

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

Facultad de Ciencias

Maestría en Manejo de Ecosistemas en Zonas Áridas



**MODELO DE RIESGO DE INUNDACIÓN COSTERA
CAUSADA POR VARIACIONES DEL NIVEL DEL MAR,
APLICADO A LA CIUDAD DE ENSENADA, B.C., MÉXICO**

TESIS

Que para obtener el grado de

MAESTRA EN CIENCIAS

Presenta

ROSA MARÍA CARMONA ENRÍQUEZ

Ensenada, Baja California, Septiembre de 2013

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE CIENCIAS

MAESTRÍA EN MANEJO DE ECOSISTEMAS DE ZONAS ÁRIDAS

“MODELO DE RIESGO DE INUNDACIÓN COSTERA CAUSADA POR VARIACIONES DEL NIVEL
DEL MAR, APLICADO A LA CIUDAD DE ENSENADA, B.C., MÉXICO”

TESIS

Que para obtener el grado de

MAESTRO EN CIENCIAS

Presenta

ROSA MARÍA CARMONA ENRÍQUEZ


Aprobado por



Dr. José Luis Fermán Almada



Dr. Alejandro García Gastélum



Dr. Ronald Speiz Madero



M.C. Rigoberto Guardado France

ENSENADA B.C., Mayo de 2013

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo económico brindado a través de la beca número 42457.

A mi director, el Dr. Alejandro García Gastelum por el constante apoyo durante (y después de) todo el curso de la maestría, por confiar en mi propuesta de trabajo, por todos los consejos, toda la paciencia y todas las oportunidades.

A mis sinodales por el apoyo que siempre me brindaron desde el primer día! Al Dr. José Luis Fermán, por los consejos y su criterio, gracias por aquellas discusiones conceptuales que ayudaron a darle forma a este trabajo. Al Dr. Ronald Spelz y al M. C. Rigoberto guardado, por su apoyo entusiasta, por su tiempo, por la actitud siempre positiva, por su interés y por sus valiosas aportaciones.

A mi esposo, por apoyarme de tantas maneras durante este tiempo que ni siquiera puedo enlistarlas, gracias por creer en mí.

A mis padres y a mis hermanos, gracias a ustedes tengo las herramientas y la voluntad para alcanzar esta meta en mi vida y para perseguir muchas más.

A la Dra. Ileana Espejel, por sus grandes enseñanzas y el apoyo desde el inicio de la maestría.

A la Dra. Concepción Arredondo, por motivarme a través de sus consejos y por su apoyo en la etapa final de este trabajo.

A mis compañeros de MEZA, por todo lo que aprendí de cada uno de ustedes, por todos los buenos ratos que compartimos en el aula y en el ejido! En especial, gracias a Nata, a Sol, a Fer y a Marina por su sincera amistad.

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	9
2.	OBJETIVOS	11
2.1.	OBJETIVO GENERAL	11
2.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
3.	MÉTODOS	11
	RESULTADOS	12
	Artículo I. Modelo conceptual para la evaluación del riesgo de inundación costera provocada por variaciones locales del nivel del mar	13
	1. Introducción	13
	2. Marco conceptual	15
	3. Conclusiones	19
	4. Referencias	20
	Artículo II. Modelo de riesgo de inundación costera, causada por las variaciones del nivel del mar, aplicado a la ciudad de Ensenada, B.C., México	22
	1. Introducción.....	23
	2. Antecedentes.....	23
	3. Área de estudio	27
	4. Métodos.....	29
	5. Resultados	34
	6. Discusión.....	93
	7. Conclusiones.....	99
	8. Referencias	100
5.	CONCLUSIONES	102
	ANEXOS	103

ÍNDICE DE TABLAS

Artículo I. Modelo conceptual para la evaluación del riesgo de inundación costera provocada por variaciones locales del nivel del mar

Tabla I. Definición de algunos conceptos asociados al riesgo según la Organización de las Naciones Unidas para el Socorro en Caso de Desastres (UNDRO), 1979, Wilches-Chaux, 1993 y Roberts et al, 2009. La traducción de términos de los idiomas Inglés-Español es la que propone UNISDR, 2009.	16
Tabla II. Terminología para construir el modelo de inundación costera causada por variaciones del nivel del mar (modificada de Roberts et al. 2009).....	17

Artículo II. Modelo de riesgo de inundación costera, causada por las variaciones del nivel del mar, aplicado a la ciudad de Ensenada, B.C., México

Tabla I. Grupos de escenarios de aumento del nivel del mar. Las letras A, B y C se utilizan para referirse a cada una de las proyecciones de aumento del nivel del mar en el año 2100.	31
Tabla II. Descripción de zonas.	36
Tabla III. Altura del nivel del mar proyectada en cada uno de los escenarios de amenaza.	37
Tabla IV. Áreas inundables en cada escenario de amenaza y sus áreas de incertidumbre (m ²).....	37
Tabla V. Porcentaje de contribución de la incertidumbre a las áreas inundables, se indica el máximo porcentaje alcanzado en cada escenario y la unidad en la que se presentó, así como el promedio del porcentaje de contribución en toda el área de estudio.	38
Tabla VI. Clasificación de uso de suelo y su ponderación.....	53
Tabla VII. Valores asignados a los criterios de erosión y estructuras de protección costera que componen la exposición.	55
Tabla VIII. Valores relativos asignados a cada categoría de riesgo por inundación.	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Artículo I. Modelo conceptual para la evaluación del riesgo de inundación costera provocada por variaciones locales del nivel del mar

Figura 1. Modelo del riesgo de inundación costera (modificado de Roberts et al., 2009). .	18
---	----

Artículo II. Modelo de riesgo de inundación costera, causada por las variaciones del nivel del mar, aplicado a la ciudad de Ensenada, B.C., México

Figura 1. Área de estudio.	28
Figura 2. Metodología enmarcada en los tres niveles de abstracción de los sistemas de información geográfica según Longley et al. 2005.....	29
Figura 3. Localización de los puntos de control utilizados para el mejoramiento de la resolución vertical del modelo digital de elevación de alta resolución de INEGI.....	32
Figura 4. Zonificación y Unidades de exposición.	35
Figura 5. Áreas inundables proyectadas por los grupos de escenarios E1 y E2, y su respectiva área de incertidumbre.	38
Figura 6. Mapas de amenaza de la Zona 1, en los escenarios E1. De izquierda a derecha: proyecciones A, B y C.	41
Figura 7. Mapas de amenaza de la Zona 1, en los escenarios E2. De izquierda a derecha: proyecciones A, B y C.	42
Figura 8. Mapas de amenaza de la Zona 2, en los escenarios E1. De izquierda a derecha: proyecciones A, B y C.	43
Figura 9. Mapas de amenaza de la Zona 2, en los escenarios E2. De izquierda a derecha: proyecciones A, B y C.	44
Figura 10. Mapas de amenaza de la Zona 3, en los escenarios E1. De izquierda a derecha: proyecciones A, B y C.	45
Figura 11. Mapas de amenaza de la Zona 3, en los escenarios E2. De izquierda a derecha: proyecciones A, B y C.	46
Figura 12. Mapas de amenaza de la Zona 4, en los escenarios E1. De izquierda a derecha: proyecciones A, B y C.	47
Figura 13. Mapas de amenaza de la Zona 4, en los escenarios E2. De izquierda a derecha: proyecciones A, B y C.	48
Figura 14. Mapas de amenaza de la Zona 5, en los escenarios E1. De izquierda a derecha: proyecciones A, B y C.	49
Figura 15. Mapas de amenaza de la Zona 5, en los escenarios E2. De izquierda a derecha: proyecciones A, B y C.	50
Figura 16. Mapas de amenaza de la Zona 6, en los escenarios E1. De izquierda a derecha: proyecciones A, B y C.	51
Figura 17. Mapas de amenaza de la Zona 6, en los escenarios E2. De izquierda a derecha: proyecciones A, B y C.	52
Figura 18. Vulnerabilidad física del área de estudio determinada a partir de la ponderación de uso de suelo.....	54
Figura 19. Vulnerabilidad física en la Zona 1.	56
Figura 20. Exposición en la Zona 1.	56
Figura 21. Vulnerabilidad en la Zona 1.	56

