



Serie: Atlas Nacional de Riesgos

# Aplicación de la metodología para la elaboración de mapas de riesgo por inundaciones costeras por marea de tormenta

*Caso Isla Arena, Municipio de Calkini, Campeche*

## Fenómenos Hidrometeorológicos



**SEGOB**

**GOBIERNO FEDERAL**



**Secretaría de Gobernación**  
Coordinación General de Protección Civil  
Centro Nacional de Prevención de Desastres  
Dirección General de Protección Civil  
Dirección General del Fondo de Desastres Naturales

AV. Delfin Madrigal No. 665,  
Col. Pedregal de Sto. Domingo,  
Del. Coyoacán  
México D.F., C.P. 04360

[www.cenapred.unam.mx](http://www.cenapred.unam.mx)

**SEGOB**



**SECRETARÍA DE GOBERNACIÓN**  
**Lic. Fernando Francisco Gómez Mont Urueta**  
Secretario de Gobernación  
**Lic. Laura Gurza Jaidar**  
Coordinadora General de Protección Civil

**CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES**  
**M. en I. Roberto Quaas Weppen**  
Director General  
**M. en C. Carlos A. Gutiérrez Martínez**  
Dirección de Investigación  
**Ing. Enrique Guevara Ortiz**  
Director de Instrumentación y Cómputo  
**Lic. Gloria Luz Ortiz Espejel**  
Directora de Capacitación  
**M. en I. Tomás Alberto Sánchez Pérez**  
Director de Difusión  
**Profra. Carmen Pimentel Amador**  
Directora de Servicios Técnicos

1ª edición, diciembre 2008  
©SECRETARÍA DE GOBERNACIÓN  
Abraham González Núm. 48,  
Col. Juárez, Del. Cuauhtémoc,  
C.P. 06699, México, D.F.

©CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES  
Av. Delfín Madrigal Núm. 665,  
Col. Pedregal de Santo Domingo,  
Deleg. Coyoacán, C.P.04360, México, D.F.  
Teléfonos:  
(55) 54 24 61 00  
(55) 56 06 98 37  
Fax: (55) 56 06 16 08  
e-mail: [editor@cenapred.unam.mx](mailto:editor@cenapred.unam.mx)  
[www.cenapred.unam.mx](http://www.cenapred.unam.mx)

©Autores:  
Héctor Eslava Morales  
Lucía Guadalupe Matías Ramírez  
Martín Jiménez Espinosa  
Óscar Arturo Fuentes Mariles  
David Ricardo Mendoza Estrada

ISBN: 978-607-7558-15-6

Edición: La edición estuvo a cargo de los autores, bajo la coordinación de Violeta Ramos Radilla  
Portada: Depto. de Diseño y Logística

Derechos reservados conforme a la ley

IMPRESO EN MÉXICO. *PRINTED IN MEXICO*  
Distribución Nacional e Internacional: Centro Nacional de Prevención de Desastres

EL CONTENIDO DE ESTE DOCUMENTO ES EXCLUSIVA RESPONSABILIDAD DE LOS AUTORES

Se terminó de imprimir en diciembre 2008  
La edición en papel couche de 100 grs. en interiores y portada en cartulina sulfatada de 14 puntos,  
consta de 500 ejemplares.



Serie: Atlas Nacional de Riesgos

**Aplicación de la metodología  
para la elaboración de mapas de riesgo  
por inundaciones costeras por marea de tormenta  
*Caso Isla Arena, Municipio de Calkíni, Campeche***

**Fenómenos Hidrometeorológicos**



**SEGOB**





## CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN .....	5
1.1	Antecedentes de ciclones tropicales en el estado de Campeche .....	5
2.	LOCALIZACIÓN DE ISLA ARENA, MUNICIPIO DE CALKINÍ, CAMPECHE.....	8
3.	ELABORACIÓN DE MAPAS DE RIESGO POR INUNDACIONES COSTERAS POR MAREA DE TORMENTA .....	9
3.1	Preparación de los planos de trabajo .....	9
3.2	Datos y cálculos auxiliares .....	15
3.3	Determinación de la amplitud de la marea de tormenta y áreas inundables con agua marina .....	15
3.4	Asignación de las probabilidades a las áreas de inundación.....	16
3.5	Construcción de mapas de peligro por inundaciones costeras.....	17
3.6	Estimación de la vulnerabilidad .....	23
3.7	Evaluación del riesgo.....	28
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	47
	BIBLIOGRAFÍA .....	53



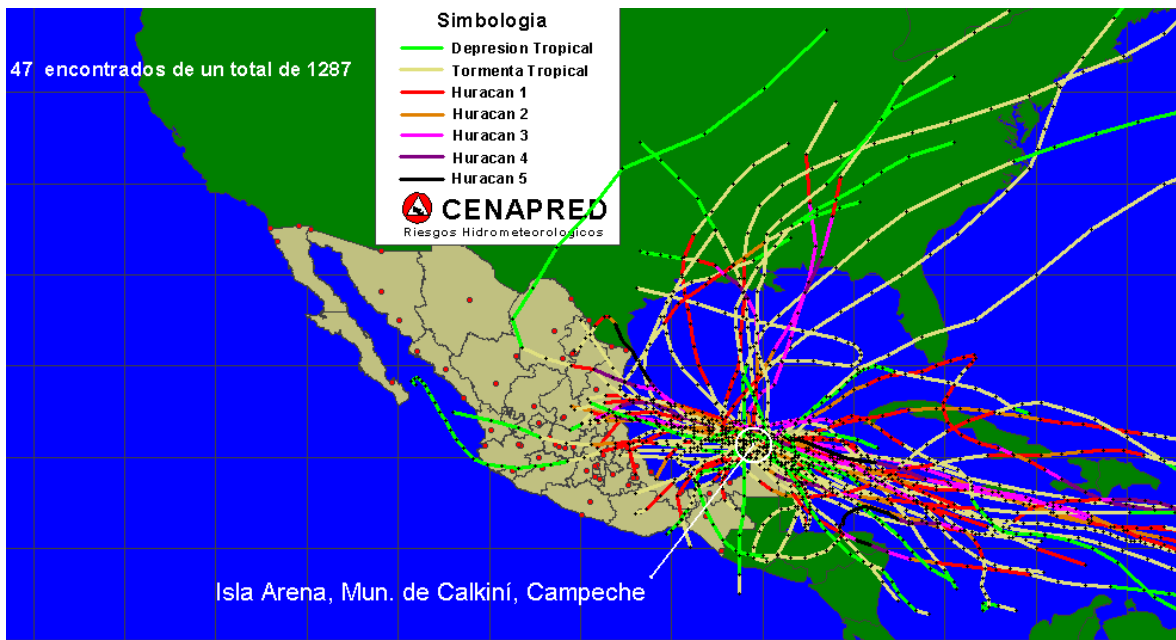
# IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA PARA LA ELABORACIÓN DE MAPAS DE RIESGO POR INUNDACIONES COSTERAS POR MAREA DE TORMENTA: CASO ISLA ARENA, MUNICIPIO DE CALKINÍ, CAMPECHE

## 1. INTRODUCCIÓN

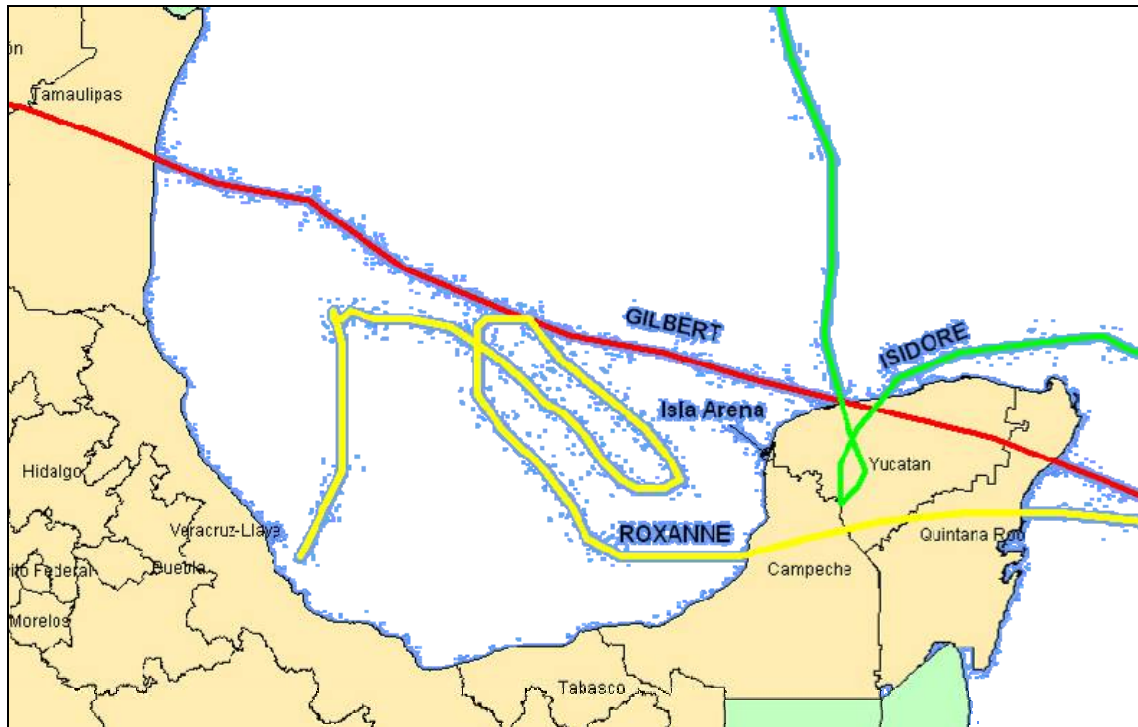
Para valorar la confiabilidad de las metodologías para la elaboración de mapas de peligro y riesgo por inundaciones costeras, generadas por la marea de tormenta de los ciclones tropicales, propuestas en la Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos, *fenómenos hidrometeorológicos* de la serie Atlas Nacional de Riesgos, editada por CENAPRED se llevó a cabo un proyecto piloto para aplicar dicha metodología en la población de Isla Arena, municipio de Calkiní, en el estado de Campeche. Con dicha metodología se pretende apoyar a las unidades municipales y estatales de Protección Civil que enfrentan problemas con terrenos de baja elevación topográfica ubicados cerca del mar y que están sujetos al impacto de estos fenómenos.

### 1.1 Antecedentes de ciclones tropicales en el estado de Campeche

En el registro de ciclones tropicales para el océano Atlántico, que abarca desde el año 1851 hasta 2005, se realizó una búsqueda de los ciclones tropicales que han pasado cerca de Isla Arena en un radio de 100 km y se encontró que se han registrado 47 ciclones tropicales (figura 1.1), aunque los pobladores sólo recuerdan los ciclones tropicales más recientes, los cuales causaron algún grado de daño en sus viviendas. Estos ciclones tropicales son Gilbert, que se presentó en 1988, Roxanne, en 1995 e Isidore, en 2002. (Figura 1.2).



1.1 *Ciclones tropicales que han pasado cerca de Isla Arena, Cakiní, desde 1851 hasta 2005*



**1.2 Trayectorias de los ciclones tropicales Gilbert (1988), Roxanne (1995) e Isidore (2002)**

Uno de los últimos ciclones que afectó las costas del estado de Campeche fue el huracán Isidore (2002), éste trastornó principalmente al municipio de Calkiní, donde las autoridades municipales de Protección Civil evacuaron a 400 habitantes de Isla Arena el 22 de septiembre, donde después ocurrieron inundaciones en esa isla, estas personas fueron albergadas en el auditorio municipal de la ciudad de Calkiní, que presentó daños severos por los fuertes vientos en los techos de láminas de zinc. También se reportaron devastaciones en casas con techos de huano, postes y árboles caídos (Protección Civil de Campeche, 2002).

Por otra parte, la Administración Nacional del Océano y la Atmósfera de los Estados Unidos (NOAA por sus siglas en inglés) (2002) estimó una marea de tormenta de 1.8 a 3.2 m en el noroeste de la península de Yucatán, justo cerca de la comunidad de Celestún; dicho sitio es aledaño a Isla Arena, así que posiblemente una altura similar se presentó en ésta.

En el estado de Campeche se han reportado varias afectaciones a causa de la presencia de los ciclones tropicales, como los que a continuación se citan (Reportes del Centro Nacional de Huracanes de la NOAA sobre Ciclones Tropicales):



**Tabla 1.1 Algunas afectaciones de los ciclones tropicales en el estado de Campeche**

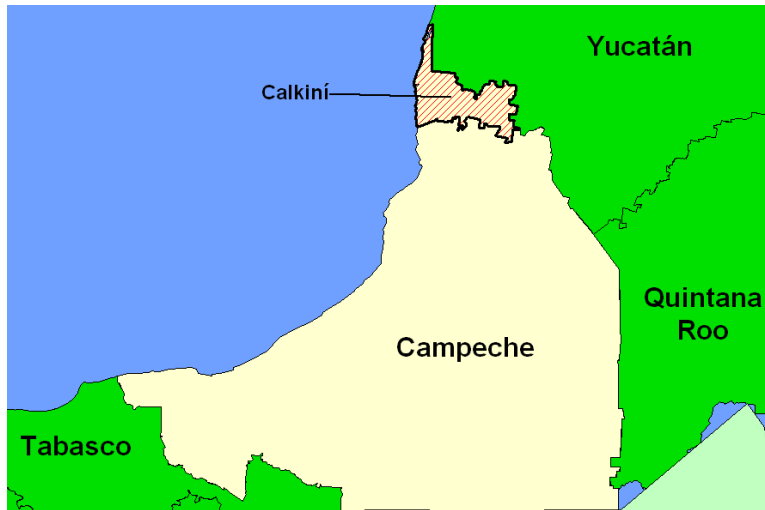
Fecha	Categoría y nombre del ciclón	Lugar de afectación	Daños
4 de septiembre de 1974	Huracán Carmen	Campeche, Hopelchén, Tenabo, Calkiní	Lluvias y vientos intensos, así como inundaciones.
15 de septiembre de 1988	Huracán Gilbert	Campeche	Vientos intensos, oleaje y marea de tormenta entre 4.5 y 6 m a lo largo de las zonas costeras.
6 de agosto de 1990	Tormenta tropical Diana	Campeche, Champotón, Tenabo	Lluvias intensas e inundaciones.
18 de septiembre de 1993	Depresión tropical Gert	Campeche e Isla del Carmen	Lluvias e inundaciones.
30 de septiembre de 1995	Tormenta tropical Opal	Bahía de Campeche	Lluvias intensas e inundaciones.
12 de octubre de 1995	Huracán Roxanne	Isla del Carmen, Champotón, Campeche, Escarcéga	Inundaciones, paralización de la industria de PEMEX, puentes caídos, erosión en playas, cortes carreteros.
22 de agosto de 1996	Huracán Dolly	Bahía de Campeche	Lluvias intensas e inundaciones provocaron evacuaciones de varias poblaciones.
3 de noviembre de 1998	Tormenta tropical Mitch	Campeche	Lluvias intensas e inundaciones.
4 de octubre de 2000	Depresión tropical Keith	Champotón, Campeche	Lluvias intensas e inundaciones.
22 de agosto de 2001	Tormenta tropical Chantal	Campeche	Vientos intensos provocaron la caída de varios árboles.
24 de septiembre de 2002	Huracán Isidore	Calkiní, Campeche	Lluvias intensas, Inundaciones y vientos afectaron principalmente a la agricultura y ganadería.
3 de octubre de 2005	Depresión tropical Stan	Campeche, Hecelchakán, Tenabo,	Lluvias e inundaciones en zonas bajas.

Fuente: Centro Nacional de Huracanes, NOAA

Los pobladores de Isla Arena mencionan que los daños por el paso de los ciclones tropicales han sido por fuertes vientos e inundación por marea de tormenta, y también recuerdan haber sido evacuados varias veces de forma preventiva por el paso de estos fenómenos naturales; la última ocasión se efectuó en agosto de 2007 por el paso del huracán Dean.

## 2. LOCALIZACIÓN DE ISLA ARENA, MUNICIPIO DE CALKINÍ, CAMPECHE

La localidad de Isla Arena se localiza a 72 km. al Noroeste de la cabecera municipal de Calkiní, en el estado de Campeche. El centro de ésta tiene las coordenadas  $20^{\circ} 41' 26''$  N y  $90^{\circ} 27' 10''$  W. Su población (Censo 2005) es de 753 habitantes; en su mayoría se dedican a la pesca de crustáceos y moluscos. Cuenta con los servicios de agua potable entubada y luz eléctrica, también cuenta con un centro de educación inicial, otro de preescolar (“Sor Juan Inés de la Cruz”), la Escuela Primaria Rural “Valentín Gómez Farías” y la Telesecundaria # 23. Se dice que esta comunidad fue declarada asentamiento humano en agosto de 1942. El 18 de junio de 1999, fue inaugurado el puente que une a Punta Arena con Isla Arena.



*Figura 2.1 Ubicación geográfica de Isla Arena*

### 3. ELABORACIÓN DE MAPAS DE RIESGO POR INUNDACIONES COSTERAS POR MAREA DE TORMENTA

Para tener un mejor entendimiento de la lectura de este documento, se recomienda tener a la mano el ejemplar de la Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos, *fenómenos hidrometeorológicos* de la serie Atlas Nacional de Riesgos, editada por CENAPRED, con el objeto de tener una rápida consulta de los apartados y ecuaciones que se mencionan a lo largo de éste libro. Si acaso no se cuenta con dicho ejemplar, se recomienda bajar su versión electrónica en formato pdf de la página Web del CENAPRED (<http://atl.cenapred.unam.mx/metadateexplorer/guiabasica.jsp>). Cabe mencionar que cada vez que se haga referencia a la Guía Básica nos estamos refiriendo al ejemplar antes mencionado.

Para elaborar mapas de riesgo de inundación por marea de tormenta se requiere de un plano topográfico que contenga la zona de interés. Además, según se especifica en la Guía Básica, el plano topográfico debe contar con curvas de nivel a cada metro o menos, entre las elevaciones 0 y 10 m. Éste puede construirse a partir de las cartas topográficas o los modelos digitales de terreno del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI).

El plano con curvas de nivel es indispensable para dibujar las áreas de inundación con agua marina. Ellas se forman por el ingreso de agua desde el océano, cuando el nivel medio del mar asciende durante la ocurrencia de un ciclón tropical.

Como lo establece la Guía Básica, el método para construir los mapas de peligro por marea de tormenta consta de las partes siguientes:

- a) Preparación de los planos de trabajo
- b) Datos y cálculos auxiliares
- c) Determinación de la altura de marea de tormenta y las áreas de inundación
- d) Asignación de probabilidades a cada área inundada

#### 3.1 Preparación de los planos de trabajo

Como se indica en la metodología, se buscó un plano topográfico que contuviera la zona de interés. Pero debido a que no se consiguió un plano topográfico de mejor resolución que la escala 1:50,000, en el cual no se aprecia la configuración del terreno de Isla Arena, se realizaron trabajos de campo para obtener una topografía a detalle e información de las características de la población. Dichos trabajos consistieron en un levantamiento topográfico, en la georreferenciación de las viviendas y de la aplicación de una encuesta casa por casa. El levantamiento topográfico se llevó a cabo utilizando una “estación total”<sup>1</sup> y se inició en la parte sur de la localidad, donde se encuentra el faro (figura 3.1). La georreferenciación de las viviendas y de la aplicación de una encuesta casa por casa (figura 3.2) se realizó con ayuda de dos unidades Mapa Móvil (ver figura 3.3) a las cuales se les cargó una imagen de la localidad georreferenciada y se creó una base de datos en la cual se vaciarían las respuestas de la encuesta.

