituye una región de generación de olas. Las regiones de generación de olas tienen longitud y anchura.

**Resolución espacial:** Dimensión del píxel de la imagen expresada en unidades terreno. Frecuentemente, se utiliza la abreviatura GSD (ground sample distance) para su referencia. La resolución espacial es un parámetro que se fija en función de la aplicación técnica a la que los datos darán servicio.

**Respuesta:** Acciones emprendidas inmediatamente antes, durante o justamente después del peligro para reducir los impactos y mejorar la recuperación.

**Riesgo:** Los efectos adversos potenciales del peligro como resultado, tanto de la frecuencia como de la intensidad del peligro y de la vulnerabilidad correspondiente.

**Sequía Agrícola:** Cuando la cantidad de precipitación y su distribución, las reservas en agua del suelo y las pérdidas debidas a la evaporación se combinan para causar disminuciones considerables del rendimiento de los cultivos y del ganado (OMM, 1990).

**Sequía hidráulica:** Se origina cuando la disponibilidad de agua almacenada no permite garantizar el ritmo anual de entregas planteado a las fuentes superficiales y subterráneas de todo un territorio hidrológico y/o sistema hidráulico.

**Sequía Meteorológica:** Cuando se establece “un período de condiciones meteorológicas anormalmente secas, suficientemente prolongado como para que la falta de precipitaciones cause un grave desequilibrio hidrológico.” (OMM, 1990)

**Sequía:** Es un período de condiciones meteorológicas anormalmente secas, suficientemente prolongado como para que la falta de precipitaciones cause un grave desequilibrio hidrológico (OMM, No.82, 1990).

**Shoaling:** Cambios en las características de las olas que se producen a medida que pasan de aguas profundas a aguas someras. Conforme la ola se acerca a aguas someras, su altura aumenta y su longitud de onda y velocidad se reducen, porque la ola conserva su período en aguas someras.

**Sobreelevación por viento:** Desnivel del nivel del mar en un cuerpo de agua causada por acumulación de agua en la costa debido a la acción del viento.

**Sures:** Afectan la costa sur de Cuba y con mayor fuerza a las provincias occidentales del país durante la temporada de frentes fríos. Presentan rumbos del S al SSW y velocidades que pueden ser mayores de 18 m/s.



**Surgenia:** Elevación anormal y temporal del nivel medio del mar, sobre la marea astronómica, causada por la tensión de los fuertes vientos, y en menor grado, por la caída de la presión atmosférica, debido al paso de un ciclón, ya sea tropical o extratropical.

**Uvalas:** Aquellas depresiones de irregulares, generalmente alargadas, originadas con frecuencia mediante la unión de dolinas individuales.

**Valle de la ola:** Parte más baja de una forma de onda entre las crestas sucesivas. También, que parte de una ola por debajo de la parte de una ola por debajo del nivel del mar.

**Valoración del Impacto de la Sequía:** Proceso de observación de la magnitud y distribución de los efectos de la sequía.

**Variabilidad climática:** Corresponde a las variaciones en los estados promedios y otras estadísticas del clima en escalas temporales y espaciales. La variabilidad es más amplia que los eventos climáticos individuales y puede ser el resultado de un proceso interno natural en el sistema climático o variaciones dependientes de fuerzas externas antropogénicas o naturales.

**Vulnerabilidad estructural:** Es la vulnerabilidad referida a las características físicas del elemento expuesto (construcciones) que hacen que este sea susceptible a daño.

**Vulnerabilidad funcional:** Está relacionada con los elementos que permiten el normal funcionamiento de una construcción: las redes de agua, energéticas, telefónicas, de alcantarillado, de vías de acceso y del sistema de organización existente para el manejo de la construcción, sobre todo en situación de desastres de las personas que usan y/o administran la instalación.

**Vulnerabilidad no estructural:** Está relacionada con el nivel de daños que pueden experimentar los elementos no estructurales (muros divisorios, carpintería, objetos, equipos).

**Vulnerabilidad social:** Es el grado de exposición de una familia, localidad, región o país dada la probabilidad de ocurrencia de un peligro potencialmente dañino y la insuficiencia o capacidad de protegerse, o sea aquellos aspectos físicos, materiales, sociales, de organización, de actitudes o de motivación que constituyen fortalezas o no a la hora de ofrecer las respuestas o las resistencias frente a los impactos potenciales de los desastres.



UNIÓN EUROPEA



Al servicio  
de las personas  
y las naciones



**Grupo de Evaluación de  
Riesgo de la Agencia de  
Medio Ambiente  
AMA**

**Herminia Serrano Méndez,**  
AMA, CITMA  
Tel.: (537) 202-5549  
herminia@ama.cu

[www.ama.cu](http://www.ama.cu)

**Programa de las Naciones  
Unidas para el Desarrollo  
PNUD Cuba**

**Rosendo Mesías González**  
Tel.: (537) 204-1512  
rosendo.mesias@undp.org

[registry.cu@undp.org](mailto:registry.cu@undp.org)  
[www.undp.org.cu](http://www.undp.org.cu)