Figura 22. Vulnerabilidad física en la Zona 2.	58
Figura 23. Exposición en la Zona 2.	58
Figura 24. Vulnerabilidad en la Zona 2.	58
Figura 25. Vulnerabilidad física en la Zona 3.	60
Figura 26. Exposición en la Zona 3.	60
Figura 27. Vulnerabilidad en la Zona 3.	60
Figura 28. Vulnerabilidad física en la Zona 4.	62
Figura 29. Exposición en la Zona 4.	62
Figura 30. Vulnerabilidad en la Zona 4.	62
Figura 31. Vulnerabilidad física en la Zona 5.	64
Figura 32. Exposición en la Zona 5.	64
Figura 33. Vulnerabilidad en la Zona 5.	64
Figura 34. Vulnerabilidad física en la Zona 6.	66
Figura 35. Exposición en la Zona 6.	66
Figura 36. Vulnerabilidad en la Zona 6.	66
Figura 37. Mapas de riesgo de inundación (escenarios E1) en la Zona 1.	70
Figura 38. Mapas de riesgo de inundación en la Zona 1, tomando en cuenta la incertidumbre asociada a la amenaza (escenarios E1+i).	71
Figura 39. Mapas de riesgo de inundación (escenarios E2) en la Zona 1.	72
Figura 40. Mapas de riesgo de inundación en la Zona 1, tomando en cuenta la incertidumbre asociada a la amenaza (escenarios E2+i).	73
Figura 41. Mapas de riesgo de inundación (escenarios E1) en la Zona 2.	
Figura 42. Mapas de riesgo de inundación en la Zona 2, tomando en cuenta la incertidumbre asociada a la amenaza (escenarios E1+i).	74
Figura 43. Mapas de riesgo de inundación (escenarios E2) en la Zona 2.	75
Figura 44. Mapas de riesgo de inundación en la Zona 2, tomando en cuenta la incertidumbre asociada a la amenaza (escenarios E2+i).	76
Figura 45. Mapas de riesgo de inundación(escenarios E1) en la Zona 3.	77
Figura 46. Mapas de riesgo de inundación en la Zona 3, tomando en cuenta la incertidumbre asociada a la amenaza (escenarios E1+i).	77
Figura 47. Mapas de riesgo de inundación (escenarios E2) en la Zona 3.	78
Figura 48. Mapas de riesgo de inundación en la Zona 3, tomando en cuenta la incertidumbre asociada a la amenaza (escenarios E2+i).	79
Figura 49. Mapas de riesgo de inundación (escenarios E1) en la Zona 4.	80
Figura 50. Mapas de riesgo de inundación en la Zona 4, tomando en cuenta la incertidumbre asociada a la amenaza (escenarios E1+i).	81
Figura 51. Mapas de riesgo de inundación (escenarios E1) en la Zona 4.	82
Figura 52. Mapas de riesgo de inundación en la Zona 4, tomando en cuenta la incertidumbre asociada a la amenaza (escenarios E2+i).	83
Figura 53. Mapas de riesgo de inundación (escenarios E1) en la Zona 5.	84

Figura 54. Mapas de riesgo de inundación en la Zona 5, tomando en cuenta la incertidumbre asociada a la amenaza (escenarios E1+i).....	85
Figura 55. Mapas de riesgo de inundación (escenarios E2) en la Zona 5.	86
Figura 56. Mapas de riesgo de inundación en la Zona 5, tomando en cuenta la incertidumbre asociada a la amenaza (escenarios E2+i).....	87
Figura 57. Mapas de riesgo de inundación (escenarios E1) en la Zona 6.	88
Figura 58. Mapas de riesgo de inundación en la Zona 6, tomando en cuenta la incertidumbre asociada a la amenaza (escenarios E1+i).....	89
Figura 59. Mapas de riesgo de inundación (escenarios E1) en la Zona 6.	90
Figura 60. Mapas de riesgo de inundación en la Zona 6, tomando en cuenta la incertidumbre asociada a la amenaza (escenarios E1+i).....	91
Figura 61. Áreas de riesgo en los diferentes escenarios en la zona 1.	92
Figura 62. Áreas de riesgo de los diferentes escenarios en la zona 2.	92
Figura 63. Áreas de riesgo de los diferentes escenarios en la zona 3.	92
Figura 64. Áreas de riesgo de los diferentes escenarios en la zona 4.	92
Figura 65. Áreas de riesgo de los diferentes escenarios en la zona 5.	93
Figura 66. Áreas de riesgo de los diferentes escenarios en la zona 6.	93

ANEXO

Tabla I. Puntos de control de la ciudad de Ensenada, B. C.....	103
Tabla II. Usos de suelo en la ciudad de Ensenada, Baja California.	104
Tabla III. Formato de comparación de usos de suelo.	105
Tabla IV. Longitud de la línea de costa en cada Unidad de Exposición.....	106

Resumen

La evaluación del riesgo se realiza siguiendo distintos enfoques y métodos de acuerdo a su contexto, por lo cual no existe un marco conceptual que se pueda utilizar para evaluar cualquier tipo de riesgo, así mismo, no existe un marco conceptual para la evaluación del riesgo de inundación. Dado que la zona costera es susceptible (entre otras cosas) al riesgo de inundación debido a las variaciones del nivel del mar, se propuso un marco conceptual integral, donde el riesgo es el producto de la amenaza (variaciones del nivel del mar) y vulnerabilidad (características socio-culturales). La vulnerabilidad se compone de indicadores que cuantifican los aspectos socialmente susceptibles y se ponderan por el componente de exposición, el cual aumenta o disminuye la condición de vulnerabilidad de acuerdo a variables físicas a lo largo de la línea de costa. El modelo distingue los factores que se pueden manejar (vulnerabilidad y exposición) de los que no se pueden manipular (amenaza). Posterior a diseño del modelo, se realizó una análisis del mismo a través de su aplicación a un caso de estudio en la ciudad de Ensenada, Baja California, México. Se evaluó la vulnerabilidad a través del factor de vulnerabilidad física utilizando el uso de suelo ponderado por un grupo de expertos, la exposición a través del riesgo de erosión, la presencia de estructuras de protección costera y la topografía, y la amenaza se determinó mediante el método conocido como *bathtub*, utilizando escenarios que incluyen el aumento del nivel medio del mar, la marea máxima pronosticada entre 2012 y 2100, así como la incertidumbre asociada a la base de datos topográfica. Se detectaron zonas con riesgo medio a muy alto en los puertos y áreas aledañas, en la desembocadura del Arroyo San Miguel y en el caso de las proyecciones que contemplan la marea máxima, toda la franja de playa al centro y sur de la ciudad. Si bien los indicadores utilizados para cuantificar los componentes de vulnerabilidad respondieron a las características actuales de la zona de estudio, es necesario realizar proyecciones de los mismos para el periodo de tiempo de interés, de manera que se transformen en un modelo dinámico, el cual podría sugerir cambios en el modelo conceptual que se propone.