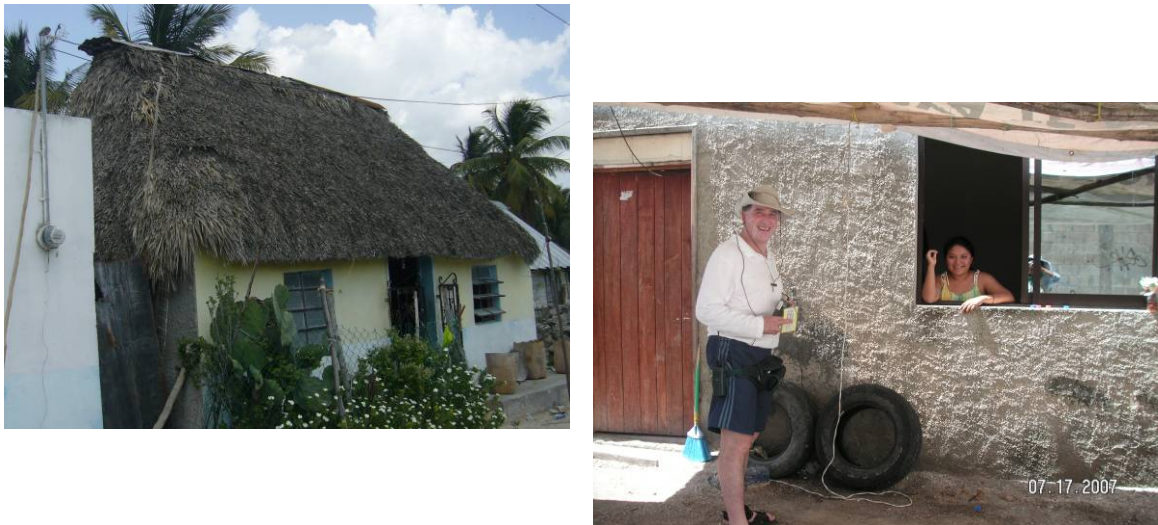
---

<sup>1</sup> Se denomina **estación total** a un instrumento electro-óptico utilizado en topografía, cuyo funcionamiento se apoya en la tecnología electrónica.

La ventaja de usar las unidades Mapa Móvil es que al mismo momento se georrefieren las casas y se lleva a cabo la encuesta. Cabe mencionar que la aplicación de la encuesta se puede hacer en forma convencional, es decir, con lápiz y papel, ubicando las casas en un croquis de la localidad.



**Figura 3.1 Levantamiento topográfico con “estación total”**



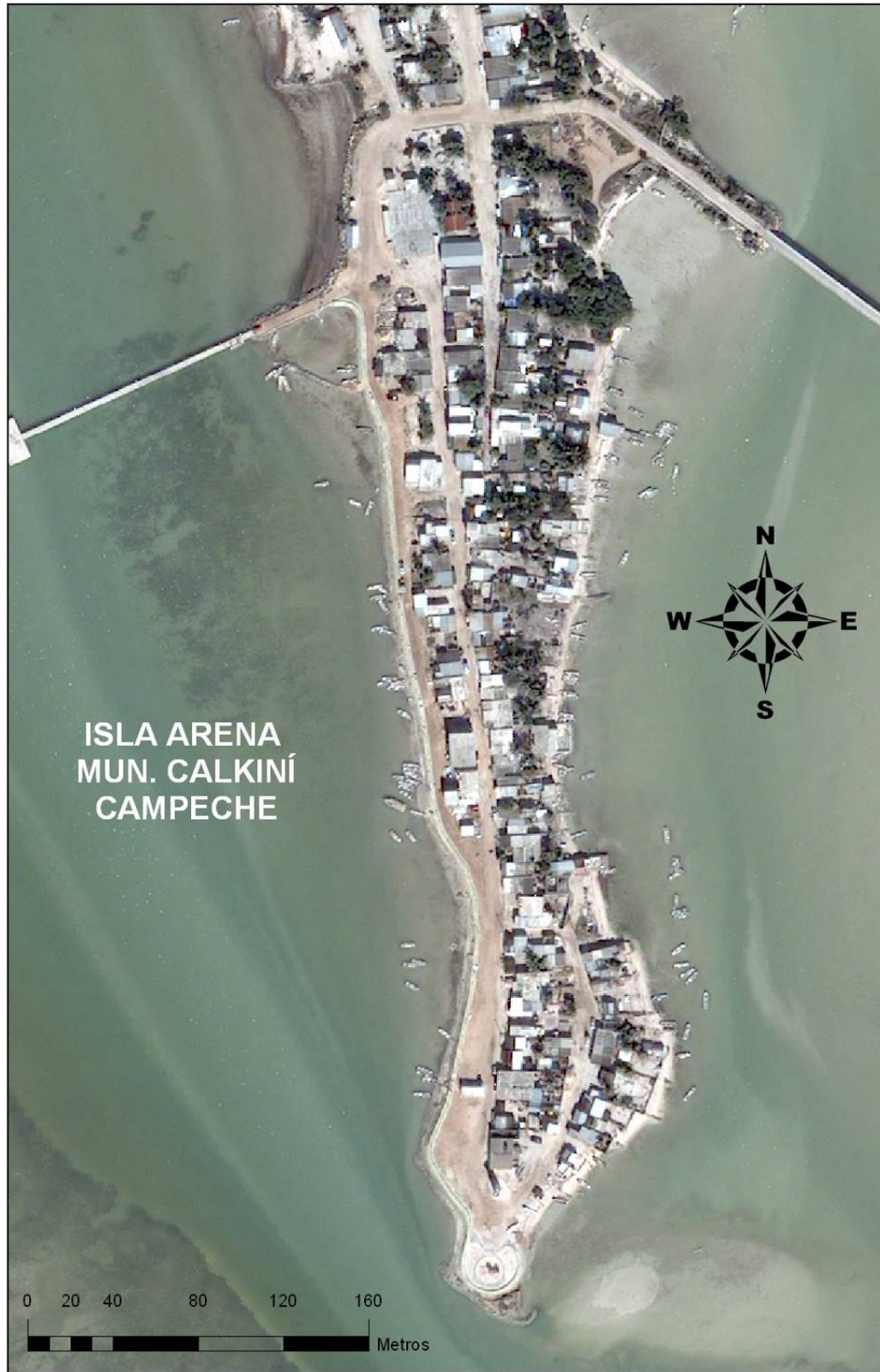
**Figura 3.2 Georreferenciación de las casas y levantamiento de encuestas**



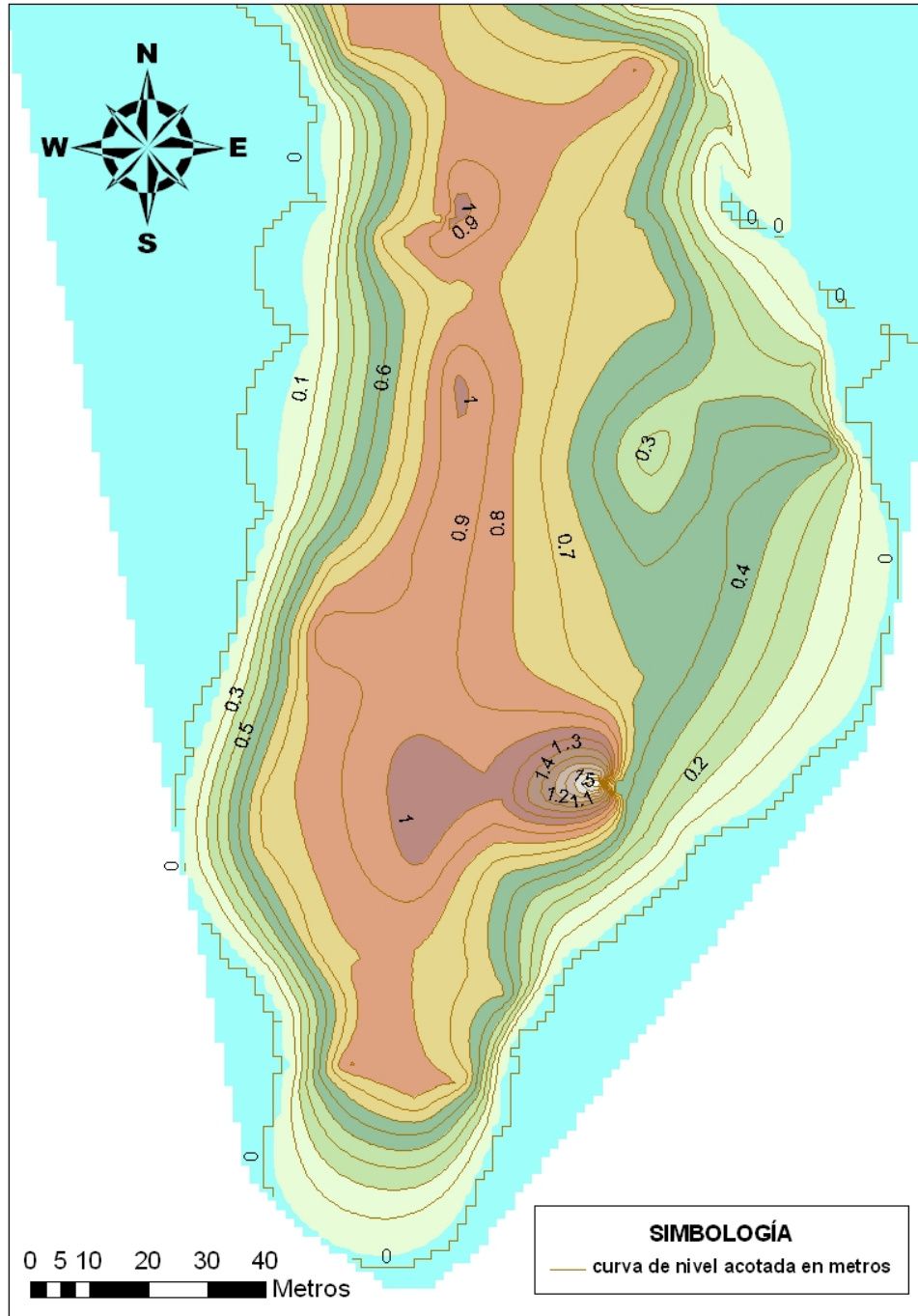
**Figura 3.3 Equipo Mapa Móvil utilizado en los trabajos de campo**

La aplicación de la encuesta que se realizó casa por casa tuvo como objetivo obtener información sobre los materiales de construcción de las viviendas, así como de las características de las familias que habitan éstas, como es el número de miembros, edades, sexo, escolaridad, capacidades especiales, etc. Los trabajos de campo se realizaron en cuatro días y se tuvo el apoyo del Centro Estatal de Emergencias de Campeche (CENECAM) y la Unidad Municipal de Protección Civil de Calkiní.

Con base en la información obtenida en campo y con ayuda de una imagen de satélite Quick Bird multispectral con resolución de 60 cm, tomada en 2005, que fue adquirida por el CENAPRED a una empresa proveedora de imágenes de satélite (figura 3.4), se creó un modelo digital de elevación, donde se observó una elevación máxima del terreno de 1.80 m sobre el nivel del mar, éste se utilizó para formar un mapa topográfico de Isla Arena con curvas de nivel a cada 10 centímetros.

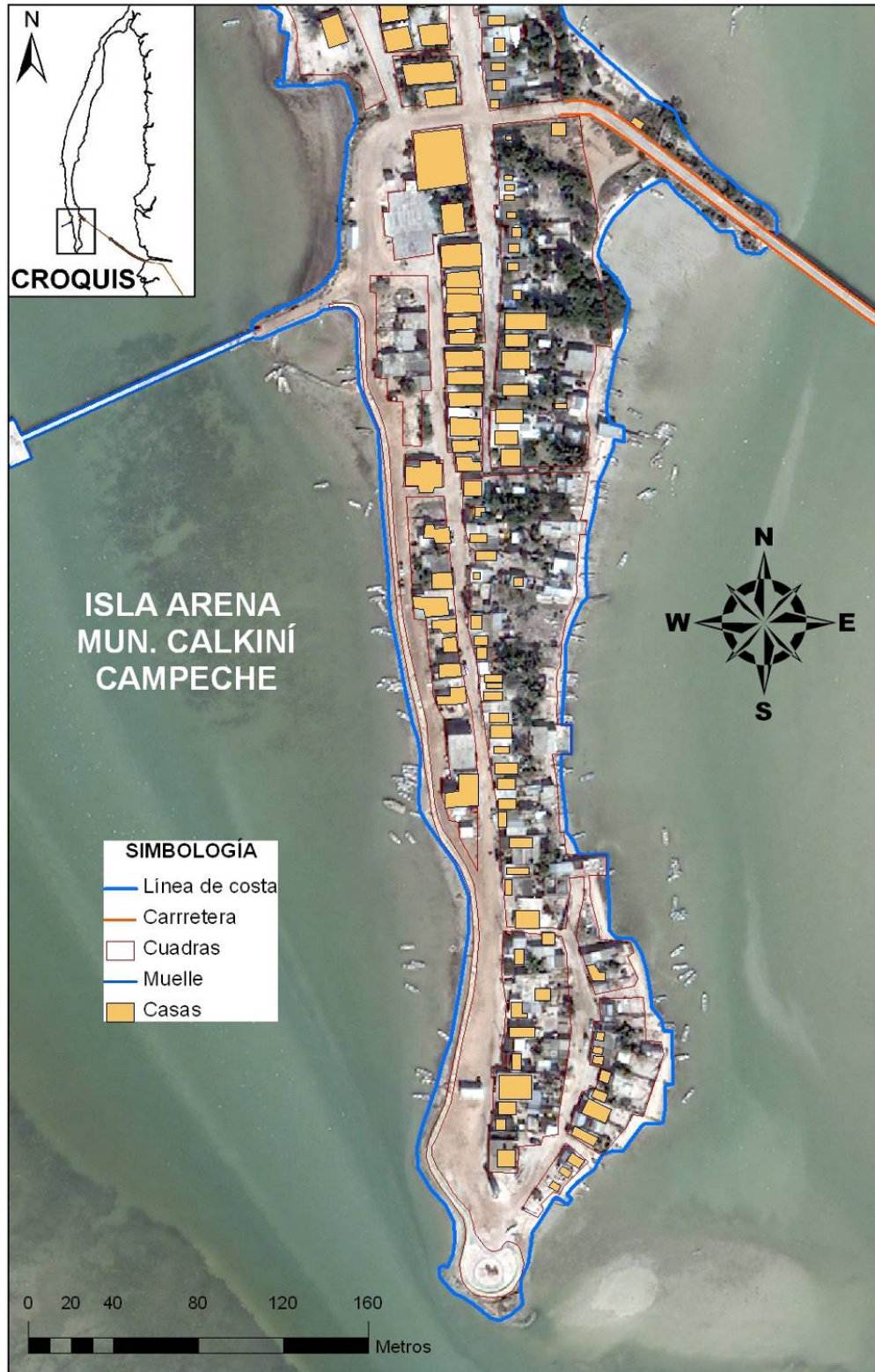


*Figura 3.4 Detalle de la imagen de satélite de la zona sur de Isla Arena*



**Figura 3.5** Detalle del mapa con curvas de nivel a cada 10 cm. de la zona sur de Isla Arena

Con ayuda de la imagen de satélite y con los datos de la georreferencia de las viviendas, se creó el mapa base (figura 3.6), que sirvió más adelante para obtener los mapas de peligro y vulnerabilidad, así como los de riesgo. Sobre la imagen de satélite se digitalizaron la línea de costa, los caminos de acceso, los muelles y las viviendas.



*Figura 3.6 Detalle del mapa base de la zona sur de Isla Arena*



### 3.2 Datos y cálculos auxiliares

Como caso extremo, o más desfavorable, se consideró que el meteoro que puede afectar a Isla Arena deberá pasar al Norte de ésta, y a una distancia aproximada de 60 km, por lo que la latitud y longitud que se consideran para los cálculos serán  $21^{\circ} 14' 6''$  N y  $90^{\circ} 27' 22''$  W.

Con los valores de la longitud y latitud antes mencionadas, se obtuvo de la figura 2.6 “Máxima velocidad de traslación de los ciclones tropicales de traslación de los ciclones tropicales en el Atlántico” (Rosengaus *et al.*, 2002) de la Guía Básica, un valor de 32 km/h para la velocidad de desplazamiento ( $V_d$ ), que será empleada en los cálculos de la velocidad máxima del viento sostenido.

El valor del ángulo  $\alpha$  que forma la dirección de desplazamiento del ciclón tropical con respecto a la línea de costa próxima al sitio de interés, de la figura 2.13 “Dirección de la traslación (media y variabilidad) para ciclones tropicales en el Atlántico norte 1851-2000” (Rosengaus *et al.*, 2002) de la Guía Básica se obtuvo un valor de  $\alpha = 270^{\circ}$ . Por lo que el factor correctivo ( $F$ ) propuesto en la metodología resultó igual a 0.6, de acuerdo con la expresión (2.4) de dicha guía.

### 3.3 Determinación de la amplitud de la marea de tormenta y áreas inundables con agua marina

Para determinar las elevaciones  $h$  (en m) más grandes que alcanza el nivel del mar por la marea de tormenta (amplitud de la marea de tormenta) para las diferentes categorías de un ciclón tropical, primeramente se calcularon los radios de máximo viento ( $R$ ) y los vientos máximos sostenidos ( $V$ ).

Del apartado 2.2.1.1 página 225 “Cálculo de la magnitud de los vientos de un ciclón tropical” de la guía antes mencionada se tiene que:

El viento sostenido (en m/s) más grande ocurre a una distancia  $R$ , desde el centro del ciclón tropical y se puede calcular con la expresión:

$$V = 20.1834(1013 - p_0)^{0.5} - 0.2618 R \text{ sen} \phi + 0.50 V_d \quad (2.1)$$

donde  $p_0$  es la presión en el centro del ciclón tropical en milibares (mb);  $V_d$  la velocidad de desplazamiento del ciclón tropical (en km/h) y  $\phi$  es la latitud en el centro del ciclón (en grados).

Para estimar el valor  $R$  del radio de máximo viento (en km), se puede usar la expresión:

$$R = 0.0007 e^{0.01156 p_0} \quad (2.2)$$

donde:

$p_0$  es la presión central,

$e$  es la base del logaritmo natural ( $e=2.71828\dots$ )

Del apartado 2.2.3.1 página 232 “Estimación de la altura máxima de la marea de tormenta”, se tiene la expresión (2.3) para conocer la amplitud máxima de la marea de tormenta debida a un ciclón tropical:

$$h = (0.03 R + 0.000119 V^2 - 1.4421) F \quad (2.3)$$

donde:

$h$  es elevación (en metros) más alta que alcanza la marea de tormenta en el mar cerca de la costa.

$R$  es el radio de máximo viento (en km)

$V$  es la velocidad máxima del viento sostenido (en km/h) calculado a 10 m sobre la superficie media del mar a la distancia  $R$  del centro del ciclón tropical (puede obtenerse a partir de la presión central del ciclón tropical, radio de máximo viento, latitud del centro del ciclón tropical y la velocidad de traslación como se describió en la sección 2.2 de la Guía Básica).

$F$  es un factor correctivo por dirección del viento.

Se utilizó una hoja de cálculo de Excel para realizar los cálculos, utilizando las ecuaciones 2.1, 2.2 y 2.3, antes mencionadas, de la guía metodológica.

**Tabla 3.1 Amplitud de la marea de tormenta**

Amplitud Máxima de la Marea de Tormenta debida a un Ciclón Tropical								
Tipo	po (mb)	LATITUD ( $\Phi$ )	ALFA ( $\alpha$ )	Vd (Km/h)	R (Km)	V (Km)	F	h (m)
TT	985	21.235	295	32	61.69	116.95	0.6	1.2
H1	980	21.235	295	32	58.23	126.43	0.6	1.3
H2	965	21.235	295	32	48.96	151.20	0.6	1.7
H3	945	21.235	295	32	38.85	178.72	0.6	2.1
H4	920	21.235	295	32	29.10	207.88	0.6	2.8
H5	882	21.235	295	32	18.76	245.23	0.6	3.8

Los cálculos arrojaron los siguientes resultados: para tormenta tropical  $h = 1.2$  m; huracán categoría 1,  $h = 1.3$  m; huracán categoría 2,  $h = 1.7$  m; huracán categoría 3,  $h = 2.1$  m; huracán categoría 4,  $h = 2.75$  m y huracán 5,  $h = 3.8$  m.