Los mapas de riesgo presentan áreas pequeñas con riesgo medio, alto y muy alto, principalmente en los puertos y la marina del Hotel Coral (y zonas aledañas), en la desembocadura del Arroyo San Miguel y en los escenarios que contemplan la marea máxima, toda la franja de playa al centro y sur de la ciudad. Los indicadores utilizados para cuantificar los componentes de vulnerabilidad (incluyendo la exposición) resultaron fáciles de incorporar en el análisis espacial y fueron capaces de responder a las características físicas y sociales actuales de la ciudad, sin embargo en futuros estudios, dichos componentes deben proyectarse, de manera que reflejen los cambios esperados en el tiempo. Lo anterior implica que el modelo analizado debe transformarse en un modelo dinámico que permita incluir los cambios provocados por factores naturales y antropogénicos.

Palabras clave: inundación costera; modelo conceptual; riesgo de inundación; sistemas de información geográfica; vulnerabilidad física; exposición; amenaza; ciudad de Ensenada.

1. INTRODUCCIÓN

Existe un riesgo constante en todas las ciudades costeras, asociado con las variaciones del nivel del mar, entendiendo la palabra riesgo como una “la probabilidad de sufrir pérdidas o daño” (Websters, 1993). En estas localidades cercanas a la costa, es muy común la ocurrencia de fenómenos naturales tales como el oleaje de tormenta, mareas anormalmente altas y tsunamis, entre otros, los cuales provocan un aumento en el nivel del mar, ocasionando inundaciones y daños a la propiedad e infraestructura presentes a lo largo de la costa. Aunado a esto, debido al cambio climático, existe una aceleración en la velocidad de aumento del nivel medio del mar, el cual está asociado con una mayor frecuencia e intensidad de los eventos meteorológicos que ocasionan elevaciones del nivel del mar (Cayan et al., 2008; Meehl et al., 2007). Tal aumento del nivel medio del mar, no es homogéneo en todas las regiones del planeta debido, entre otros, a las variaciones locales de la dinámica oceánica, los efectos gravitacionales que afectan el geode, los procesos tectónicos y a los ajustes isostáticos (Yin et al., 2010). Lo anterior ha sido evidenciado y documentado a través de numerosos estudios alrededor del planeta (Cazenave et al., 2003; Titus and Narayanan, 1996; Valiela, 2006; Yin et al., 2010).

Para entender el riesgo asociado a las variaciones del nivel del mar, hay que tomar en cuenta además, las características de los elementos que podrían impactarse o dañarse; en este caso los elementos de interés son los antropogénicos. En cuanto a las actividades humanas, se encuentran en una etapa de rápido desarrollo en las zonas costeras, por lo tanto, la combinación de los factores naturales anteriormente citados y los de origen humano, hace esta región altamente dinámica y compleja, tanto espacial como temporalmente.

Los estudios de riesgo se han desarrollado bajo distintas visiones, utilizando diversos métodos y tomando los términos que se adapten a su contexto; sin embargo, no existe un marco metodológico ni conceptual que permita analizar cualquier tipo de riesgo debido a la complejidad de los factores involucrados. Tales factores pueden referirse a los eventos naturales peligrosos, como su probabilidad de ocurrencia, su intensidad, su frecuencia, su magnitud, etcétera; o bien se pueden asociar al elemento que se encuentra en riesgo, por ejemplo, su fragilidad, su capacidad de adaptación, los daños o impactos que podría sufrir, entre otros. Así mismo, el riesgo asociado a las variaciones del nivel del mar, se ha abordado desde diferentes perspectivas y métodos, las cuales presentan fundamentalmente las consecuencias del aumento del nivel del mar sobre un lugar o región específica (p.e. IPCC, 1992; Hennecke y Cowell , 2000; Webster, 2010; Diez et al., 2007; Sterr, 2008). Si bien los estudios de caso han logrado un gran avance en el conocimiento de los impactos de las variaciones del nivel del mar sobre las localidades costeras, aún hace falta un marco conceptual que explique la relación de los componentes involucrados en el estudio de las variaciones del nivel del mar como un factor de riesgo para las comunidades costeras.

Tal marco conceptual debe ser capaz de generar modelos que representen espacial y temporalmente los procesos (naturales y sociales) que ocurren en la zona costera; de tal manera que sirva de herramienta para la toma de decisiones informadas sobre el manejo de riesgo (Chen et al., 2003). El presente artículo propone un marco conceptual para el estudio del riesgo asociado a las variaciones del nivel del mar en las localidades costeras, a partir del análisis y adaptación de los marcos conceptuales que actualmente se aplican al estudio del riesgo.

La combinación de los elementos involucrados en una evaluación del riesgo asociado a procesos naturales es una tarea complicada, y se ha observado que el método para lograrlo se adapta a cada contexto; es por ello que no existe un marco metodológico ni conceptual que permita la comparación directa entre estudios. Generar un modelo de evaluación del riesgo de inundación costera asociada a las variaciones del nivel del mar es aún más complicado debido a la interacción océano-tierra-atmósfera y a la intervención de los elementos antropogénicos. Sin embargo, es necesaria la creación de un marco conceptual que ayude a entender la relación entre los componentes naturales y antropogénicos, pero desde la perspectiva del riesgo, en el cual, los elementos de interés son los de origen humano.

En el capítulo anterior, se propone un modelo de riesgo que explica la relación entre los componentes de amenaza, vulnerabilidad y exposición, con la intención de incorporar tanto la visión de las ciencias naturales (enfocadas principalmente en el estudio de las amenazas) como la de las ciencias sociales (que han desarrollado ampliamente el concepto de vulnerabilidad), en el contexto del riesgo asociado a las variaciones del nivel del mar. De esta manera, se busca generar modelos de riesgo que permitan su evaluación, es decir, la valoración de distintos niveles de riesgo en un área dada, conforme a sus características físicas y sociales; lo cual a su vez sirve de apoyo para el diseño de estrategias de mitigación y prevención a nivel local. En el presente estudio se realiza una aplicación de dicho modelo a la ciudad de Ensenada, Baja California, con el objetivo de probar y evaluar su funcionamiento. La ciudad de Ensenada posee estructuras, asentamientos humanos y actividades productivas que se realizan en la costa que ya han sido afectadas con anterioridad por eventos de oleaje alto, por lo cual necesita un estudio detallado sobre de las consecuencias directas que el aumento del nivel del mar podría tener.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar el riesgo de inundación costera, causada por las variaciones del nivel del mar, en la zona urbana del municipio de Ensenada, Baja California.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Analizar los componentes del riesgo de inundación costera causada por las variaciones del nivel del mar, así como la relación entre ellos.
2. Integrar un modelo de evaluación del riesgo de inundación costera causada por las variaciones del nivel del mar para la ciudad de Ensenada.
3. Evaluar el riesgo de inundación costera en la zona urbana del municipio Ensenada, Baja California.

3. MÉTODOS

Se redactaron dos artículos científicos que cumplen con los objetivos específicos de manera independiente, a continuación se enlistan los métodos utilizados en cada uno.

Artículo I

Objetivos específicos:

1. Analizar los componentes del riesgo de inundación costera causada por las variaciones del nivel del mar, así como la relación entre ellos.
2. Integrar un modelo de evaluación del riesgo de inundación costera causada por las variaciones del nivel del mar para la ciudad de Ensenada.

Métodos:

- Metanálisis de la información disponible sobre temas de riesgo de fenómenos naturales sobre la sociedad.
- Integración y adaptación de los marcos teóricos existentes.

Artículo II

Objetivo específico:

3. Evaluar el riesgo de inundación costera en la zona urbana del municipio Ensenada, Baja California.

Métodos:

- Cuantificación de los componentes de riesgo.
- Construcción de bases de datos.
- Análisis especial de los componentes de riesgo.

RESULTADOS

Se presentan los resultados en dos capítulos, correspondientes a cada uno de los artículos científicos:

Artículo I: Modelo conceptual para la evaluación del riesgo de inundación costera provocada por variaciones del nivel del a nivel local

Artículo II: Modelo de riesgo de inundación costera, causada por las variaciones del nivel del mar, aplicado a la ciudad de Ensenada, B.C., México.

I. MODELO CONCEPTUAL PARA LA EVALUACIÓN DEL RIESGO DE INUNDACIÓN COSTERA PROVOCADA POR VARIACIONES LOCALES DEL NIVEL DEL MAR

Rosa M. Carmona
oc.carmona@gmail.com

Alejandro García Gastélum
agarcia@uabc.edu.mx

José L. Fermán Almada
jlferman@uabc.edu.mx

Rigoberto Guardado France
rigoberto@uabc.edu.mx

Ronald Spelz Madero
rspelz@uabc.edu.mx

Resumen

A pesar del gran número de estudios de caso, aún no existe un marco conceptual que represente los procesos naturales y sociales asociados al riesgo que ocurren en la zona costera. Se propone un marco conceptual integral, donde el riesgo es el producto de la amenaza (variaciones del nivel del mar) y vulnerabilidad (características socio-culturales). La vulnerabilidad se compone de indicadores que cuantifican los aspectos socialmente susceptibles y se ponderan por el componente de exposición, el cual aumenta o disminuye la condición de vulnerabilidad de acuerdo a variables físicas a lo largo de la línea de costa. El modelo distingue los factores que se pueden manejar (vulnerabilidad y exposición) de los que no se pueden manipular (amenaza). El marco conceptual se incorpora fácilmente a los sistemas de información geográfica ya que se planteó desde su naturaleza espacial, facilitando la comunicación adecuada del riesgo a todos los sectores involucrados.

Palabras clave: inundación costera; modelo conceptual; riesgo de inundación; sistemas de información geográfica

1. Introducción

Existe un riesgo constante en todas las ciudades costeras, asociado con las variaciones del nivel del mar, entendiendo la palabra riesgo como una “la probabilidad de sufrir pérdidas o daño” (Websters, 1993). En estas localidades cercanas a la costa, es muy común la ocurrencia de fenómenos naturales tales como el oleaje de tormenta, mareas anormalmente altas y tsunamis, entre otros, los cuales provocan un aumento en el nivel del mar, ocasionando inundaciones y daños a la propiedad e infraestructura presentes a lo largo de la costa. Aunado a esto, debido al cambio climático, existe una aceleración en la velocidad de aumento del nivel medio del mar, el cual está asociado con una mayor frecuencia e intensidad de los eventos meteorológicos que ocasionan elevaciones del nivel del mar (Cayan et al., 2008; Meehl et al., 2007).

Tal aumento del nivel medio del mar, no es homogéneo en todas las regiones del planeta debido, entre otros, a las variaciones locales de la dinámica oceánica, los efectos gravitacionales que afectan el geoide, los procesos tectónicos y a los ajustes isostáticos (Yin et al., 2010). Lo anterior ha sido evidenciado y documentado a través de numerosos estudios alrededor del planeta (Cazenave et al., 2003; Titus and Narayanan, 1996; Valiela, 2006; Yin et al., 2010).

Para entender el riesgo asociado a las variaciones del nivel del mar, hay que tomar en cuenta además, las características de los elementos que podrían impactarse o dañarse; en este caso los elementos de interés son los antropogénicos. En cuanto a las actividades humanas, se encuentran en una etapa de rápido desarrollo en las zonas costeras, por lo tanto, la combinación de los factores naturales anteriormente citados y los de origen humano, hace esta región altamente dinámica y compleja, tanto espacial como temporalmente.

Los estudios de riesgo se han desarrollado bajo distintas visiones, utilizando diversos métodos y tomando los términos que se adapten a su contexto; sin embargo, no existe un marco metodológico ni conceptual que permita analizar cualquier tipo de riesgo debido a la complejidad de los factores involucrados. Tales factores pueden referirse a los eventos naturales peligrosos, como su probabilidad de ocurrencia, su intensidad, su frecuencia, su magnitud, etcétera; o bien se pueden asociar al elemento que se encuentra en riesgo, por ejemplo, su fragilidad, su capacidad de adaptación, los daños o impactos que podría sufrir, entre otros. Así mismo, el riesgo asociado a las variaciones del nivel del mar, se ha abordado desde diferentes perspectivas y métodos, las cuales presentan fundamentalmente las consecuencias del aumento del nivel del mar sobre un lugar o región específica (p.e. IPCC, 1992; Hennecke y Cowell, 2000; Webster, 2010; Diez et al., 2007; Sterr, 2008).

Si bien los estudios de caso han logrado un gran avance en el conocimiento de los impactos de las variaciones del nivel del mar sobre las localidades costeras, aún hace falta un marco conceptual que explique la relación de los componentes involucrados en el estudio de las variaciones del nivel del mar como un factor de riesgo para las comunidades costeras. Tal marco conceptual debe ser capaz de generar modelos que representen espacial y temporalmente los procesos (naturales y sociales) que ocurren en la zona costera; de tal manera que sirva de herramienta para la toma de decisiones informadas sobre el manejo de riesgo (Chen et al., 2003). El presente artículo propone un marco conceptual para el estudio del riesgo asociado a las variaciones del nivel del mar en las localidades costeras, a partir del análisis y adaptación de los marcos conceptuales que actualmente se aplican al estudio del riesgo.

2. Marco conceptual

De acuerdo a los factores ya mencionados que componen el estudio del riesgo, se pueden distinguir dos aproximaciones al estudio del riesgo: la de las ciencias naturales y exactas, y la de las ciencias sociales (Roberts et al., 2009; Rodríguez Esteves, 2002).

Desde el área de las ciencias naturales, el estudio del riesgo posee un punto de vista ingenieril y se ha enfocado en el análisis de las amenazas y sus impactos; es decir, en los fenómenos potencialmente dañinos y en sus efectos (principalmente físicos).

El concepto de vulnerabilidad se ha definido como vulnerabilidad física o técnica (puesto que se interesa principalmente por los impactos físicos) (Cardona Arboleda, 2001).

Por su parte, las ciencias sociales se han enfocado en la capacidad de la sociedad de enfrentar, responder y adaptarse a cualquier tipo de amenaza. Se asume que la vulnerabilidad no consiste solamente en la probabilidad de un daño físico, por lo cual, las ciencias sociales le confieren un significado más amplio que las ciencias naturales (Cardona Arboleda, 2001; Roberts et al., 2009; Rodríguez Esteves, 2007; Wilches-Chaux, 1993). Esto explica el amplio marco conceptual del tema de riesgo; algunas de las definiciones más representativas se muestran en la Tabla I.