Como ya se mencionó, el modelo digital de elevación reporta una cota máxima de 1.80 m sobre el nivel medio del mar, por lo que para los valores de amplitud de la marea de tormenta de 1.2 m y 1.3 m, la superficie de Isla Arena estaría parcialmente cubierta por el área inundación con agua marina. Y para los valores de amplitud de la marea de tormenta de 1.7 m, 2.1 m, 2.75 m y 3.8 m la superficie de Isla Arena estará totalmente cubierta con agua marina.

Para obtener el área de inundación con respecto a la amplitud de la marea de tormenta de 1.2 m y 1.3 m, se identificaron las curvas de nivel correspondientes a estas cotas y se consideró que todo abajo de éstas se encontraba sumergido en el agua marina, por lo que se crearon los archivos en formato *shape* (shp) a partir de esta consideración. Las profundidades de agua marina que se presentan en la zona de inundación dependen de la topografía del terreno.

### 3.4 Asignación de las probabilidades a las áreas de inundación

Continuando con la aplicación de la metodología se determinó el periodo de retorno en el que se presentaría un ciclón tropical en la zona en estudio, a partir de los mapas correspondientes a la categoría de cada ciclón (figuras 2.16 a 2.22 de la guía metodológica) con los que se realizó una estimación visual de la probabilidad conforme a las líneas de igual probabilidad, y del mapa de número total de ciclones tropicales en México para el mismo punto, (golfo de México y mar Caribe de 1851-2005) (figura 2.23 de la guía) donde nuevamente se realiza una estimación visual del dato. Para la ubicación del punto considerado es nula la probabilidad de que se presente un huracán categoría 5.

Incorporando los datos de la estimación visual anterior, en el archivo de Microsoft Excel (que estará disponible en la versión electrónica de este documento en la pagina Web del CENAPRED) con nombre Cálculo\_Tr\_Ciclones2005.xls, se calculan en forma automática dichos periodos de retorno, como se presenta en la tabla 3.2.

**Tabla 3.2 Probabilidades en las áreas de inundación**

Costa del Golfo de México y Mar Caribe								
Cálculo del periodo de retorno								
Tipo	Intensidad	P(i) Inter.	P(i) Ajustada	P(i) Acum.	Eventos por tipo	$\mu(i)$ total	$\mu(i)$ anual	Tr(i)
DT	1	0.6	0.421	0.4214	12.64	30.00	0.1935	5.17
TT	2	0.63	0.443	0.8639	13.28	17.36	0.1120	8.93
H1	3	0.1	0.070	0.5127	2.11	4.08	0.0263	37.98
H2	4	0.06	0.042	0.1124	1.26	1.97	0.0127	78.50
H3	5	0.025	0.018	0.0597	0.53	0.71	0.0046	155.00
H4	6	0.0087	0.006	0.0237	0.18	0.18	0.0012	155.00
H5	7	0	0.000		0.00	-	-	-
-	8	0	0		0.00	0.00	-	-
	Suma	1.4237		-	30			

**Grado de confianza de la estimación de probabilidad**

**BUENO**

Número Total de ciclones	30	Años del periodo	155
--------------------------	----	------------------	-----

Pegar valores en las celdas de fondo gris.

Analizar

Limpiar Celdas

En la tabla 3.2 se observa que la presencia en Isla Arena de un ciclón tropical, en sus diferentes categorías de tormenta tropical, huracán 1, huracán 2, huracán 3 y huracán 4, tiene un periodo de retorno de 9, 38, 79, 155 y 155 años, respectivamente.

### 3.5 Construcción de mapas de peligro por inundaciones costeras

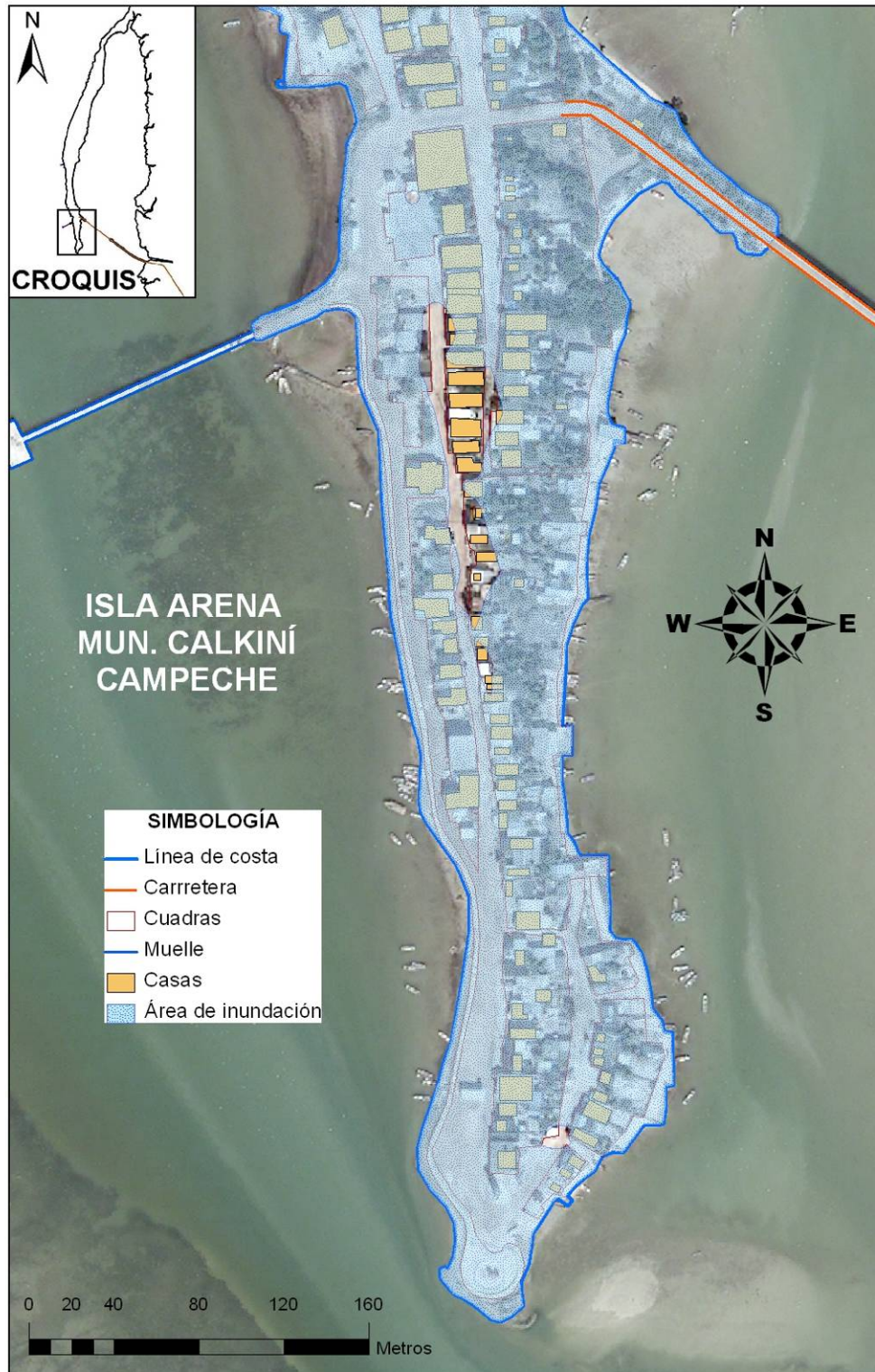
Con los resultados de los cálculos anteriores se construyeron los mapas de peligro de inundaciones costeras por marea de tormenta para Isla Arena.

Para la construcción de dichos mapas se utilizó el mapa base, al cual se le sobrepusieron las capas de las áreas de inundación.

En las figuras 3.7a y 3.7b se muestran detalles del mapa de peligro por inundaciones costeras por marea de tormenta, para un periodo de retorno  $Tr = 9$  años, en el cual se aprecia que escasas 17 viviendas de un total de 213 no serían alcanzadas por la zona de inundación. En las figuras 3.8a y 3.8b se muestran detalles del mapa de peligro por inundaciones costeras para un periodo de retorno  $Tr = 38$  años, en el cual se puede observar que sólo 7 viviendas no serían alcanzadas por la inundación.

En la figura 3.9 se observa que, para un periodo de retorno mayor a 38 años, la localidad de Isla Arena es cubierta en su totalidad por las inundaciones costeras por marea de tormenta.

Los mapas de peligro muestran que Isla Arena tendrá problemas de inundación para todos los periodos de retorno  $Tr$  analizados, con  $Tr = 9$  años se inunda más del 96% de la superficie de la localidad con una amplitud de la marea de tormenta 1.20 m, aumentando este porcentaje conforme el periodo de retorno crece.



**Figura 3.7a** Detalle del mapa de peligro de la zona sur de Isla Arena,  $Tr=9$  años

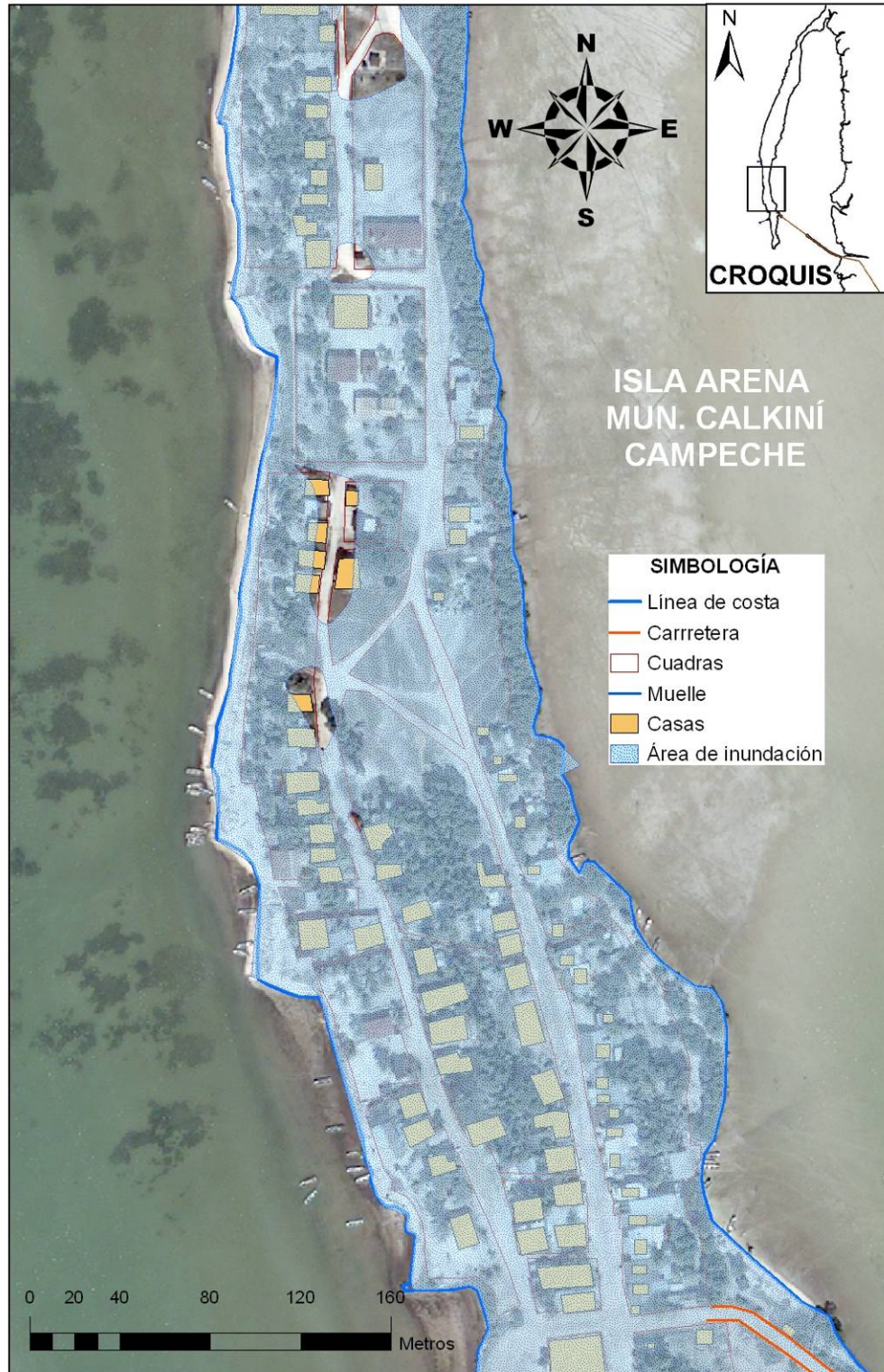
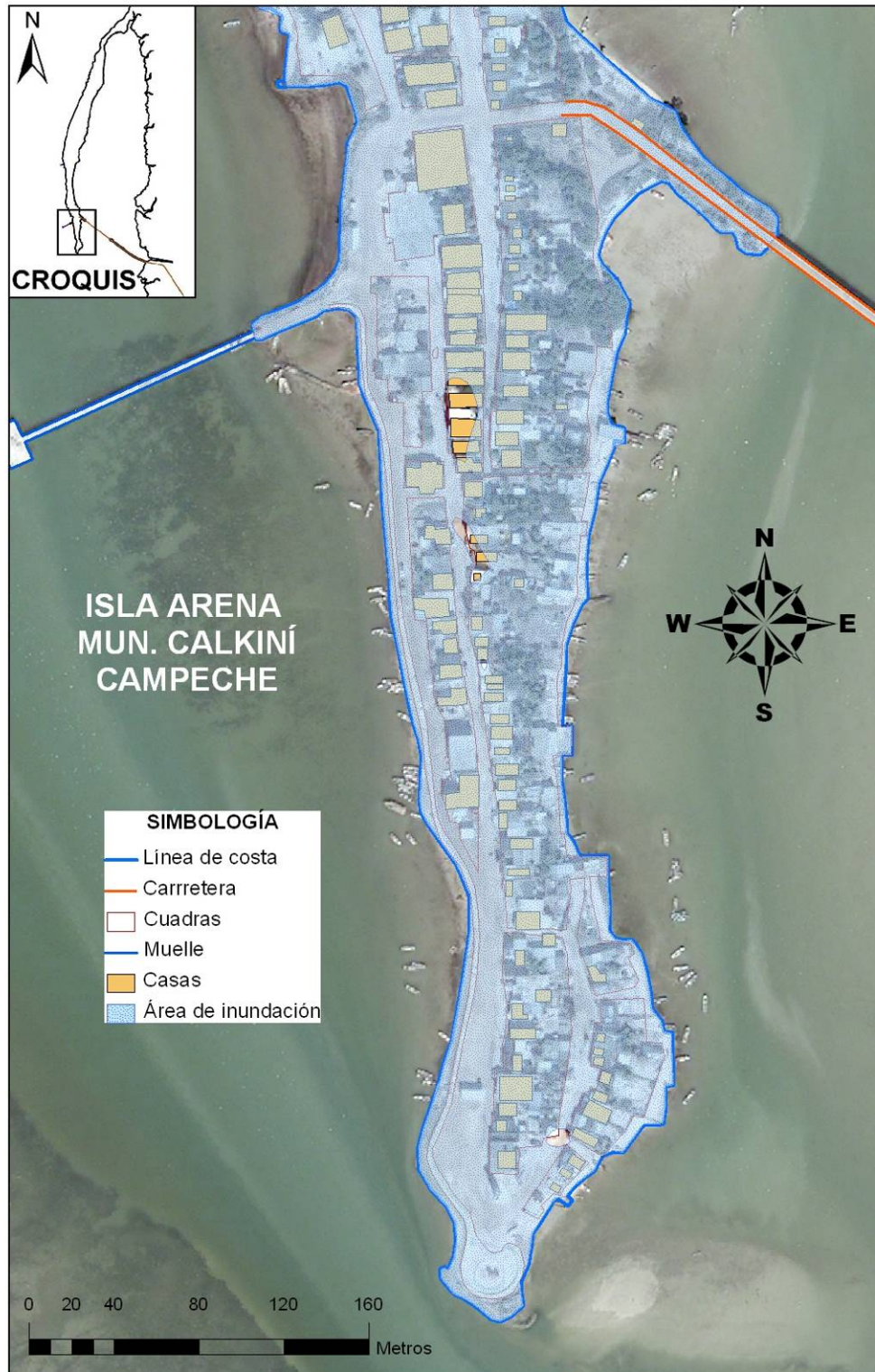
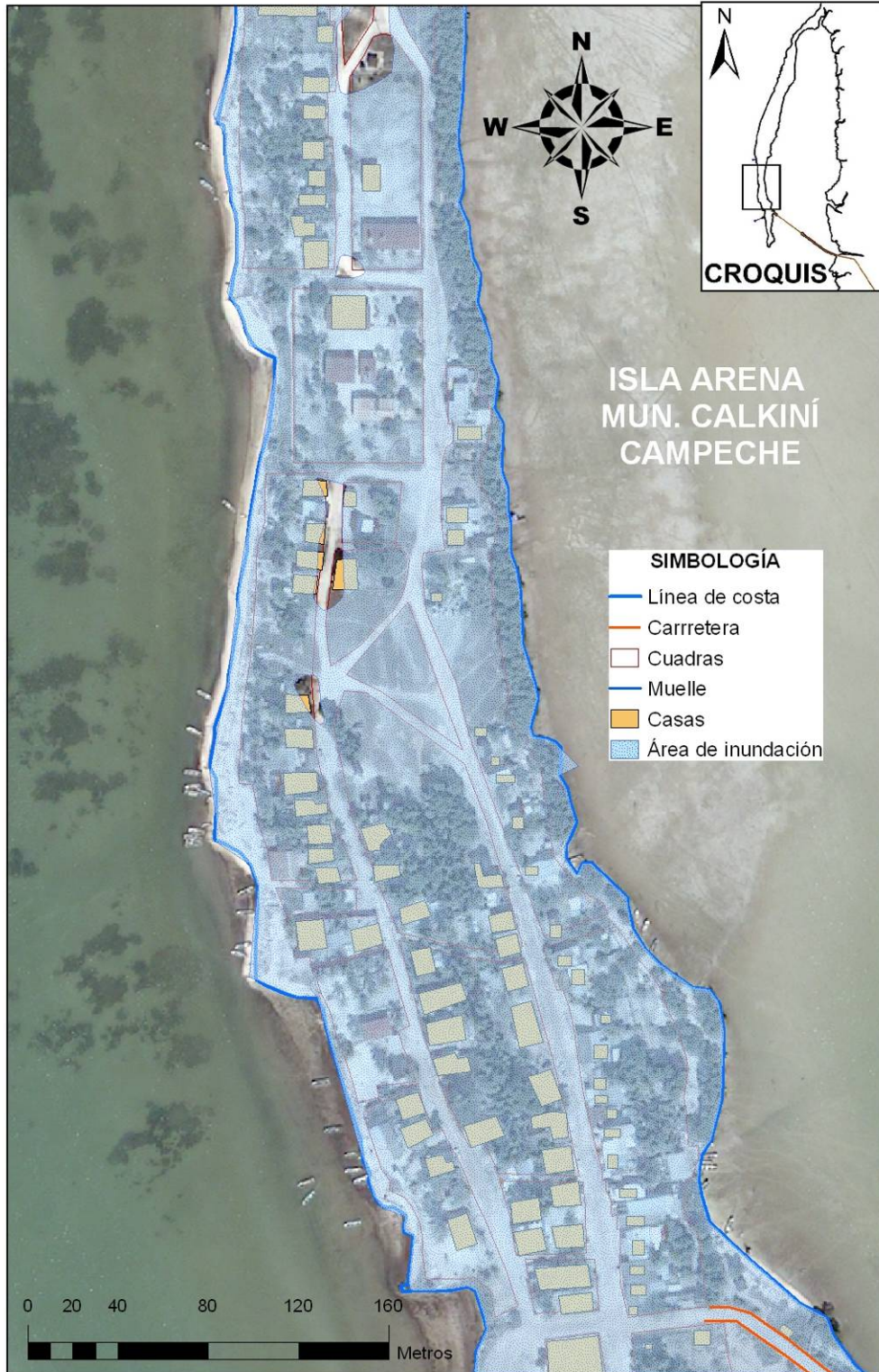