Las definiciones de la Organización de las Naciones Unidas para el Socorro en Caso de Desastres (UNDRO) (Tabla I) representan el primer esfuerzo mundial de obtener un marco de referencia para el estudio del riesgo por desastres naturales. La segunda columna corresponde a Gustavo Wilches-Chaux, abogado y experto en temas de educación ambiental y manejo de desastres. Los dos autores expresan sus perspectivas hacia el tema del riesgo a través de sus definiciones; la UNDRO propone términos cuantificables y concretos, mientras que Wilches-Chaux desarrolla ampliamente los factores sociales y cualitativos.

Otro punto de importancia es la traducción de términos entre distintos idiomas. La traducción literal de la palabra en inglés “hazard” es peligro, y la traducción de “threat” es amenaza (Steiner, 2004). Sin embargo, como se observa en la Tabla I, para hacer la equivalencia de términos se tomó como base la propuesta de UNISDR, 2009, quien sugiere la correspondencia de “hazard” con amenaza. Otros autores como Wilches-Chaux, 1993 y Cardona Arboleda 2001, utilizan esta misma equivalencia de términos.

En los últimos años, los expertos en riesgo (principalmente de las ciencias naturales) se encuentran buscando nuevas formas de complementar o unificar ambas visiones, esto es lo que los autores de la tercera columna (Tabla I) proponen; sugieren que el conocimiento generado por las ciencias sociales en cuanto a vulnerabilidad, debe incluirse de una manera cuantificable.

A pesar de que existen marcos teóricos sobre el análisis de la vulnerabilidad (Birkmann, 2006 presenta una extensa descripción de éstos) no es fácil incorporarlos al paradigma de las ciencias exactas debido a que la información que se maneja es de naturaleza cualitativa.

Aunque no existe consenso sobre un modelo conceptual y metodológico para evaluar el riesgo, Roberts et al. 2009 propone integrar de una manera coherente y clara las visiones de las ciencias naturales y sociales. Dicho modelo se tomó como base para comprender el riesgo de inundación costera causada por variaciones del nivel del mar a una escala local. En la Tabla II se presentan los términos propuestos para realizar el análisis del riesgo de inundación costera. Las definiciones generales propuestas por Roberts et al. 2009 se modificaron para adaptarse a las características específicas de las variaciones del nivel del mar como amenaza para una población costera.

Tabla I. Definición de algunos conceptos asociados al riesgo según la Organización de las Naciones Unidas para el Socorro en Caso de Desastres (UNDRO), 1979, Wilches-Chaux, 1993 y Roberts et al, 2009. La traducción de términos de los idiomas Inglés-Español es la que propone UNISDR, 2009.

Concepto	UNDRO 1979	Wilches-Chaux 1993	Roberts et al. 2009
Riesgo	<i>Específico:</i> grado de pérdidas esperadas debido a la ocurrencia de un suceso particular. <i>Total:</i> número de pérdidas humanas, heridos, daños a las propiedades y efectos sobre la actividad económica debido a la ocurrencia de un desastre.	Cualquier fenómeno de origen natural o humano que signifique un cambio en el medio ambiente que ocupa una comunidad determinada, que sea vulnerable a ese fenómeno.	Probabilidad de pérdida de un elemento como resultado del impacto de un peligro (expresada en términos de amenaza, exposición vulnerabilidad y capacidad de resistencia.
Amenaza	Probabilidad de ocurrencia de un suceso potencialmente desastroso durante cierto periodo de tiempo en un sitio dado	Probabilidad de que ocurra un riesgo frente al cual una comunidad es vulnerable	Probabilidad de que un peligro en particular ocurra dentro de un periodo de tiempo (predicción espacio-temporal de un peligro)
Vulnerabilidad	Grado de pérdida de un elemento o grupo de elementos bajo riesgo, resultado de un evento desastroso	Incapacidad de una comunidad de "absorber", mediante el autoajuste, los efectos de un determinado cambio en su medio ambiente.	Susceptibilidad de ser impactado negativamente por un peligro. Debilidad de un bien o grupo de bienes que pueden ser dañados por uno o más peligros.

Tabla II. Terminología para construir el modelo de inundación costera causada por variaciones del nivel del mar (modificada de Roberts et al. 2009).

Término	Definición
Riesgo	Probabilidad de pérdida o daño de un elemento como resultado de una amenaza (expresada en términos de amenaza, vulnerabilidad y exposición).
Amenaza	Probabilidad de que un fenómeno en particular ocurra dentro de un periodo de tiempo y se expresa como una predicción espacio – temporal. Para este trabajo, dicho fenómeno se refiere a las variaciones del nivel del mar.
Vulnerabilidad	Condición de susceptibilidad de un elemento a ser impactado negativamente por una amenaza.
Elementos Vulnerables	Población, infraestructura, actividades humanas, recursos naturales, etcétera, que se encuentran en un área potencialmente impactada por una amenaza.
Exposición	Presencia de materiales o estructuras de origen natural o antropogénico que aumentan o disminuyen la condición de vulnerabilidad de los elementos.
Vulnerabilidad física	Localización de asentamientos humanos en zonas donde se presente una amenaza.
Vulnerabilidad económica	Susceptibilidad de un elemento a perder valor económico debido a los impactos negativos de una amenaza.

Al introducir los distintos factores asociados a la inundación costera dentro del modelo conceptual general de Roberts et al. 2009, es necesario realizar algunos cambios en la definición e interrelación de los componentes. Se propone que la exposición sea independiente de la amenaza y con influencia sobre la vulnerabilidad (Figura 1). Se asume que la amenaza por su parte, es provocada por procesos que no pueden ser influenciados de manera significativa por acciones de mitigación a corto plazo y por ello se considera que debe ser un componente independiente de los factores de vulnerabilidad. Tales procesos se refieren a aquellos que inducen la variación del nivel del mar a distintas escalas espacio-temporales, por ejemplo, el cambio climático, la subsidencia de la corteza terrestre, los eventos meteorológicos, las mareas, entre otros.

Por otra parte los “Factores Sociales-Culturales” describen los componentes de la vulnerabilidad asociados al comportamiento y conocimiento de la sociedad y su desarrollo, como los aspectos de infraestructura, del uso de recursos naturales, de salud, de economía, de educación, etcétera. La forma de incorporar dichos factores al modelo, es por medio de indicadores que se definen de acuerdo al contexto del estudio de riesgo. En cuanto a las acciones de mitigación, éstas tienen influencia solo en la vulnerabilidad y en la exposición, debido a que, como ya se planteó anteriormente, la amenaza representa procesos que en la práctica no se pueden modificar.

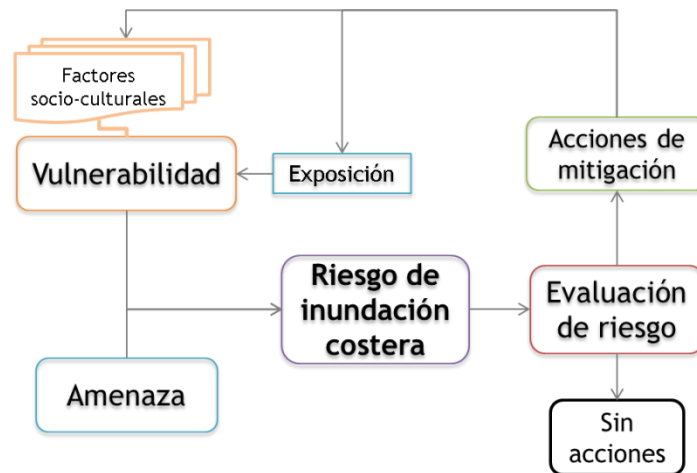


Figura 1. Modelo del riesgo de inundación costera (modificado de Roberts et al., 2009).

Aunque los componentes de amenaza y exposición son referentes al medio físico, la separación de estos conceptos permite analizar de manera independiente los elementos y los procesos cuyo origen (y por lo tanto también sus características) son diferentes. La amenaza representa las variaciones del nivel del mar, las cuales además de no ser modificables, se comportan de manera homogénea en el área, considerando una escala de estudio grande. Por otra parte, la exposición se conforma de elementos (antropogénicos y naturales) que sí varían espacialmente y que en algunos casos es posible alterar; tal es el caso de las estructuras de protección costera, los tipos de playa, los procesos erosivos, los puntos de concentración de energía del oleaje, etcétera.

En el caso particular del riesgo de inundación costera, los elementos y los procesos que se incluyeron dentro del concepto de exposición pueden influenciar espacialmente a algunos factores socioculturales (como la infraestructura, actividades económicas, entre otros), aumentando o disminuyendo su condición de vulnerabilidad, aun cuando éstos no se ubiquen físicamente en una zona inundable. Por ejemplo, una vialidad cerca de la línea de costa puede estar ubicada varios metros por arriba del nivel del mar, sin embargo, si este sitio se encuentra bajo un intenso proceso erosivo, será altamente vulnerable. Por lo tanto, la exposición debe ponderar la vulnerabilidad.

La incorporación del componente de exposición dentro del modelo de riesgo tiene sentido y está fundamentada en el hecho de que los elementos en riesgo poseen una vulnerabilidad intrínseca, independientemente si están expuestos físicamente a una amenaza. Tomemos el ejemplo de una población de bajos recursos económicos; la cual se sabe, es más vulnerable a los desastres por fenómenos naturales que aquellas con mayores recursos (Kron, 2002). Dicha vulnerabilidad existe aun cuando no ocurran las amenazas y aunque no se encuentre físicamente expuesta.

La incorporación de la exposición como componente del riesgo, aunque varíe en su significado de acuerdo al autor, se debe a que en cualquier caso, aporta la característica espacial inherente de los elementos vulnerables; es decir, los localiza en sitios donde pueden recibir un impacto negativo por parte de una amenaza. En este sentido, matemáticamente el riesgo es el producto de la amenaza y la vulnerabilidad (Ec. 1). Lo anterior implica que deben existir las dos condiciones para originar el riesgo de inundación. A su vez, la vulnerabilidad en la ecuación anterior, resume los factores socioculturales, ponderados por la exposición (Ec. 2).

$$\text{Riesgo} = \text{Amenaza} * \text{Vulnerabilidad} \quad (1)$$

$$\text{Vulnerabilidad} = \text{Exposición} * \sum \text{Factores Socio-Culturales} \quad (2)$$

El marco conceptual y las expresiones matemáticas que se proponen, pueden incorporarse fácilmente a los Sistemas de Información Geográfica (SIG), ya que se han planteado desde su naturaleza espacial, pero sin dejar de lado todas sus cualidades no espaciales. Lo anterior es importante, ya que los SIG no solo permiten realizar el análisis espacial de todos los indicadores que se planteen en el marco conceptual; también agiliza la calibración de los modelos de evaluación (por ejemplo, a través del despliegue espacial de la ponderación de indicadores) y la representación de escenarios, entre otras cosas. Por otra parte, la facilidad con la que el marco conceptual se puede transformar en modelos cuantitativos y espaciales es una característica muy importante para el proceso de toma de decisiones para reducir el riesgo; además, los productos que se pueden generar por medio de los SIG (mapas, datos estadísticos, superposición de capas temáticas, modelos tridimensionales, etc.) son clave para la comunicación adecuada de los factores del riesgo a todos los sectores sociales involucrados.

3. Conclusiones

El gran número de estudios de caso sobre los daños que las ciudades costeras pueden sufrir debido a las variaciones del nivel del mar demuestra que existe una alta ocurrencia de fenómenos que ponen en riesgo los bienes y servicios de las localidades costeras. Estos estudios han contribuido a un mejor conocimiento de sus alcances físicos y socioeconómicos a la vez que sirven a la toma de decisiones para la prevención y reducción de los daños.

Dado que las variaciones del nivel del mar representan una amenaza latente para las poblaciones costeras, es necesario abordar esta problemática desde los marcos teóricos del estudio del riesgo, sin las limitaciones que la falta de datos o información podrían implicar. Aunque no hay consenso en cuanto a un marco conceptual, existen propuestas que podrían explicar la relación entre los factores tanto sociales como naturales que componen al riesgo.

A partir de una de estas propuestas se llegó a un marco conceptual en el cual se definen cada uno de los componentes del riesgo asociado a las variaciones del nivel del mar.

El marco conceptual que se propone, distingue entre los factores sociales (incluidos en el concepto de vulnerabilidad) y los factores naturales (comprendidos en el concepto de amenaza). Esta distinción de términos permite discernir entre aquellos factores sobre los que se puede tener influencia y a los cuales se pueden aplicar acciones de prevención y mitigación de riesgo (vulnerabilidad y exposición) de los que no se pueden manipular (amenaza). Debido a que el estudio de riesgo es inherentemente un estudio espacial, todos los componentes se plantearon bajo una lógica espacial, pero que a la vez permita evaluarlos de acuerdo a sus características no espaciales y de manera cuantitativa.

Finalmente, el modelo permite analizar los componentes de riesgo de manera coherente, a la vez que permite su análisis y representación espacial. Lo anterior hace posible proporcionar la información adecuada durante el proceso de toma de decisiones sobre el manejo de riesgo y permite hacer comparaciones entre distintos estudios de caso.

4. Referencias

Birkmann, J., (2006) *Measuring vulnerability to natural hazards: towards disaster resilient societies*. United Nations University.

Cardona, O. D. (2001) Estimación holística del riesgo sísmico utilizando sistemas dinámicos complejos. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España.

Cayan, D. R., Bromirski, P. D., Hayhoe, K., Tyree, M., Dettinger, M. and Flick, R. (2008) Climate change projections of sea level extremes along the California coast. *Climate Change*, 87(1), 57-73.

Cazenave, A., Cabanes, C., Dominh, K., Gennero, M. C. and Le Provost, C. (2003) Present-day sea level change: observations and causes. *Space Science Reviews*, 108, 131-144.

Chen, K., Blong, R., Jacobson, C. (2003) Towards an integrated approach to natural hazards risk assessment using GIS: with reference to bushfires, *Environmental Management* 31(4), 546 -560.

Diez, P. G., Perillo, G. M. E. and Piccolo, M. C. (2007) Vulnerability to Sea-Level Rise on the Coast of the Buenos Aires Province, *Journal of Coastal Research*, 231, 119-126.

Hennecke, W. G. y Cowell, P. J. (2000) GIS Modeling of Impacts of an Accelerated Rate of Sea-Level Rise on Coastal Inlets and Deeply Embayed Shorelines, *Environmental Geosciences*, 7(3), 137-148.

IPCC (1992) A common methodology for assessing vulnerability to sea-level rise - second revision, *Response Strategies Working Group of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.

Kron, W. (2002) Keynote lecture: Flood risk = hazard x Exposure x Vulnerability. En: *Flood defence* (ed. by B. WU, Z. Y. Wan, G. Wang, G. G. Huang, H. Fang, and J. Huang) 82-97, Science Press.