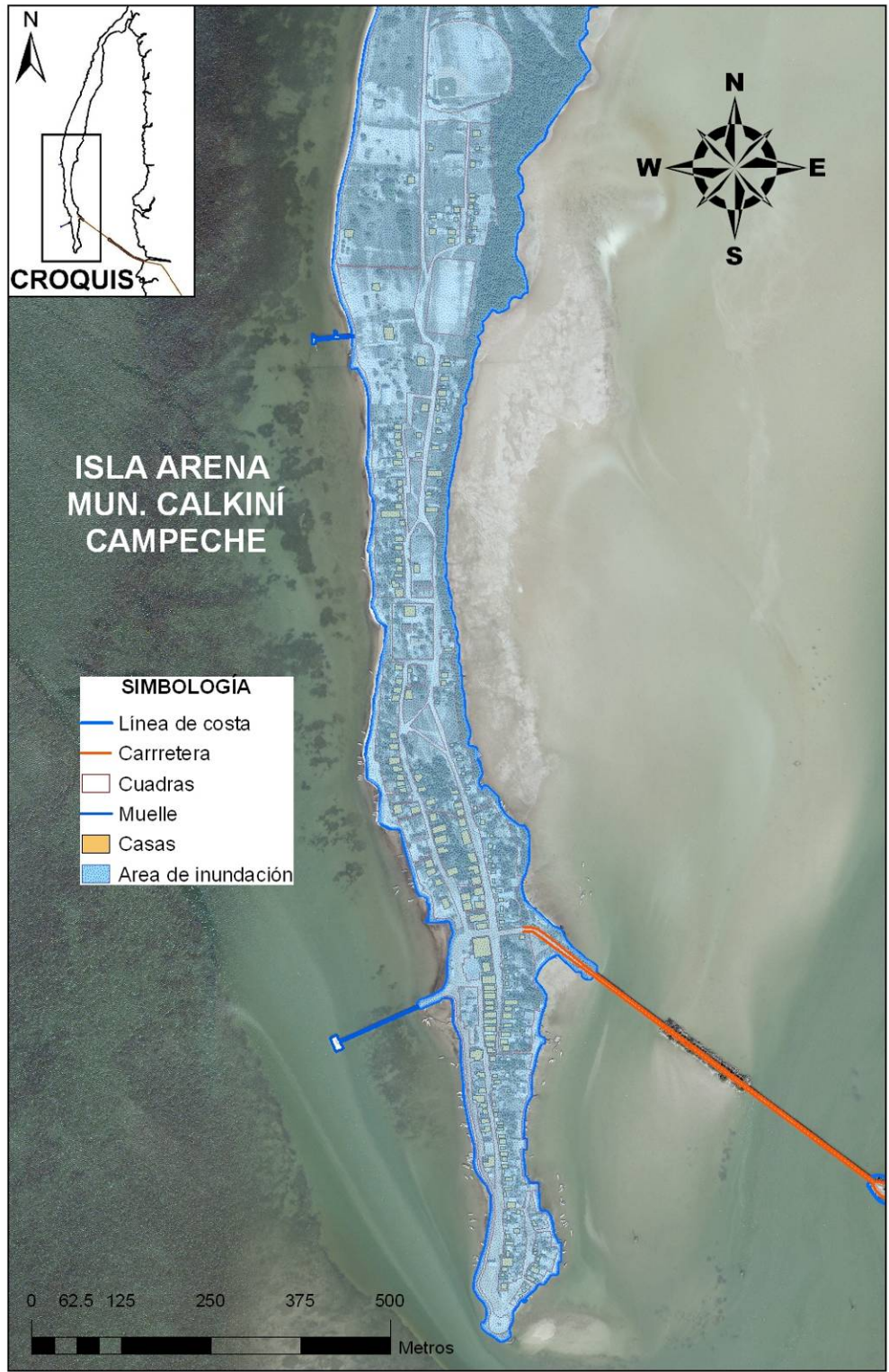
Figura 3.7b Detalle del mapa de peligro de la zona centro de Isla Arena, Tr =9 años



**3.8a** Detalle del mapa de peligro de la zona sur de Isla Arena,  $Tr = 38$  años



**3.8b** *Detalle del mapa de peligro de la zona centro de Isla Arena, Tr =38 años*



**3.9 Mapa de peligro por inundaciones costeras de Isla Arena,  $Tr > 38$  años**



### 3.6 Estimación de la vulnerabilidad

La Guía básica para la elaboración de atlas estatales y municipales de peligros y riesgos *Fenómenos Hidrometeorológicos* permite estimar el grado de vulnerabilidad a partir de la ubicación de las casas y propiedades de los habitantes respecto a la cercanía de la costa y de las características de las viviendas. La medición de la vulnerabilidad por inundaciones que se maneja, se refiere solamente a los bienes que tiene la población dentro de sus viviendas, conocida como “menaje” o “enseres”, por lo que se considera que las inundaciones ocurren lentamente, es decir, hay tiempo suficiente para que las personas puedan desalojar sus viviendas, de modo tal que sus vidas no se expongan, o bien, se cuenta con el Sistema de Alerta Temprana para Ciclones Tropicales (SIAT, CT) que permite realizar evacuaciones preventivas.

Para el caso de estudio, se decidió levantar las características físicas de todas las viviendas debido a que los problemas por inundaciones están latentes en toda la localidad.

Las viviendas se clasificaron en cinco niveles (tabla 3.3) de acuerdo con el material y tipo de construcción, para poder inferir su afectación ante una inundación.

**Tabla 3.3 Índice de vulnerabilidad según el tipo de vivienda**

Tipo	Índice de vulnerabilidad	Color propuesto	Valor máximo de los daños
I	Alto	Rojo	\$12,500
II	Medio - alto	Naranja	\$50,000
III	Medio	Amarillo	\$150,500
IV	Medio – bajo	Verde claro	\$300,000
V	Bajo	Verde	\$450,000

En el momento de aplicar la encuesta también se obtuvieron las coordenadas geográficas de las viviendas, con el objeto de ubicarlas correctamente sobre el modelo digital de elevación y determinar el nivel de inundación de acuerdo a la sobre elevación de la marea de tormenta.

Para identificar la vulnerabilidad por inundación costera en la localidad de Isla Arena, se utilizó un mapa, en formato de *shape* de polígonos, que representa la traza urbana, un mapa de puntos con el mismo formato que tiene asociada la información de la encuesta que se aplicó en cada casa, y un mapa de polígonos que representan las casas, que se obtuvo a partir de una imagen de satélite de alta resolución. Con los datos anteriores se procedió a identificar el material usado en los muros y en el techo de cada vivienda. De lo anterior resultó el levantamiento de 213 viviendas, para las cuales se creó una base de datos que se describe a continuación. Cabe aclarar que sólo se muestra una parte de ésta:

**Tabla 3.4 Ejemplo de la base de datos generada a partir de las características físicas de las viviendas**

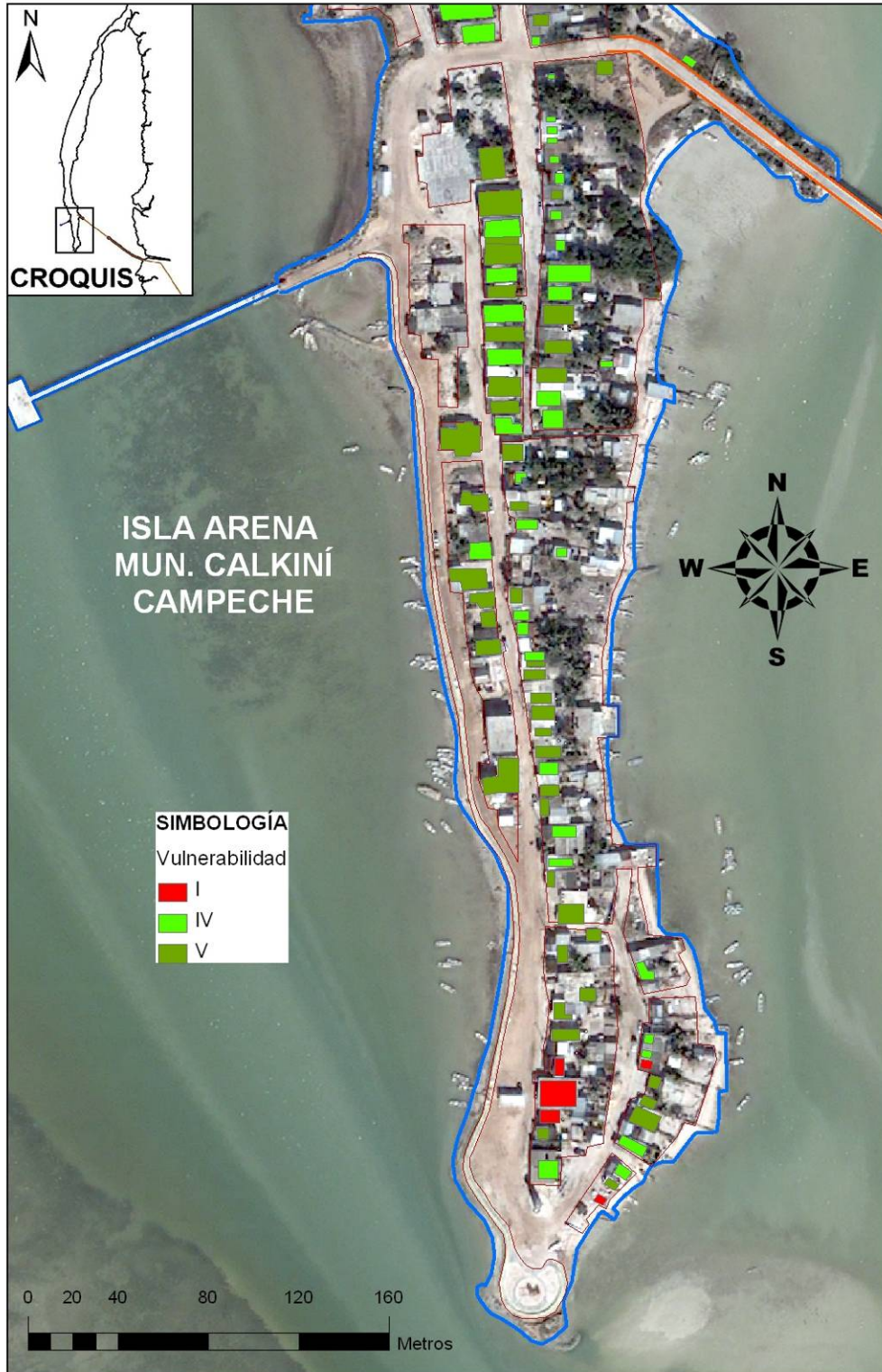
ID Casa	Muros	Techos	Cota Terreno (msnmm)	Desnivel (m)	Tipo Vulnerabilidad
1-E	M3	T2	1.87	0.15	I
2-E	M8	T2	1.202	0.15	IV
4-E	M3	T2	1.136	0.15	I
5-E	M3	T2	1.352	0.15	I
6-E	M3	T5	0.882	0.15	I
7-E	M9	T5	0.773	0.15	V
8-E	M9	T2	0.722	0.15	V
9-E	M9	T2	0.772	0.15	IV
10-E	M3	T2	0.72	0.15	I
11-E	M9	T2	0.819	0.15	IV
12-E	M3	T2	0.818	0.15	I
13-E	M3	T2	0.883	0.15	I
14-E	M9	T5	0.939	0.15	V
15-E	M9	T6	0.962	0.15	V
16-E	M9	T6	0.88	0.15	V
17-E	M3	T2	0.858	0.15	I
18-E	M3	T2	0.97	0.15	I
19-E	M3	T2	0.912	0.15	I
20-E	M9	T2	1.015	0.15	IV
21-E	M3	T2	1.076	0.15	I
22-E	M3	T2	1.049	0.15	I
23-E	M3	T2	1.034	0.15	I
24-E	M9	T6	0.805	0.15	V
25-E	M9	T5	0.66	0.15	V
26-E	M3	T2	0.784	0.15	I
28-E	M9	T5	0.959	0.15	V
29-E	M9	T5	0.361	0.15	V
30-E	M3	T2	0.162	0.15	I

A partir de la base de la información anterior se identificó el número de casos de los diferentes tipos de viviendas, como se muestra en la tabla siguiente:

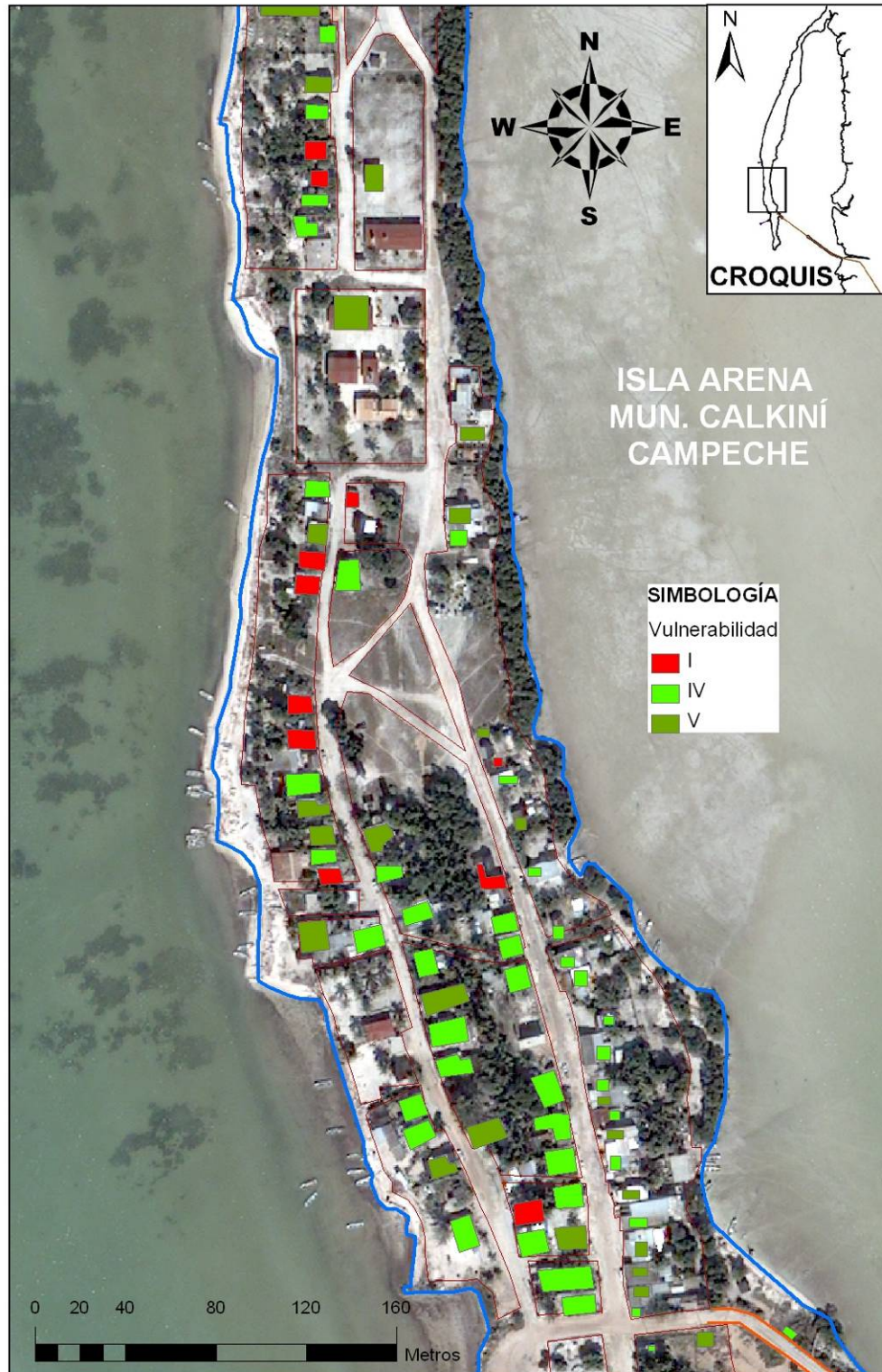
**Tabla 3.5 Identificación del tipo de viviendas**

Características	No. de casos
Vivienda Tipo I:	39
Vivienda Tipo IV:	93
Vivienda Tipo V:	81
Total	213

Finalmente, la tipología definida para el caso de Isla Arena corresponde a su mapa de vulnerabilidad por inundaciones (figuras 3.10a y 3.10b).

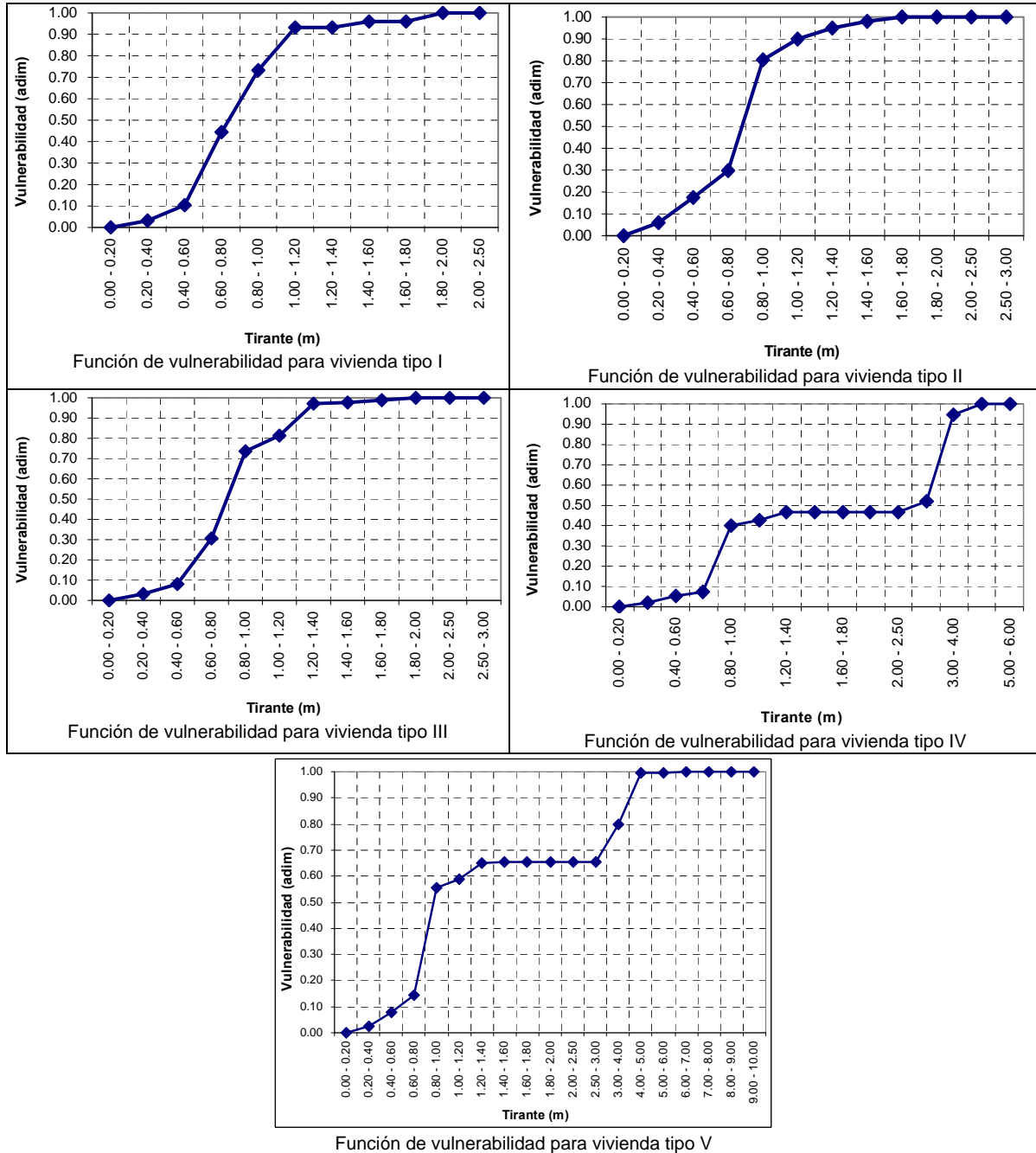


**310a Detalle del mapa de vulnerabilidad de la zona sur de Isla Arena**



**3.10b** Detalle del mapa de vulnerabilidad de la zona centro de Isla Arena

Por otra parte, las funciones de vulnerabilidad definidas en la sección 1.3 “Criterios de evaluación de la vulnerabilidad física”, de la Guía Básica son:



**Figura 3.11 Funciones de vulnerabilidad para los diferentes tipos de la vivienda**

Esta parte concluye una vez que se identificó la vulnerabilidad para cada una de las viviendas (tabla 3.4) y se asigna su correspondiente función de vulnerabilidad (figura 3.11).