- Meehl, G. A., Stocker, T. F., Collins, W. D., Friedlingstein, P., Gaye, A. T., Gregory, J. M., Kitoh, A., Knutti, R., Murphy, J. M., Noda, A., Raper, S. C. B., Watterson, I. G., Weaver, A. J., Zhao, Z. C. (2007) Global Climate Projections, in Climate change 2007: The physical science basis. *Working Group I of the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.
- Roberts, N. J., Nadim, F., Kalsnes, B. (2009) Quantification of vulnerability to natural hazards, *Georisk: Assessment and Management of Risk for Engineered Systems and Geohazards* 3(3), 164-173.
- Rodríguez, J. M. (2002) Los desastres naturales en Mexicali, B.C.: diagnóstico sobre el riesgo y la vulnerabilidad urbana, *Frontera Norte* 14(27), 123-153.
- Rodríguez, J. M. (2007) La conformación de los “desastres naturales”: construcción social del riesgo y variabilidad climática en Tijuana, B. C., *Frontera Norte* 19(37), 83-112.
- Steiner, R. (2004), *Webster's New World International Spanish Dictionary*, John Wiley & Sons.
- Sterr, H. (2008) Assessment of Vulnerability and Adaptation to Sea-Level Rise for the Coastal Zone of Germany, *Journal of Coastal Research* 242, 380-393.
- Titus, J. G. y Narayanan, V. (1996) The risk of sea level rise, *Climatic Change* 33, 151-212.
- UNDRO (1979) Natural disasters and vulnerability analysis. *Experts group meeting*.
- UNISDR (2009) Terminología sobre Reducción del Riesgo de Desastres. *Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres de las Naciones*.
- Valiela, I. (2006) *Global Coastal Change*. Blackwell.
- Webster, N. (1993) *Webster's dictionary and thesaurus*. Tormont.
- Webster, T. L. (2010) Flood Risk Mapping Using LiDAR for Annapolis Royal, Nova Scotia, Canada. *Remote Sensing* 2(9), 2060-2082.
- Wilches-Chaux, G. (1993) La vulnerabilidad global. In: Los Desastres No Son Naturales, (ed. by A. Maskrey) 11-44. *La Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina*.
- Yin, J., Griffies, S. M., Stouffer, R. J. (2010) Spatial variability of sea level rise in twenty-first century projections. *Journal of Climate* 23, 4585-4607.

II. MODELO DE RIESGO DE INUNDACIÓN COSTERA, CAUSADA POR LAS VARIACIONES DEL NIVEL DEL MAR, APLICADO A LA CIUDAD DE ENSENADA, B.C., MÉXICO

R. M. Carmona
oc.carmona@gmail.com

A.García
agarcia@uabc.edu.mx

R.Spelz
rspelz@uabc.edu.mx

R.Guardado
rigoberto@uabc.edu.mx

J.L.Fermán
jlferman@uabc.edu.mx

Resumen

Se realizó la aplicación de un modelo conceptual para la evaluación del riesgo asociado a las variaciones del nivel del mar a escala local en la ciudad de Ensenada, Baja California, México. Se evaluó la vulnerabilidad a través del factor de vulnerabilidad física utilizando el uso de suelo ponderado por un grupo de expertos, la exposición a través del riesgo de erosión, la presencia de estructuras de protección costera y la topografía, y la amenaza se determinó mediante el método conocido como *bathtub*, utilizando escenarios que incluyen el aumento del nivel medio del mar, la marea máxima pronosticada entre 2012 y 2100, así como la incertidumbre asociada a la base de datos topográfica. Se encontró que las áreas con mayor vulnerabilidad física son Punta Morro, la zona comercial al norte del Puerto del Sauzal y el área de Estero Beach; amplias secciones con alto grado de exposición como el caso del área del Arroyo San Miguel, áreas aledañas al Puerto de Ensenada y toda la franja de playa arenosa al sur de la ciudad. Debido a la incertidumbre de la base de datos topográfica solo se pudieron determinar áreas inundables para escenarios de aumento del nivel del mar entre los 1.4m y 2.5m, en el caso de Ensenada, tales áreas se ubican en el Puerto de Ensenada y la desembocadura del Arroyo San Miguel. Los mapas de riesgo presentan áreas pequeñas con riesgo medio, alto y muy alto, principalmente en los puertos y la marina del Hotel Coral (y zonas aledañas), en la desembocadura del Arroyo San Miguel y en los escenarios que contemplan la marea máxima, toda la franja de playa al centro y sur de la ciudad. Los indicadores utilizados para cuantificar los componentes de vulnerabilidad (incluyendo la exposición) resultaron fáciles de incorporar en el análisis espacial y fueron capaces de responder a las características físicas y sociales actuales de la ciudad, sin embargo en futuros estudios, dichos componentes deben proyectarse, de manera que reflejen los cambios esperados en el tiempo. Lo anterior implica que el modelo analizado debe transformarse en un modelo dinámico que permita incluir los cambios provocados por factores naturales y antropogénicos.

Palabras Clave: riesgo de inundación costera; vulnerabilidad física; exposición; amenaza; ciudad de Ensenada; estudio de caso; modelo conceptual.

1. Introducción

La combinación de los elementos involucrados en una evaluación del riesgo asociado a procesos naturales es una tarea complicada, y se ha observado que el método para lograrlo se adapta a cada contexto; es por ello que no existe un marco metodológico ni conceptual que permita la comparación directa entre estudios. Generar un modelo de evaluación del riesgo de inundación costera asociada a las variaciones del nivel del mar es aún más complicado debido a la interacción océano-tierra-atmósfera y a la intervención de los elementos antropogénicos. Sin embargo, es necesaria la creación de un marco conceptual que ayude a entender la relación entre los componentes naturales y antropogénicos, pero desde la perspectiva del riesgo, en el cual, los elementos de interés son los de origen humano.

En el capítulo anterior, se propone un modelo de riesgo que explica la relación entre los componentes de amenaza, vulnerabilidad y exposición, con la intención de incorporar tanto la visión de las ciencias naturales (enfocadas principalmente en el estudio de las amenazas) como la de las ciencias sociales (que han desarrollado ampliamente el concepto de vulnerabilidad), en el contexto del riesgo asociado a las variaciones del nivel del mar. De esta manera, se busca generar modelos de riesgo que permitan su evaluación, es decir, la valoración de distintos niveles de riesgo en un área dada, conforme a sus características físicas y sociales; lo cual a su vez sirve de apoyo para el diseño de estrategias de mitigación y prevención a nivel local. En el presente estudio se realiza una aplicación de dicho modelo a la ciudad de Ensenada, Baja California, con el objetivo de probar y evaluar su funcionamiento. La ciudad de Ensenada posee estructuras, asentamientos humanos y actividades productivas que se realizan en la costa que ya han sido afectadas con anterioridad por eventos de oleaje alto, por lo cual necesita un estudio detallado sobre de las consecuencias directas que el aumento del nivel del mar podría tener.

2. Antecedentes

Variaciones del nivel del mar.

Las variaciones del nivel del mar ocurren en diferentes escalas espacio-temporales e inciden de diversas formas en la línea de costa. Lo anterior implica que el manejo de la zona costera está por una parte, función de la naturaleza de las variaciones del nivel del mar. Una forma de clasificar las variaciones del nivel del mar es a partir de su periodo de duración, de manera que se pueden distinguir entre variaciones de corto y largo plazo. Las variaciones de corto plazo son aquellas que se pueden observar directamente o medir y son provocadas por mareas, fluctuaciones atmosféricas, forzamiento del viento, movimientos cosísmicos, tsunamis, cambios de densidad del agua, balance de agua entre los océanos, etcétera.