### **3.7 Evaluación del riesgo**

La estimación del riesgo por inundación se hizo de dos maneras:

- Para cada periodo de retorno analizado
- Para todos los periodos de retorno analizados (Riesgo ante el próximo evento y para el riesgo anual).

En ambos casos, para determinar las profundidades de la inundación asociadas con cada periodo de retorno, la estimación de la vulnerabilidad en cada caso, la definición de los daños en cada escenario y, finalmente el cálculo del riesgo, se utilizó el siguiente procedimiento:

Magnitud de la inundación (profundidades de agua de la inundación). La profundidad del agua, calculada para cada casa y en cada escenario es el resultado de la primera parte de esta metodología (peligro).

Estimación de la vulnerabilidad. Después de verificar los materiales en techo y muros de las viviendas e identificar el tipo al que corresponde (I, II, III, IV y V), se selecciona la función de vulnerabilidad correspondiente.

Estimación de los daños. De acuerdo con la tipología de las viviendas, con sus funciones de vulnerabilidad y de la profundidad de agua de la inundación, se calcula la pérdida total en cada vivienda.

Cálculo del riesgo. Para definir el riesgo en cada vivienda es necesario llevar a cabo los tres pasos anteriores, es decir, calcular los daños en toda la localidad, o en la zona afectada, posteriormente el rango en el que varían las pérdidas (desde la mínima hasta la máxima, de acuerdo con lo que se haya calculado) se divide en intervalos y cada vivienda se ubica en el que le corresponda.

#### **3.7.1 Escenarios para cada periodo de retorno analizado**

Para cada uno de los periodos de retorno analizados en la parte de peligro, se calcularon las elevaciones alcanzadas por el agua para la ubicación de cada casa.

Dado que algunas de las viviendas fueron desplantadas por encima del terreno natural, se realizan las tareas siguientes:

1. Comparar la altura o profundidad de agua respecto a la elevación de desplante de la vivienda. Si la profundidad está por debajo del nivel de la entrada de la vivienda (está sobreelevada o no) no entra agua en la vivienda, en caso contrario la vivienda sí es afectada por una inundación. Para determinar la altura de la inundación dentro de la vivienda, a la profundidad de agua se le resta la sobreelevación.
2. Con ese valor (tirante) se entra a la función de vulnerabilidad correspondiente, de acuerdo con el tipo de vivienda que se trate, para estimar el porcentaje de daños.

3. Para estimar el riesgo, ese porcentaje de daños se multiplica por el valor de cada vivienda y por la probabilidad de ocurrencia del evento (tabla 3.2).

$$R(i) = C P(i) V(i)$$

donde:

- R(i) Riesgo para el próximo evento con periodo de retorno "i", en pesos  
 C Costo de la vivienda, en función de su tipología, en pesos  
 P(i) Probabilidad de ocurrencia del evento con periodo de retorno "i", adimensional  
 V(i) Vulnerabilidad de cada vivienda, adimensional

### **Escenario para un periodo de retorno de 9 años, tormenta tropical (TT)**

De acuerdo con el análisis realizado (figuras 3.7a y 3.7b), para este periodo de retorno, el 96% de la superficie de Isla Arena se inundará con una amplitud de marea de tormenta de 1.20 m.

De acuerdo con los resultados del análisis, la probabilidad de recurrencia es 0.443, siendo la mayoría de las viviendas afectadas por la entrada de agua; al examinar el valor de las profundidades de agua que se presentan en la zona afectada, se observa que estas tienen un promedio de 27 cm y un máximo de 1.05 m. Por último, para un evento correspondiente a  $T_r = 9$  años (figuras 3.12a y 3.12b), se tiene un valor del riesgo de \$1'843,826.

### **Escenario para un periodo de retorno de 38 años, Huracán categoría 1 (H1)**

De acuerdo con el análisis realizado (figuras 3.8a y 3.8b), para este periodo de retorno, el 98% de la superficie de Isla Arena se inundará con una amplitud de la marea de tormenta de 1.30 m.

A partir de los resultados del análisis, la probabilidad de recurrencia es 0.07, siendo la mayoría de las viviendas son afectadas por la entrada de agua; al examinar el valor de las profundidades de agua que se presentan en la zona afectada, se observa que estas tienen un promedio de 35 cm y un máximo de 1.15 m. Por último, para un evento correspondiente a  $T_r = 38$  años (figura 3.13a y 3.13b), se tiene un valor del riesgo de \$426,265.

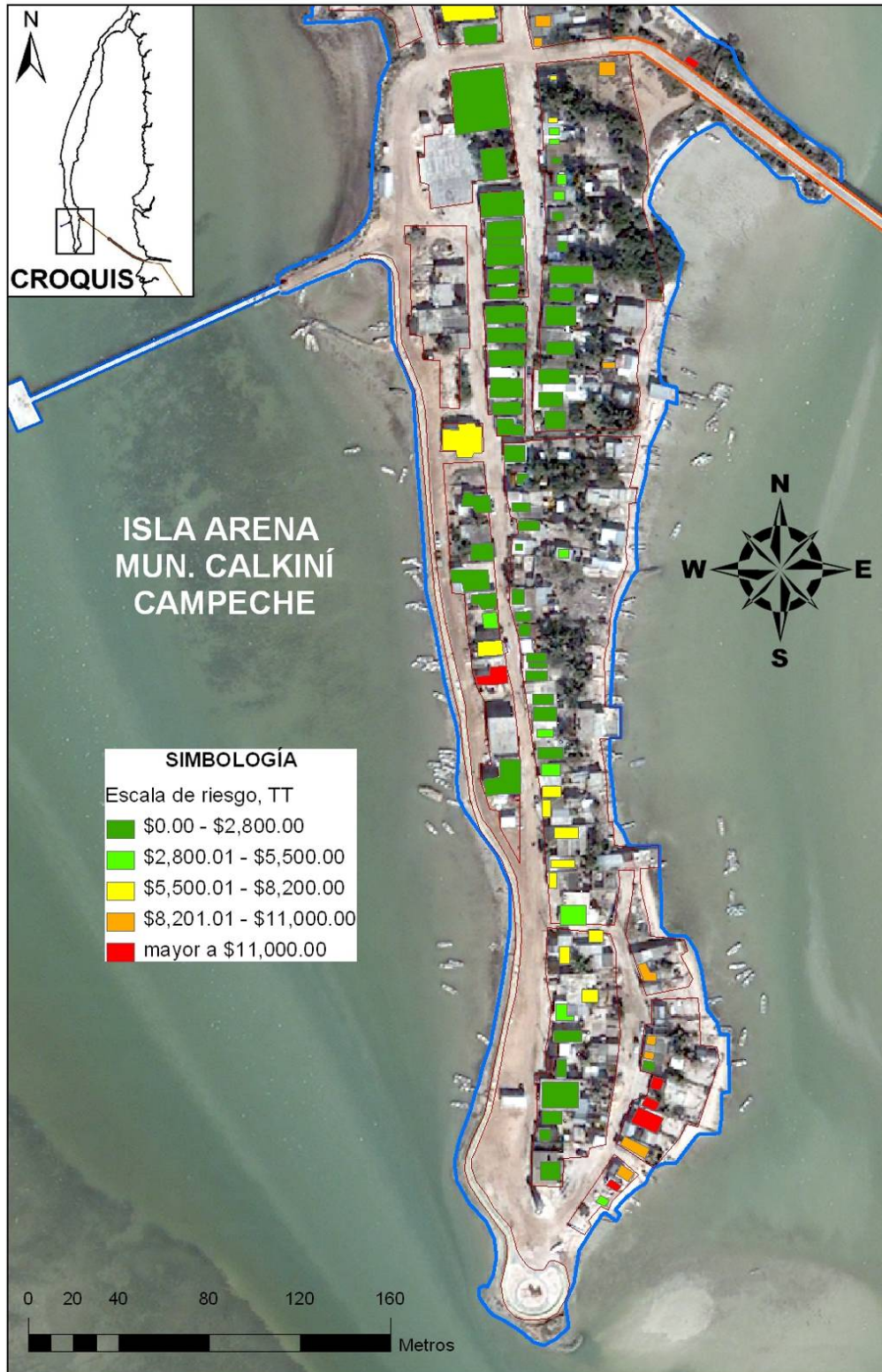
### **Escenarios para un periodo de retorno igual o mayor de 79 años, huracán categorías 2, 3 y 4 (H2, H3 y H4)**

Para el escenario en el que sucede un evento con  $T_r$  mayor o igual a 79 años (figuras 3.9) las viviendas afectadas son prácticamente las mismas que en el caso de los eventos menores; sin embargo, la diferencia radica en que las profundidades de agua son mayores y, por lo tanto, su vulnerabilidad aumenta.

En el caso para la intensidad de H2 ( $T_r = 79$  años), la probabilidad de que ocurra este escenario es 0.042, cuyo valor de riesgo asciende a \$678,683 (figuras 3.14a y 3.14b).

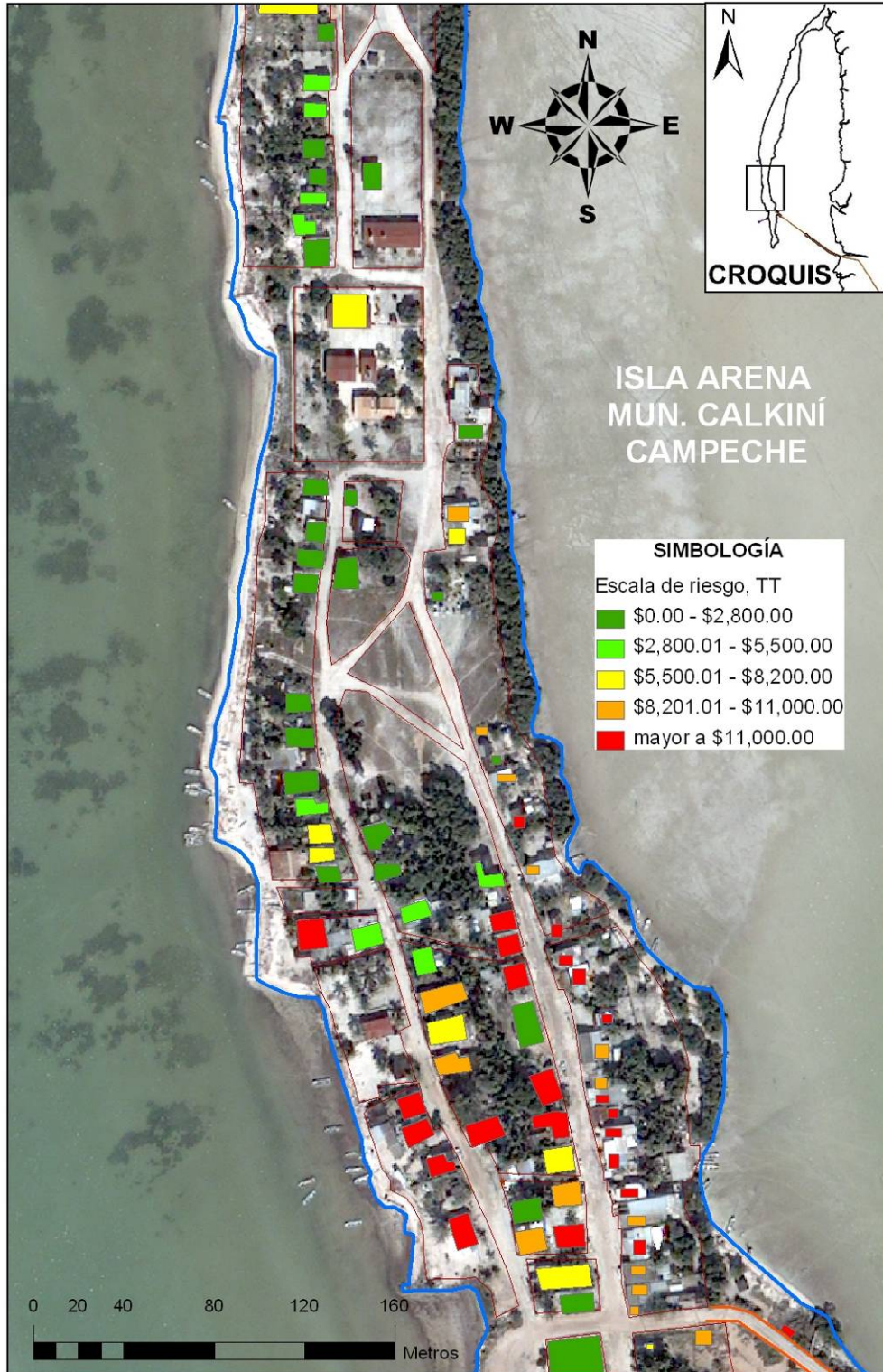
Los daños estimados para una intensidad de H3 ( $T_r = 155$  años) tienen un valor de riesgo de \$472,620 para una probabilidad baja de que ocurra el mismo de 0.018 (figuras 3.15a y 3.15b).

Para el caso de la intensidad H4 los daños calculados en las viviendas pasan los \$190,000, dado que la probabilidad de que este evento se presente es muy baja (0.006) (figuras 3.16a y .16b).

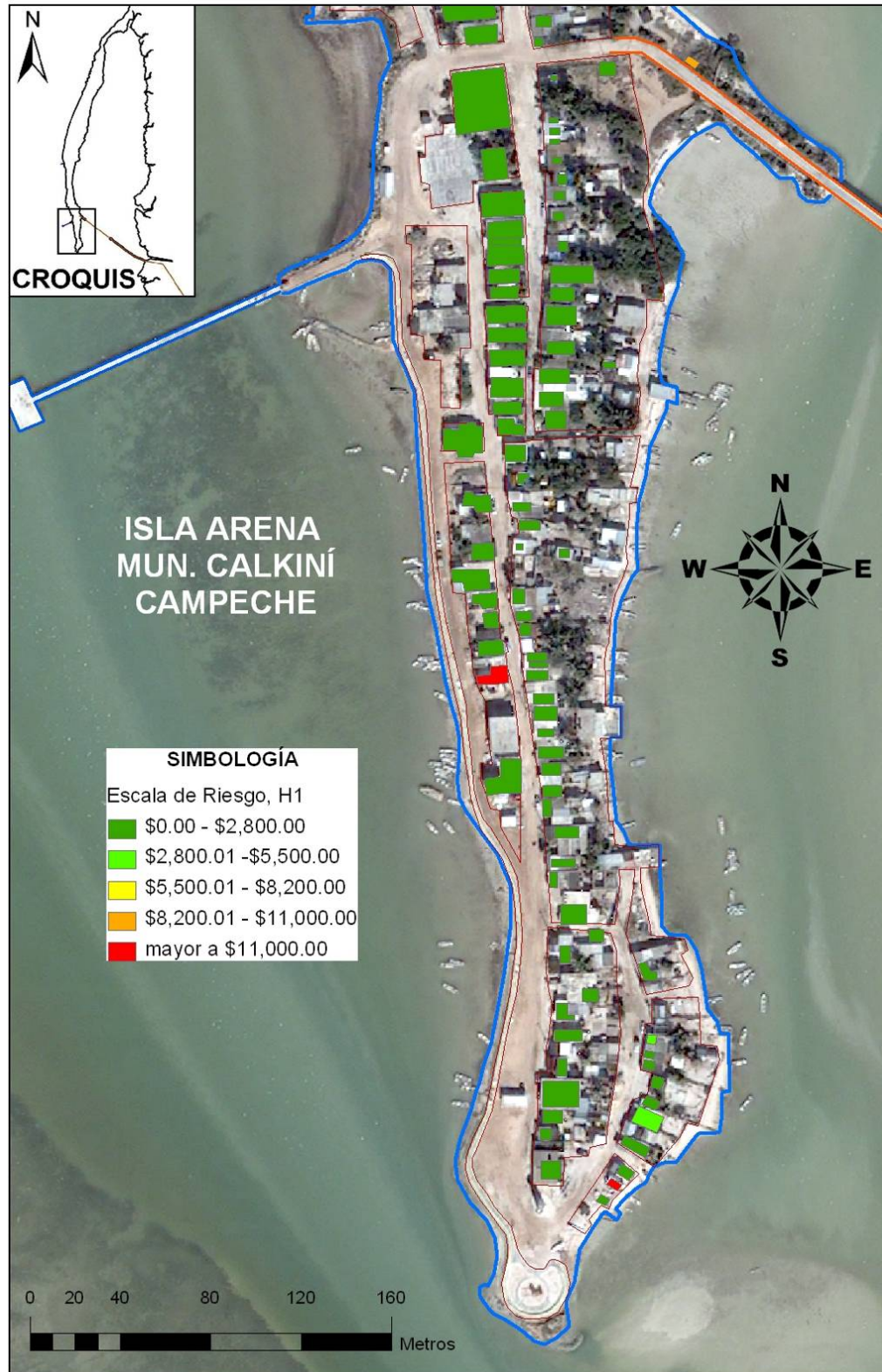


3.12a Detalle del mapa de riesgo de la zona sur de Isla Arena, para  $Tr = 9$  años

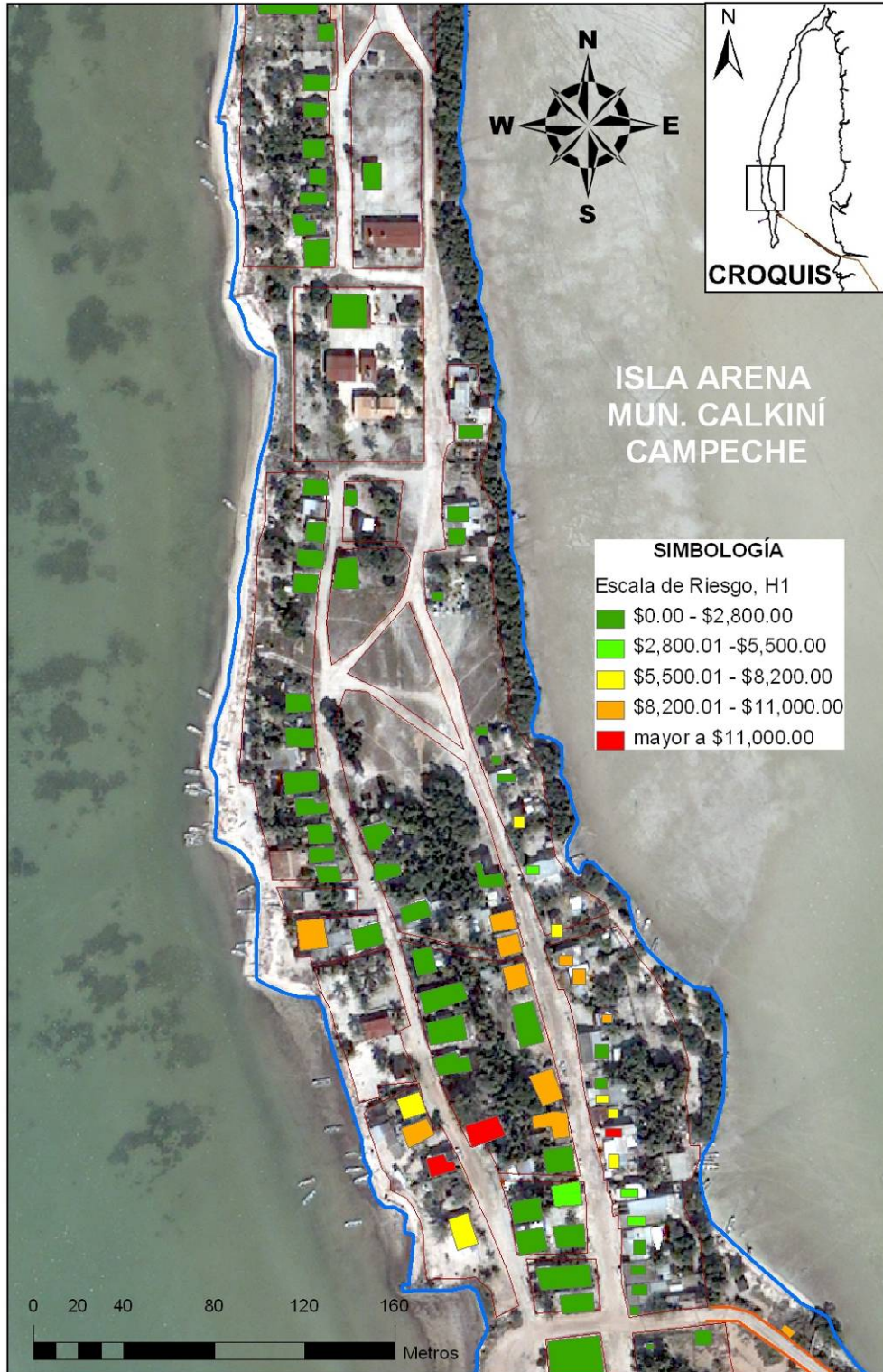




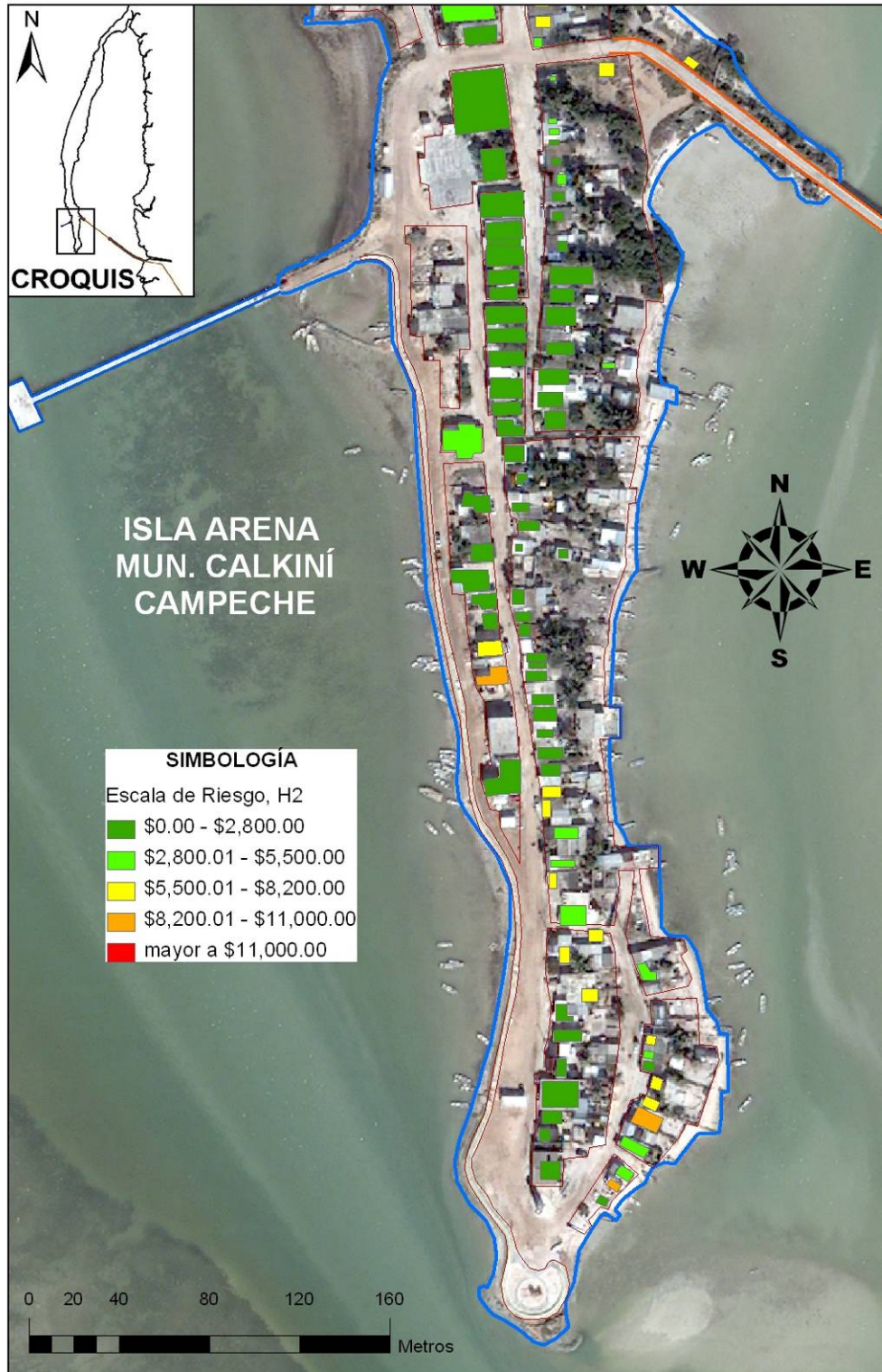
3.12b Detalle del mapa de riesgo de la zona centro de Isla Arena, para  $T_r = 9$  años



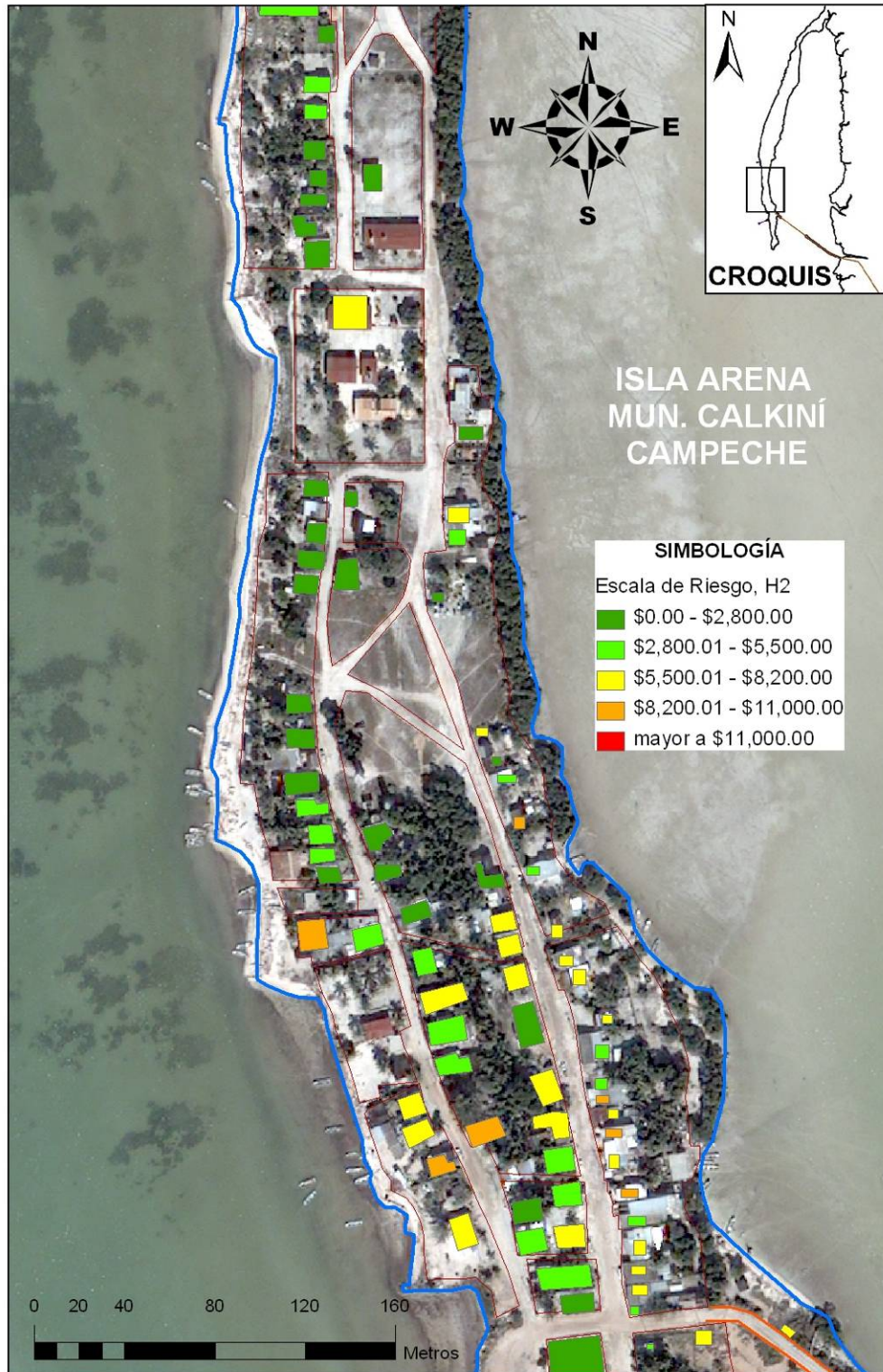
3.13a Detalle del mapa de riesgo de la zona sur de Isla Arena, para  $T_r = 38$  años



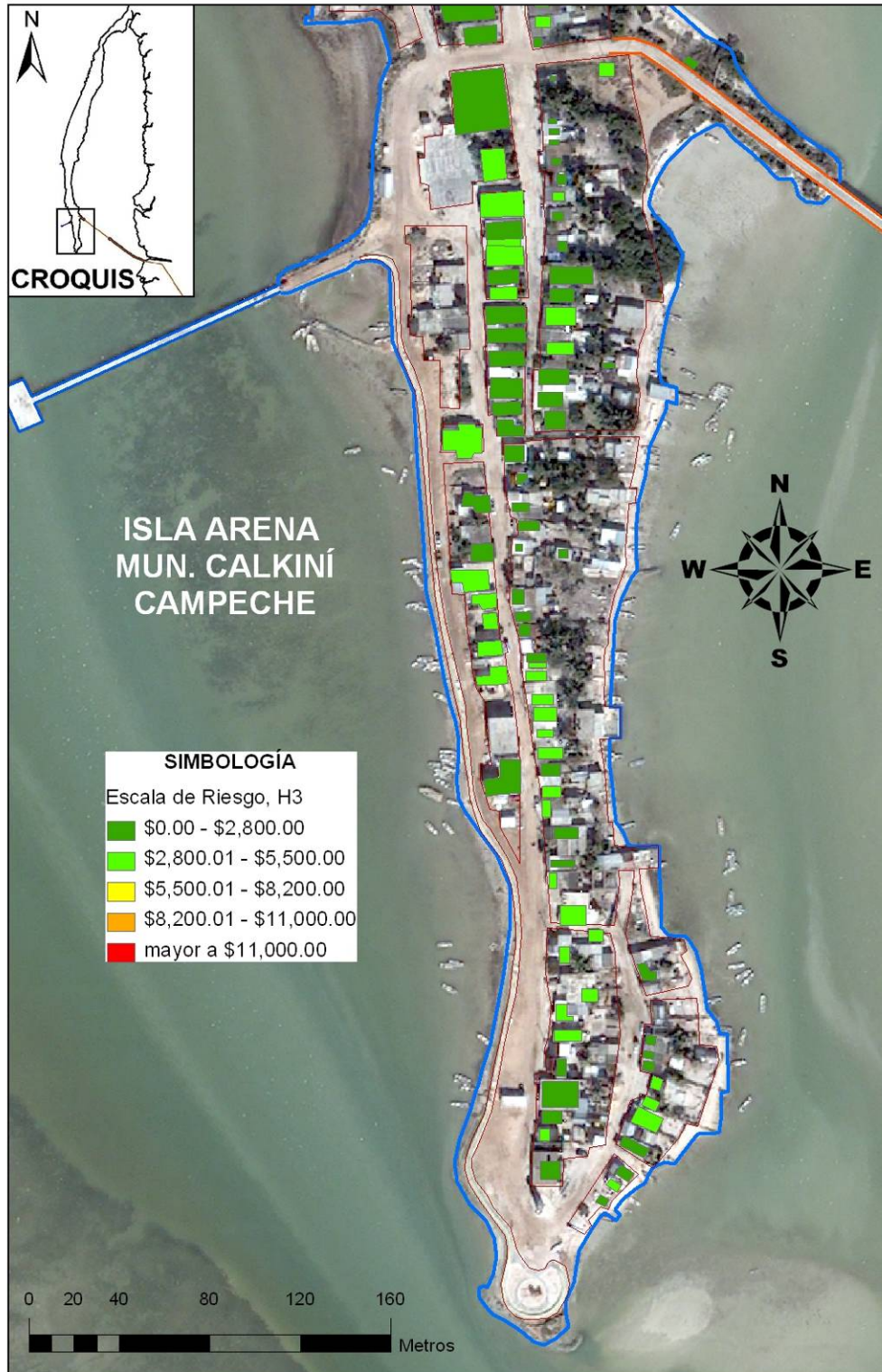
3.13b Detalle del mapa de riesgo de la zona centro de Isla Arena, para  $Tr = 38$  años



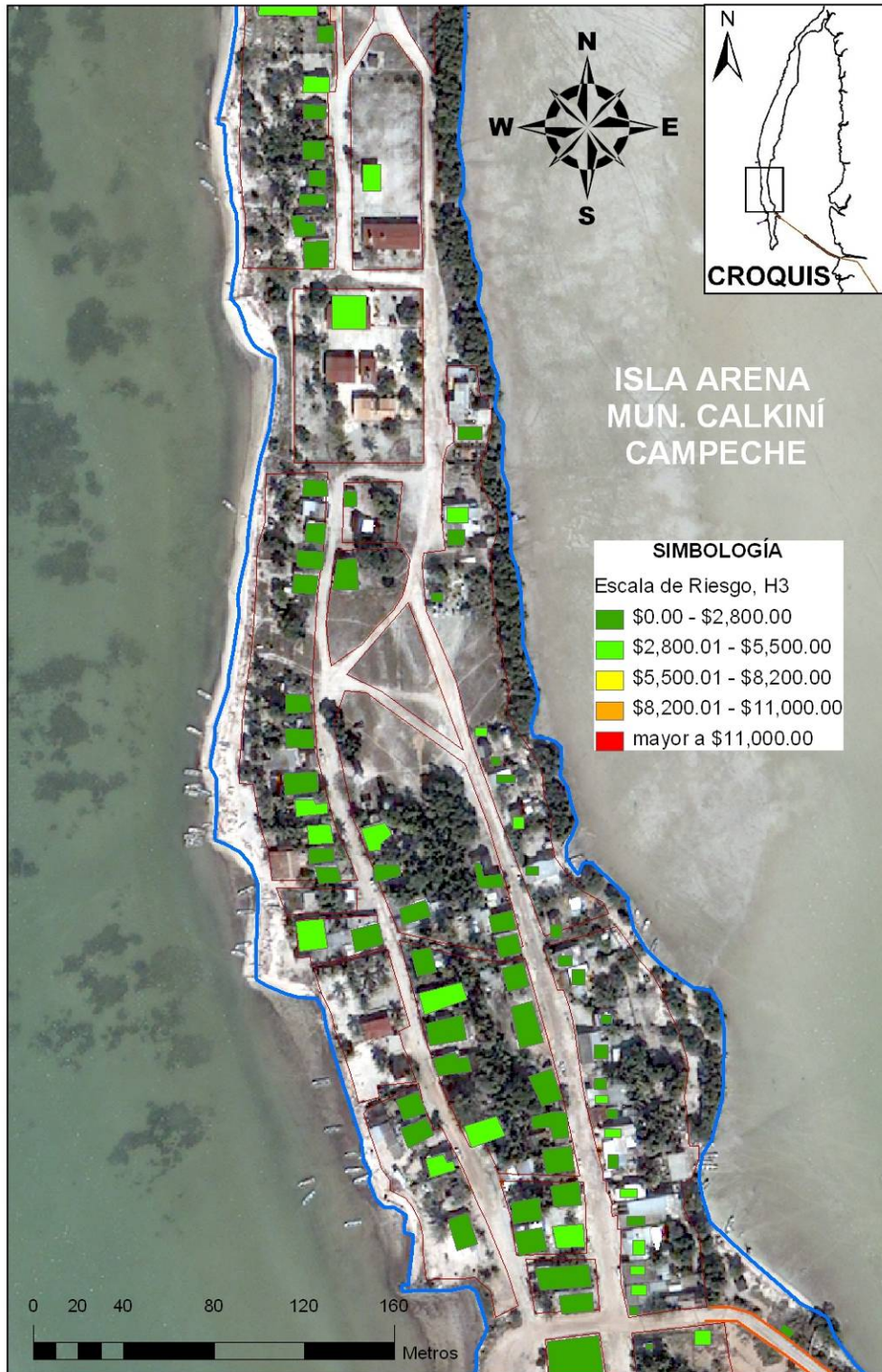
**3.14a** Detalle del mapa de riesgo de la zona sur de Isla Arena, para  $T_r = 79$  años



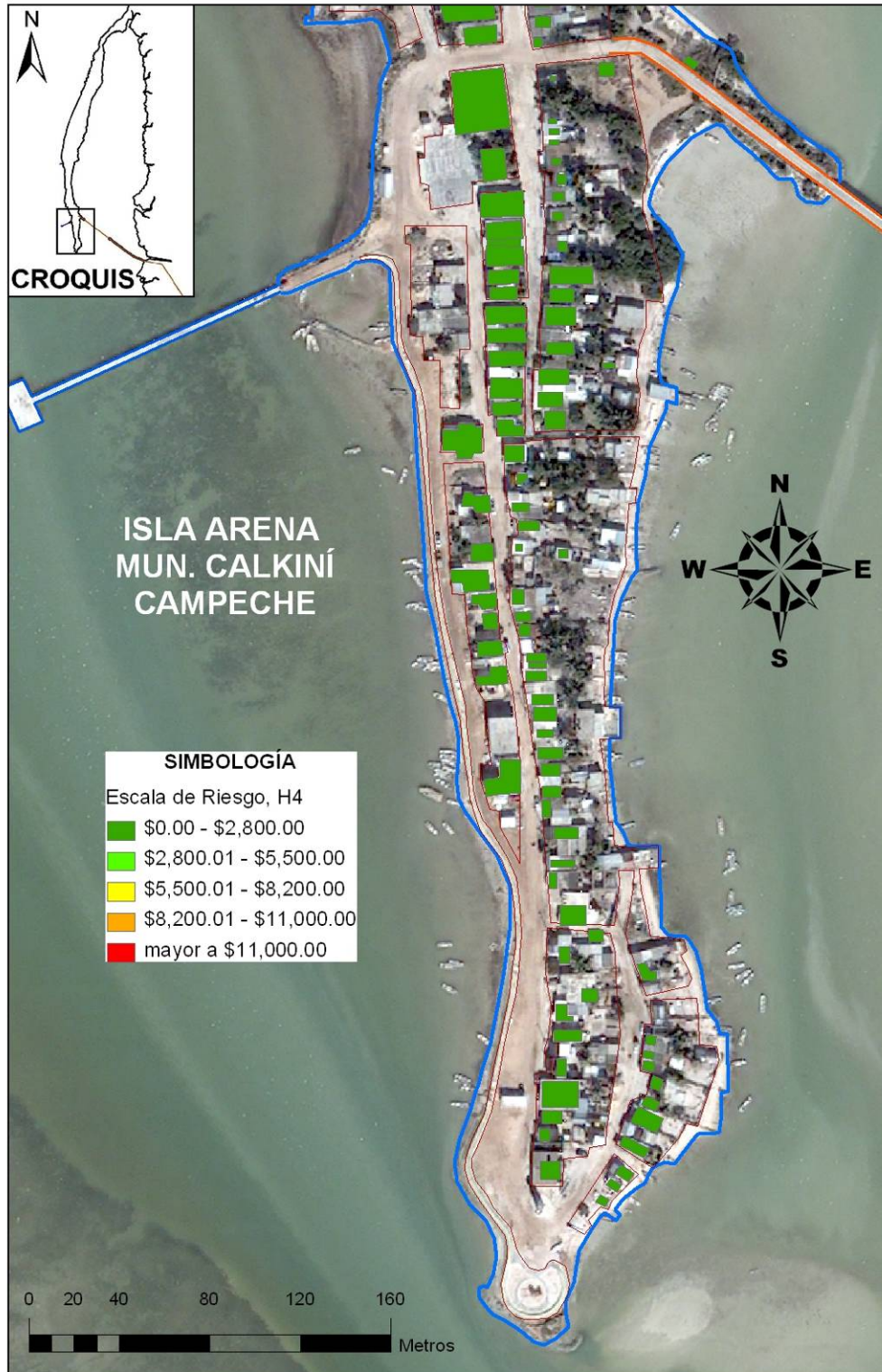
3.14b Detalle del mapa de riesgo de la zona centro de Isla Arena, para  $T_r = 79$  años



**3.15a Detalle del mapa de riesgo de la zona sur de Isla Arena, para  $T_r = 155$  años**

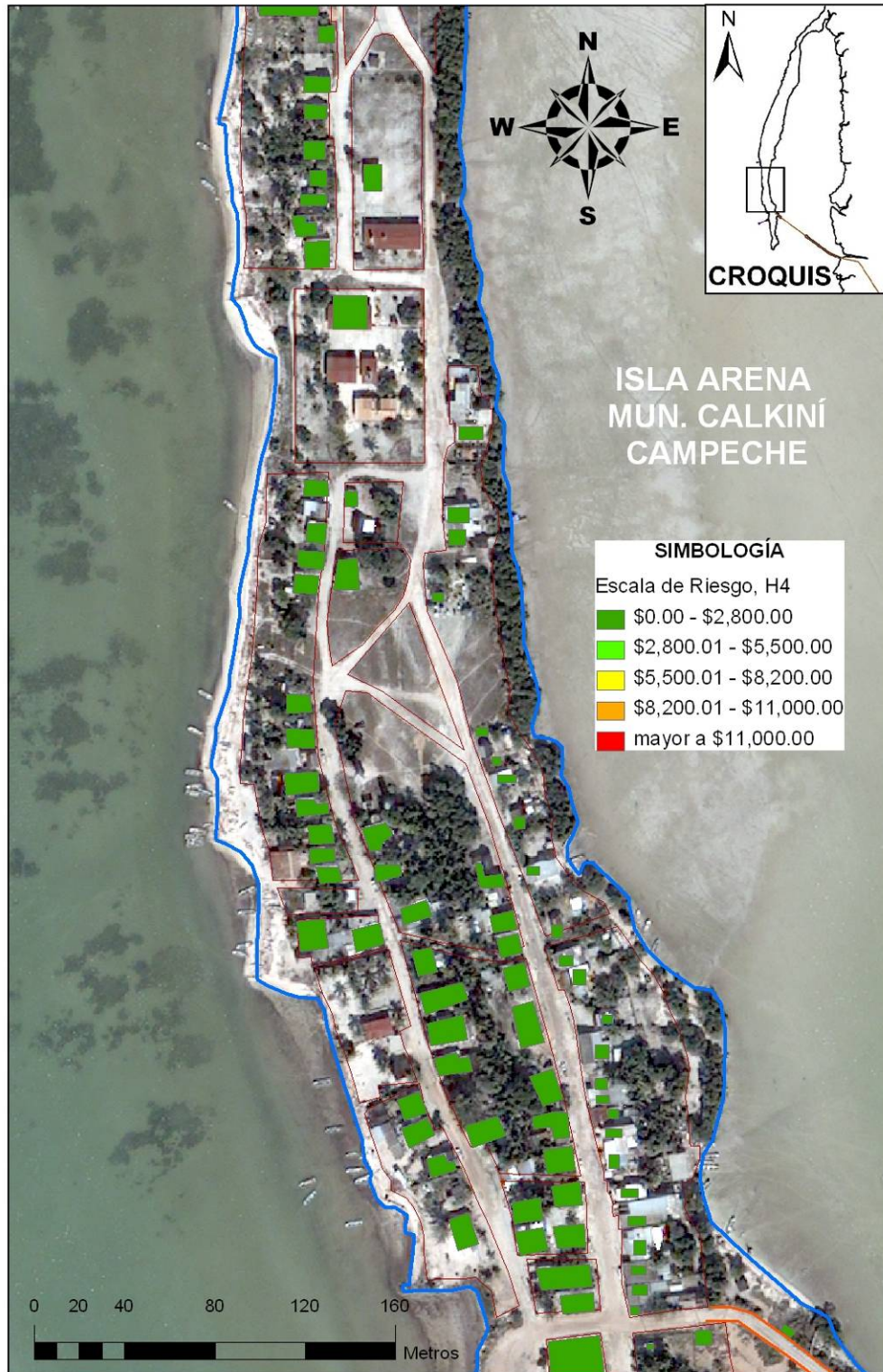


3.15b Detalle del mapa de riesgo de la zona centro de Isla Arena, para  $T_r = 155$  años



3.16a Detalle del mapa de riesgo de la zona sur de Isla Arena, para H4 y  $T_r = 155$  años





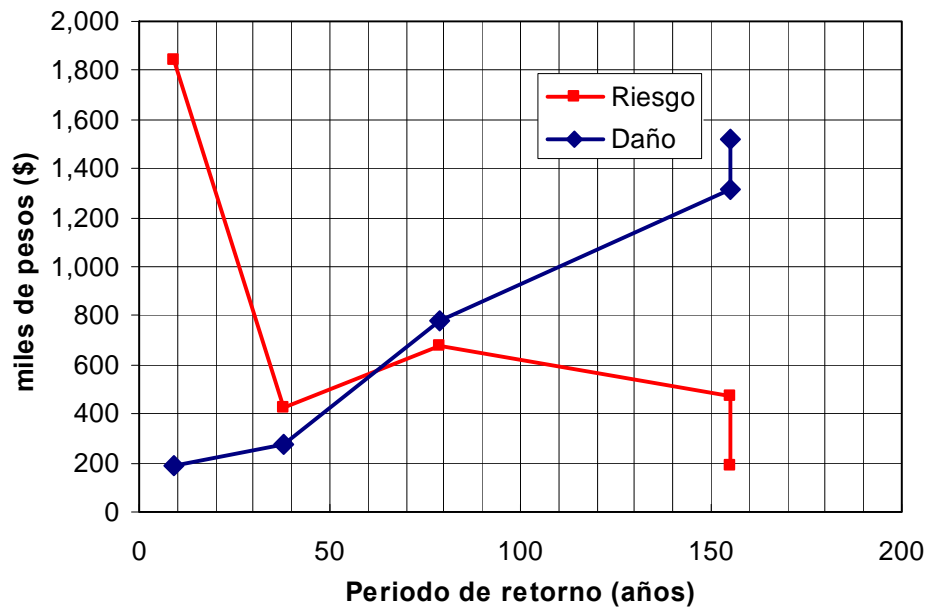
3.16b Detalle del mapa de riesgo de la zona centro de Isla Arena, para H4 y  $Tr = 155$  años

El resultado para cada uno de los escenarios que se estudian, se presenta en la tabla 3.6.

**Tabla 3.6 Resultados del análisis de riesgo para diferentes periodos de retorno**

Intensidad	Tipo	Amplitud de marea de tormenta (m)	Probabilidad de ocurrencia	Periodo de retorno (años)	Daño	Riesgo	Riesgo acumulado	Variación del riesgo (%)
1	TT	1.2	0.443	9	\$191,962.50	\$1'843,826.40	\$1'843,826.40	0%
2	H1	1.3	0.070	38	\$ 276, 869.38	\$ 426,265.01	\$ 2,270,091.42	19%
3	H2	1.7	0.042	79	\$ 779,881.25	\$ 678,683.76	\$ 2,948,775.17	23%
4	H3	2.1	0.018	155	\$ 1,316,750.00	\$ 472,620.02	\$3,421,395.19	14%
5	H4	2.8	0.006	155	\$ 1,520,345.00	\$ 191,132.80	\$3,612,527.99	5%
6	H5	3.8	0.000					

De la tabla se observa que, conforme aumenta el periodo de retorno, crece la amplitud de la marea de tormenta y, consecuentemente, las profundidades de inundación en la localidad también crecen. Dado que una de las características de la función de vulnerabilidad es que es creciente, para periodos de retorno mayores, es de esperarse un incremento en los daños, pero debido que la probabilidad de ocurrencia decrece conforme aumenta el periodo de retorno, el riesgo para cada escenario disminuye (figura 3.16).



**Figura 3.17 Variación de los daños y del riesgo en función del periodo de retorno**

### 3.7.2 Escenarios para todos los periodos analizados

#### ***Riesgo ante el próximo evento***

En el caso de que el interés no radique en algún escenario en particular, sino en el próximo evento, sin importar su intensidad se requiere el uso de un mapa que contenga el valor esperado de los daños por inundación en cualquier momento.

En este caso se estima el riesgo como el valor esperado de los daños de los bienes expuestos, mediante la sumatoria del producto de las funciones de vulnerabilidad, peligro y el valor de los bienes expuestos de cada vivienda:

$$R(i) = C \sum_{i=1}^n P(i) V(i)$$

donde:

- $R(i)$  Riesgo ante el próximo evento, en pesos
- $C$  Costo de la vivienda, en función de su tipología, en pesos
- $P(i)$  Probabilidad de ocurrencia del evento con periodo de retorno "i", adimensional
- $V(i)$  Vulnerabilidad de cada vivienda, adimensional

Los valores usados para la probabilidad de ocurrencia son los mismos que aparecen en la tabla 3.2.

La siguiente ecuación sirve para calcular el riesgo por inundación en una vivienda y para un evento dado; sin embargo, la estimación del riesgo en una vivienda en particular, para todo el rango de eventos por analizar está dado por:

$$R_j = \sum_{i=1}^n C_j P(i) \cdot V_j(Y_i)$$

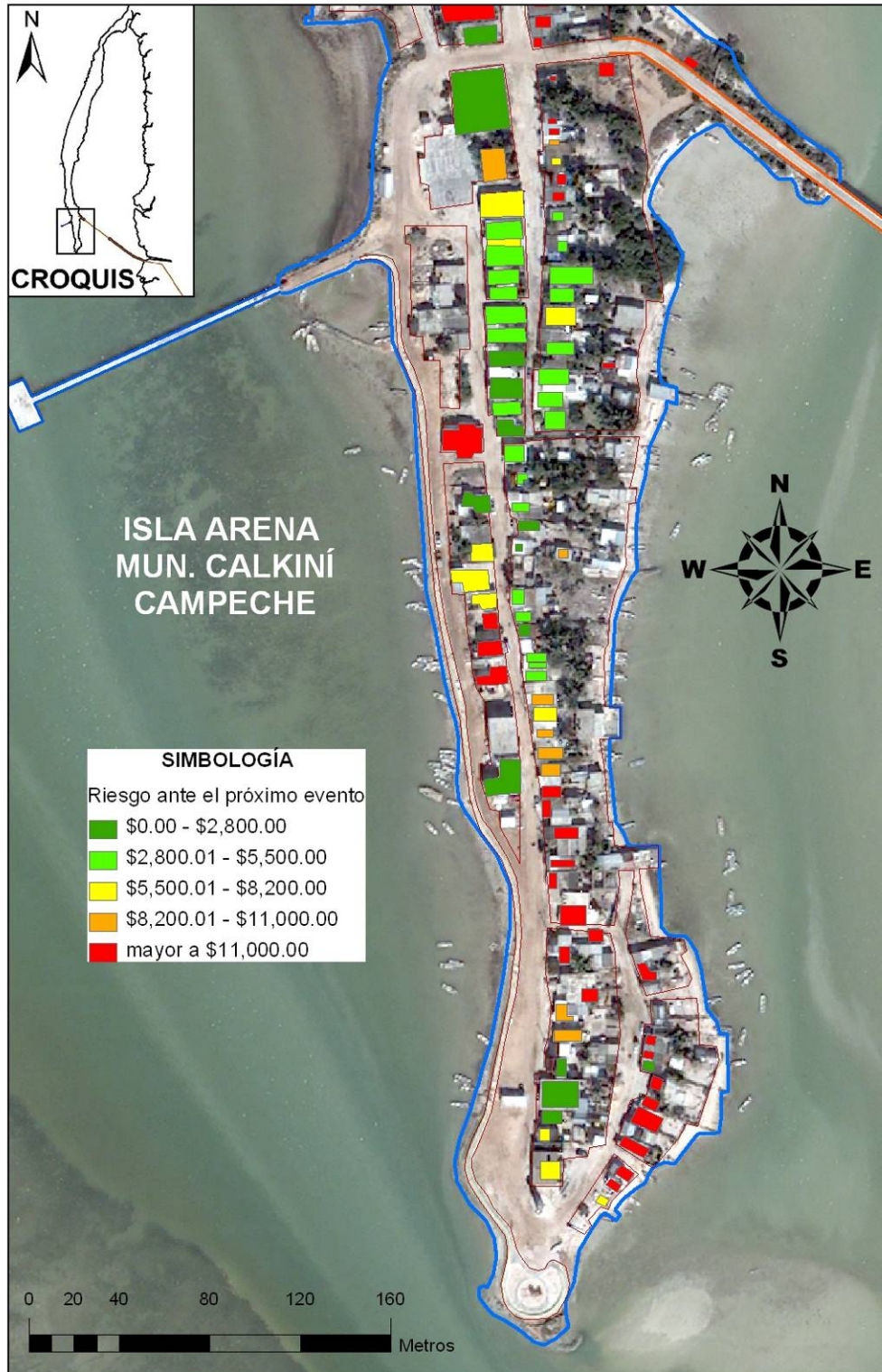
Mientras que, para estimar el riesgo de la localidad completa, o al menos la zona con problemas de inundación, se procede a sumar el valor del riesgo para todas las viviendas:

$$R_{municipal} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_j P(i) \cdot V_j(Y_i)$$

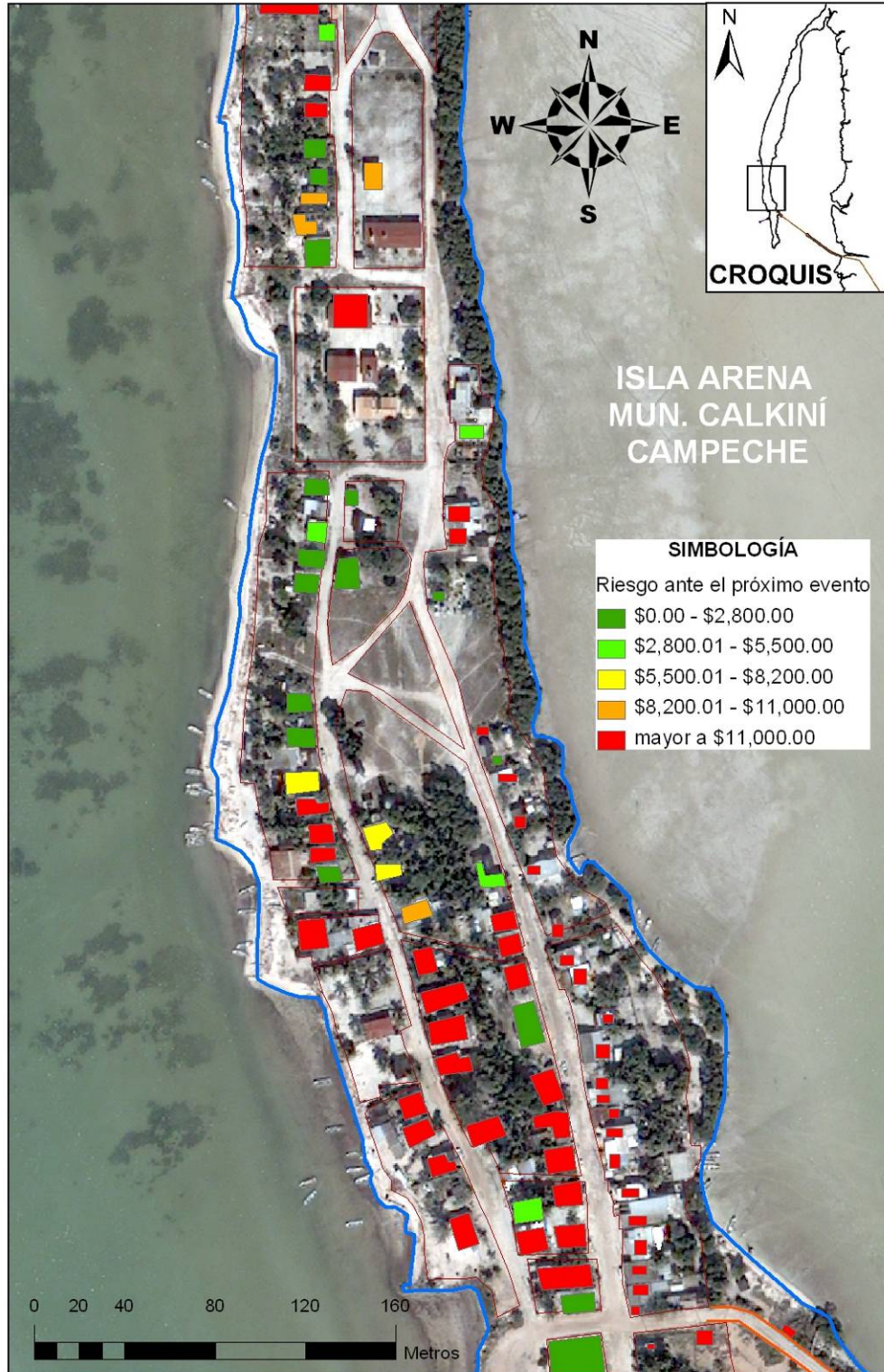
donde:

- $n$  índice que se refiere al número total de viviendas en la localidad
- $m$  índice que se refiere al número total de eventos por analizar

En los mapas de la figuras 3.18a y 3.18b se muestra el riesgo ante el próximo evento de Isla Arena, en términos monetarios, cuyo valor de riesgo asciende a \$3, 612,527. Este riesgo se debe entender como el valor esperado de daños ante el próximo ciclón tropical en cualquiera de sus categorías, el cual puede suceder hoy o en los años subsecuentes (1, 2, 3,.... 155 años). De acuerdo con los resultados del análisis, son 72 viviendas que tienen el mayor riesgo (valor del daño esperado mayor a \$11,000.00) y que en conjunto tienen una población de 290 habitantes.



3.18a Detalle del mapa de riesgo ante el próximo evento de la zona sur de Isla Arena



3.18b Detalle del mapa de riesgo ante el próximo evento de la zona centro de Isla Arena

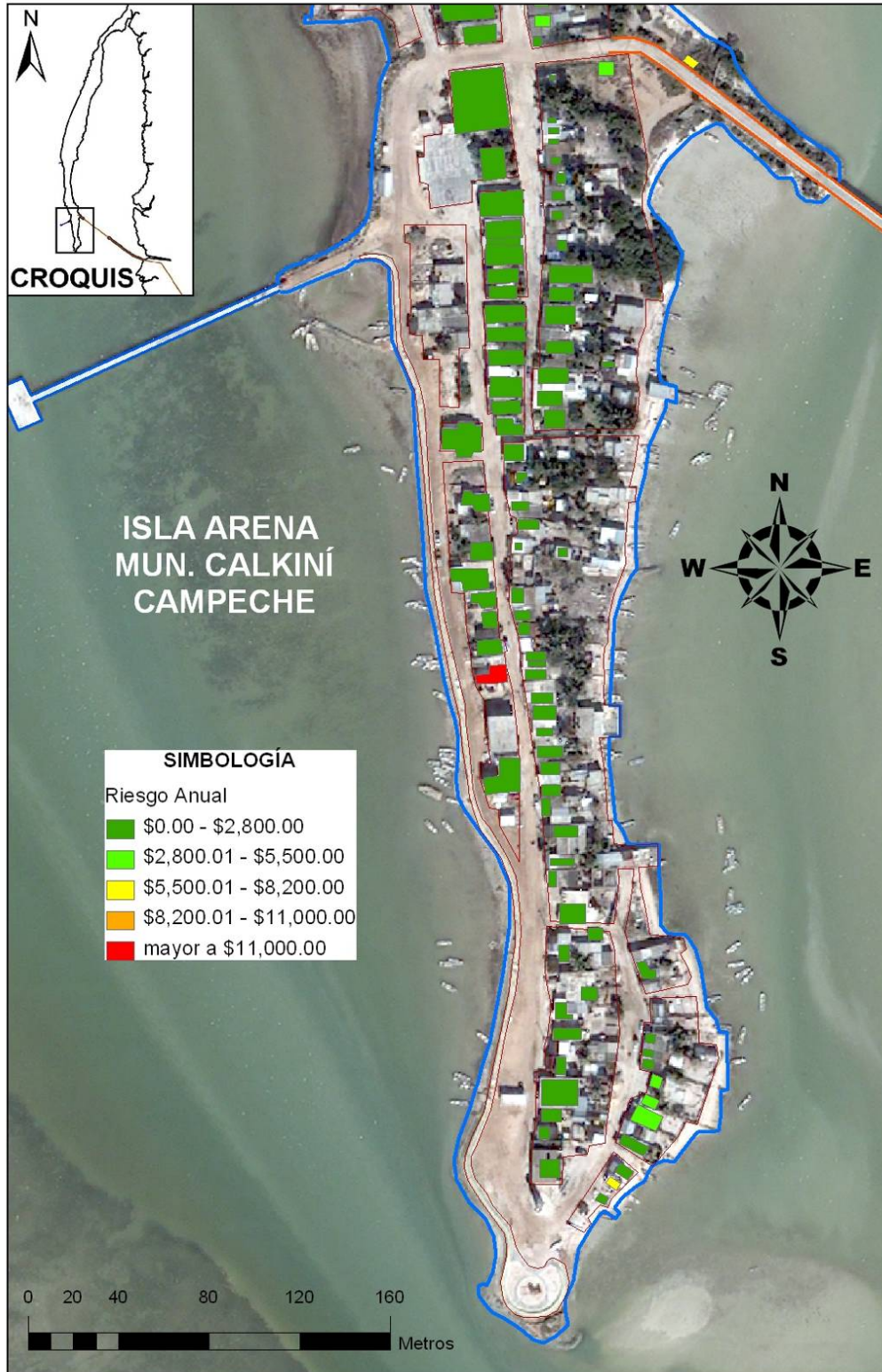
**Riesgo anual**

Ahora bien, si se desea obtener el riesgo anual, se deberá multiplicar la ecuación de riesgo ante el próximo evento por el valor esperado de huracanes que ocurren al año, que es el primer valor de la tasa de excedencia.

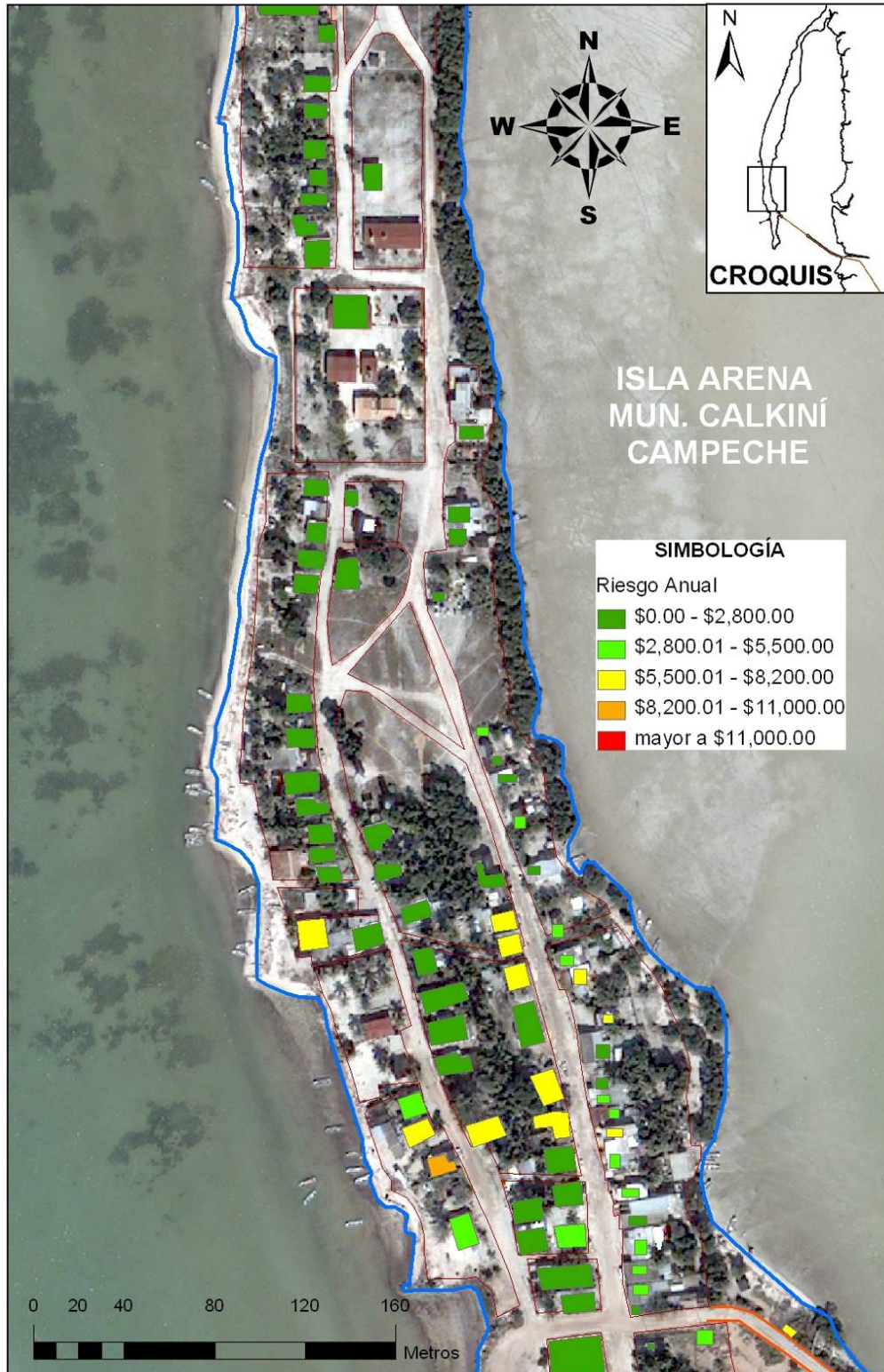
$$R_a = v(1)(R_p) = v(1) \left( C \sum_{i=1}^n P(i)V(i) \right)$$

El valor anterior se interpreta como la pérdida anual en daños por ciclones tropicales. Vale recordar que la tasa de excedencia es el recíproco del periodo de retorno; por lo tanto, el riesgo anual suaviza las pérdidas esperadas del riesgo hasta que el próximo evento se presente.

En los mapas de la figuras 3.19a y 3.19b se muestra el riesgo anual de Isla Arena, en términos monetarios, cuyo valor de riesgo asciende a \$404,530. Este riesgo se debe entender como el valor esperado de daños, que se presentará año con año, ante la presencia de un ciclón tropical en cualquiera de sus categorías que se llegue a presentar en el año. De acuerdo con los resultados del análisis, son 2 viviendas las que tienen el mayor riesgo (valor del daño esperado mayor a \$11,000.00).



**3.19a** *Detalle del mapa de riesgo anual de la zona sur de Isla Arena*



3.19b Detalle del mapa de riesgo anual de la zona centro de Isla Arena



## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 Conclusiones

A partir de la identificación del tipo de las viviendas, con base en los materiales de construcción usados, se observó que la población de Isla Arena está consciente de su vulnerabilidad, ya que un alto porcentaje de las casas de la localidad son de mampostería y concreto.

Del análisis de riesgo para cada periodo de retorno analizado se concluye que el valor de los daños se incrementa conforme aumenta el periodo de retorno, pero debido a que la probabilidad de ocurrencia decrece conforme aumenta dicho periodo, el valor del riesgo para cada escenario disminuye.

El valor del riesgo ante el próximo evento en la localidad es de \$3, 612,527. Este riesgo se debe entender como el valor esperado de daños ante el próximo ciclón tropical en cualquiera de sus categorías, el cual puede suceder hoy o en los años subsecuentes. De acuerdo con los resultados del análisis, son 72 viviendas las que tienen el mayor riesgo (valor del daño esperado mayor a \$11,000.) y con una población de 290 habitantes.

El valor del riesgo anual de Isla Arena, asciende a \$404,530. Este riesgo se debe entender como el valor esperado de daños, que se presentará año con año, ante la presencia de un ciclón tropical en cualquiera de sus categorías. De acuerdo con los resultados del análisis, son 2 viviendas las que tienen el mayor riesgo anual (valor del daño esperado mayor a \$11,000.).

El riesgo anual por habitante resultó ser de \$537. Es probable que con este valor no pudiera ser factible la realización de obras de protección, que seguramente serían más caras.

A pesar del valor del riesgo ante el próximo evento y del riesgo anual, la población está dispuesta a aceptar el costo de los mismos, debido a que sus ingresos económicos son mayores en la época de captura de pulpo, por lo que a valor presente de éstos, la propensión a que se muden a otro lugar, derivado de que el riesgo es aceptable, es muy baja. En otras palabras, la población está dispuesta a aceptar el costo esperado de los daños causados por los ciclones tropicales y no está dispuesta a dejar su casa para irse a vivir a otro lugar.

La implementación de la metodología para la elaboración de mapas de riesgo por inundaciones costeras por marea de tormenta en la localidad de Isla Arena, municipio de Calkiní, Campeche, cumplió con todas las expectativas que se plantearon en un inicio, por lo que se considera factible la aplicación de ésta en una población más grande, como pueden ser Cancún y Cozumel, Quintana Roo.

El estudio de Isla Arena tuvo un costo de \$259,000, es decir \$344/persona. Este costo sólo toma en cuenta la adquisición de la imagen de satélite, los viáticos por una semana de seis investigadores, el traslado de dos de éstos por avión y el pago de peaje y gasolina para el transporte terrestre que se usó, así como el sueldo de un investigador por ocho meses. No se consideró la depreciación del equipo y vehículo terrestre, tampoco los gastos indirectos que se generaron por las comisiones en el área administrativa del CENAPRED.

## 4.2 Recomendaciones

Con la finalidad de evitar grandes daños ante la ocurrencia de un evento extraordinario, el resto de las casas que no caen dentro del tipo V, deberán disminuir su vulnerabilidad, es decir, pasar a muros de mampostería y losa de concreto.

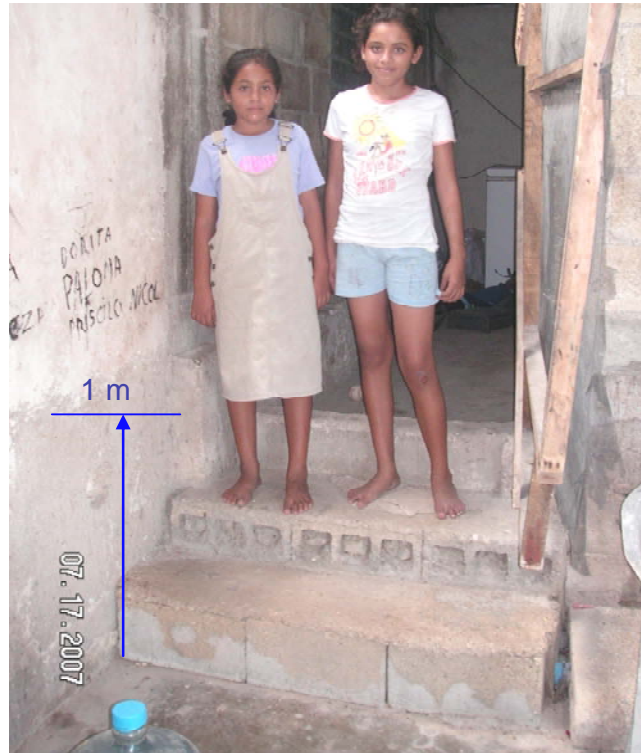
No obstante que el riesgo anual es relativamente bajo, no hay que olvidar que la ocurrencia de un ciclón tropical intenso produce otros efectos peligrosos, como puede ser el viento, por lo que la aplicación de un plan de emergencia es de suma importancia para salvaguarda de la integridad física de las personas y sus bienes. Dicho plan de emergencia debe tener la participación y corresponsabilidad de los tres niveles de gobierno (federal, estatal y municipal). Actualmente el alertamiento por ciclones tropicales está dado por el SIAT-CT a través del SINAPROC, a nivel federal y CENACAM, a nivel estatal; la evacuación de la población de Isla Arena, de forma preventiva, la realiza la Unidad de Protección Civil Municipio con ayuda de la Secretaría de la Defensa Nacional (SEDENA).

A continuación se enlistan algunas medidas que podrían contribuir a mitigar el daño por inundación costera y vientos, generados por el impacto de los ciclones tropicales en Isla Arena.

1. Las viviendas que se encuentran en construcción, cuentan en su mayoría con una habitación de materiales resistentes (CENAPRED, 2007), así pues se deberán terminar éstas para que sirvan de abrigo y con ello proteger los bienes materiales de la población ante los vientos intensos de los ciclones (figura 4.1).
2. En las viviendas se podrían disminuir los efectos de las inundaciones, siempre y cuando cuenten con un piso a una altura de 1 m, respecto al nivel del suelo (figura 4.2).
3. Para las nuevas construcciones es importante tomar en cuenta la altura del piso, con el propósito de que esté al menos en una de sus habitaciones a 1m sobre el nivel del mar y que sea de materiales resistentes.



**Figura 4.1. Nuevas viviendas construidas con materiales resistentes**



**Figura 4.2. Ejemplo de las viviendas que tienen un nivel de piso por encima de 1 m**

4. En caso de que un ciclón tropical se aproxime a la comunidad, evitar tener objetos sueltos en las zonas costeras y en los patios de las viviendas, para prevenir daños materiales cuando aumente el nivel del mar o el viento los arrastre y desplace a otro lugar (figura 4.3).



**Figura 4.3. Objetos ubicados en patios y zonas de playa que, en caso de presentarse un ciclón tropical, podrían convertirse en proyectiles peligrosos para la población**

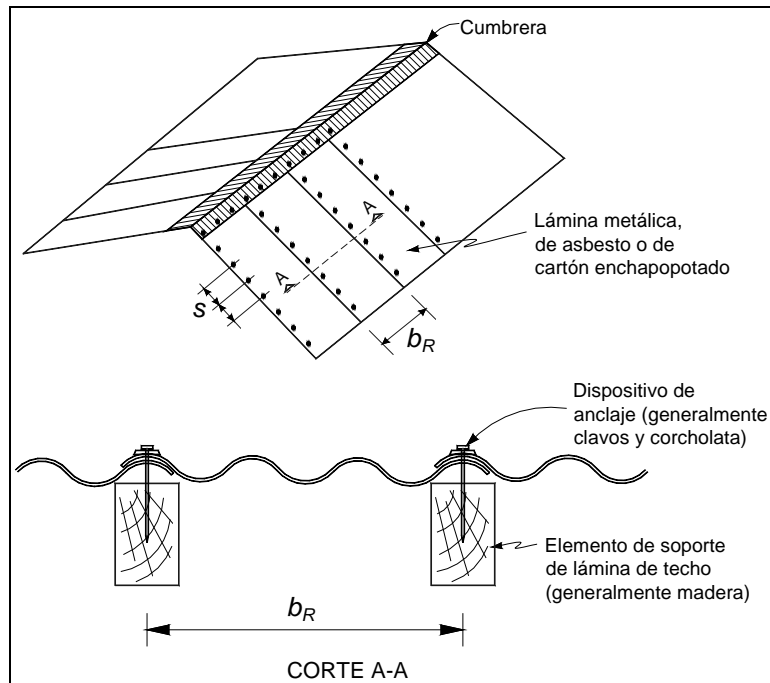
5. Para disminuir los efectos de los vientos fuertes del ciclón, se sugiere disponer de protección en las ventanas de las viviendas, tales como, cortinas metálicas de tipo anticiclónicas (figura 4.4), las cuales llegan a tener un costo de \$2,200. (CORTIMET, 2008).



**Figura 4.4. Ejemplos de cortinas anticiclónicas colocadas en las ventanas de las viviendas**

6. Mejorar el material y sujeción de los techos de algunas viviendas para que resistan los vientos fuertes.

Reforzar el sistema de techo donde se debe verificar la separación de las vigas de madera, la conexión de éstas con los muros o postes de soporte, y el tipo de cubierta (láminas de cartón, o de metal). La separación de los conectores (clavos, tornillos o birlos) no debe rebasar las distancias máximas especificadas, según el tipo de material, tal y como se presenta en la figura 4.5. (CENAPRED, 2005).



**Figura 4.5. Distribución mínima para anclajes en techos (CENAPRED, 2005)**

- ♦ No permitir la construcción de viviendas con techos de lámina, ya que son desprendidas fácilmente por los vientos fuertes.
- ♦ No olvidar anclar las embarcaciones existentes en las viviendas que estén expuestas al oleaje y marea de tormenta durante el paso de un ciclón tropical.
- ♦ Procurar que por cada cuadra exista una vivienda que cuente al menos con un cuarto de materiales resistentes y de losa, ésta podría funcionar como refugio durante el paso de un ciclón tropical, ya que en caso de una evacuación, en dicho lugar se estarían protegiendo los objetos de valor de varias familias.
- ♦ Preservar la vegetación natural de la isla con la finalidad de amortiguar la erosión de la playa (figura 4.6).



***Figura 4.6. Los manglares ayudan a aminorar el impacto del oleaje y marea de tormenta de los ciclones***

## BIBLIOGRAFÍA

O. Fuentes M., L. G. Matías R., M. Jiménez, D. Mendoza y C. Baeza. “Guía Básica para la Elaboración de Atlas de Riesgos Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos. Fenómenos Hidrometeorológicos”. Elaboración de Mapas de Riesgo por Inundaciones Costeras por Marea de Tormenta. Serie: Atlas Nacional de Riesgos. CENAPRED ISBN 970-628-905-4. México, noviembre 2006.

H. Eslava, M. Jiménez, M. A. Salas, M. A. Salas, F. García, M. T Vázquez, C. Baeza y D. R Mendoza. “Guía Básica para la Elaboración de Atlas de Riesgos Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos. Fenómenos Hidrometeorológicos”. Elaboración de Mapas de Riesgo por Inundaciones y Avenidas Súbitas en Zonas Rurales, con Arrastre de Sedimentos. Serie: Atlas Nacional de Riesgos. CENAPRED ISBN 970-628-905-4. México, noviembre 2006.

Protección Civil de Campeche. 2002. Reporte diario de la situación de emergencia durante el impacto del huracán Isidore, pp. 10.

EPOMEX, 2002. Evaluación de daños en las zonas costeras de la península de Yucatán por el huracán “Isidoro” desarrollo de propuestas de investigación y mitigación en manejo integrado de recursos costeros. Universidad Autónoma de Campeche, pp. 8.

CENAPRED, 2005. Cartilla breve de refuerzo de la vivienda rural de autoconstrucción contra sismo y viento, Centro Nacional de Prevención de Desastre, 23 pp.

NOAA. 2002. Tropical Cyclone Report. Hurricane Isidore, pp.25

NOAA, Tropical Cyclone Report. National Hurricane Center. (varios años).

CORTIMET, 2008. Cortinas anticiclónicas y metálicas. Lista de precios al mes de Abril de 2008.

### Páginas de Internet consultadas

<http://calkini.net/>  
<http://www.calkini.gob.mx/>  
<http://calkini.net/municipio/islarena.htm>  
<http://www.nhc.noaa.gov/>

### Cartografía

Imagen de satélite Quick Bird multiespectral con resolución de 60 cm, tomada en el 2005.

## **AGRADECIMIENTOS**

Se agradece al personal del Centro Estatal de Emergencias de Campeche (CENECAM) por el apoyo logístico para la realización de los trabajos de campo, en particular a su Director General, el Comandante Jorge Alberto Ancona Cámara y a su Director de Operaciones Especiales, Lic. Hugo Raúl Villa Obregón.

Se agradece al gobierno del municipio de Calkiní por el apoyo logístico para la realización de este trabajo, en particular a su presidente, el Prof. Jorge Cocón Collí y a su Director de Protección Civil, C. Juan Garduño, así como al personal de esta unidad.

Se agradece a los ingenieros Marco Antonio Salas Salinas, Fermín García Jiménez y Ángel Gómez por su valioso apoyo para la realización de los trabajos de campo, ya que sin su participación no se hubieran podido llevar a cabo.