Todas estas variaciones suceden a una escala de tiempo que va desde minutos hasta algunos años y pueden provocar variaciones importantes en poco tiempo, tal es el caso de los tsunamis que pueden elevar el nivel del mar por encima de los 10 m en unas cuantas horas. Las variaciones de largo plazo suceden a una escala de tiempo de cientos a miles de años y son provocados por factores eustáticos, climáticos, tectónicos, sedimentológicos y oceanográficos; este tipo de procesos pueden provocar cambios de cientos de metros en el nivel del mar (U.S. Army Corps of Engineers, 1995).

Aunque es difícil medir los cambios en el nivel del mar, es necesario tomarlas en cuenta dentro de la planeación del desarrollo en las zonas costeras. Entre los efectos principales de las variaciones del nivel del mar se encuentran el retroceso de la línea de costa debido a inundación de áreas bajas o bien, por procesos erosivos; la inundación por elevaciones extremas del nivel del mar durante tormentas, las cuales pueden intensificarse debido al aumento acelerado del nivel medio del mar; y la intrusión salina. (Schwartz, 2005).

En cuanto a la evaluación de los impactos del aumento del nivel medio del mar, el IPCC publicó en 1992 una “metodología común” para evaluar la vulnerabilidad de las zonas costeras ante el aumento acelerado del nivel medio del mar; entendiendo por “vulnerabilidad” como la capacidad de un país o región de hacer frente a las consecuencias del aumento del nivel medio del mar. Éste método consiste en 7 pasos en los que se caracteriza la zona en cuestión y se identifican los factores socioeconómicos más importantes, haciendo una proyección de los mismos a 30 años. Posteriormente se analizan las dificultades que podrían presentarse en cuanto a cuestiones administrativas, legislativas o económicas (se hace una evaluación de costos) para la implementación de estrategias para enfrentar los impactos del aumento nivel del mar. Además, contempla una última etapa en donde se consideran las características que debe tener el plan de acción a elegir y las herramientas e información que se necesitarían para posteriores evaluaciones (IPCC, 1992).

Después de la propuesta metodológica del IPCC en 1992, se han realizado estudios en todo el mundo en los que se analizan distintos aspectos del aumento del nivel medio del mar.

Para la región de California, en Estados Unidos, Cayan et al. (2008) realiza un análisis de distintos escenarios, en los que integra predicciones hechas por el IPCC de las tasas de aumento del nivel medio del mar, el derretimiento de glaciares y variaciones cortas del nivel del mar (provocadas por el forzamiento del viento, mareas y El Niño). En dicho estudio se proyecta que el nivel medio del mar en la región de California podría elevarse en un rango de 10 a 72cm para el año 2100. Además, se plantean escenarios en los que se calcula la frecuencia de eventos oceanográficos y meteorológicos que pueden ocasionar elevaciones extremas en el nivel del mar, los resultados demuestran que el aumento del nivel del mar, está asociado con una mayor frecuencia de estos eventos.

En materia de riesgos por desastres naturales, históricamente México ha carecido de una cultura de prevención y se ha enfocado a la atención de las emergencias (Mancilla, 1996). Además, la planeación en las zonas costeras del país es relativamente reciente y obedece al creciente desarrollo económico en esta zona (León, 2004), por lo cual se requiere de estrategias de prevención y mitigación de riesgos en las costas del país.

En México se han hecho estudios en algunas partes del país para evaluar el riesgo asociado al aumento del nivel del mar en zonas costeras. Algunos de ellos están publicados en el libro “Cambio Climático en México: un enfoque costero y marino” (Rivera Arriaga, Azuz Adeath, Alpuche Gual, y Villalobos Zapara, 2010) y abordan perspectivas culturales y ecológicas. Por ejemplo, González Turrubiates (2010) propone una serie de indicadores que describen factores fisiográficos y socioeconómicos para evaluar la vulnerabilidad y gestión del riesgo por inundaciones en los municipios costeros del país. La mayoría de los descriptores que componen a los indicadores se refieren a la vulnerabilidad socioeconómica como marginación, desempleo, cobertura de servicios médicos y hospitalarios, capacidad de divulgación de información etc. Tras la aplicación de este modelo en un municipio del estado de Veracruz, se detectó una gran falta de coordinación institucional, falta planes de disminución de riesgos y poca capacidad de respuesta ante emergencias por parte de autoridades y población.

Ortiz Pérez y Méndez Linares (2004) realizan un estudio de la vulnerabilidad de la zona costera del Golfo de México ante el aumento del nivel del mar. Se toma en cuenta el porcentaje del territorio afectado de cada tipo de vegetación y uso de suelo en la zona costera, a la vez que clasifica el litoral en función del tipo de costa que presenta (transgresiva, regresiva) y describe sus características fisiográficas; sin embargo, no evalúa el grado de vulnerabilidad de cada tipo de costa uso de suelo o vegetación.

En 2008, Ortiz Figueroa y González Navarro analizan las tendencias regionales del cambio en el nivel del mar en México y presentan algunas series de tiempo del nivel medio del mar que se tienen en el país (las cuales son pequeñas comparadas con las de otros lugares del mundo).

Se discute sobre la gran importancia que tienen los factores tectónicos en nuestro país para la determinación de la tasa de cambio del nivel del mar ya que existen zonas activas que determinan el grado de aumento del nivel del mar. Por ejemplo, la franja costera de los estados de Michoacán, Guerrero, Oaxaca y Chiapas presentaría un aumento nulo o incluso negativo dentro de cien años debido al levantamiento cosísmico periódico que ocurre en esta región. En Baja California, señalan que los movimientos continentales no han sido significativos con respecto a los cambios en el nivel medio del mar, y por lo tanto, la tendencia es positiva.

Recientemente, se ha creado un Programa Especial de Cambio Climático en 2005 mediante el cual se pretende incorporar en la política, estrategias específicas para enfrentar el cambio climático. Posteriormente se crea la Estrategia Nacional de Cambio Climático en 2007 en el cual se plantea que los estados de la república deben crear sus propios programas para evaluar las consecuencias del cambio climático y elaborar sus propias líneas de acción, el principal problema abordado en éstos programas es el de los gases de efecto invernadero. En Baja California se han iniciado estudios sobre las consecuencias del cambio climático y está en proceso de elaboración una primera aproximación a los impactos físicos del aumento del nivel del mar a nivel estatal.

Particularmente en la ciudad de Ensenada, Baja California, Montoya Turrillas (1991) realizó un estudio donde define las zonas propensas a erosión e inundación debido al aumento del nivel medio del mar, en la franja de playa arenosa ubicada en el centro de la Bahía de Todos Santos. El método que siguió fue el cálculo del retroceso de la línea de costa según una adaptación a la Regla de Bruun. De acuerdo a las diferentes simulaciones que generó, el máximo retroceso de la línea de costa podría ser de 203.2m en el año 2100 con un aumento del nivel medio del mar de 1.5m. Al resultado anterior, discute si el proceso de acreción en la parte norte de la playa pueda equilibrarse con el aumento del nivel medio del mar. Por el contrario, en la parte sur de la playa, existe un proceso erosivo que se sumaría al aumento del nivel medio del mar. Además, se menciona que las zonas de posplaya con poca altura como El Ciprés y Coronitas podrían ser susceptibles a inundación. En este estudio no se profundiza en recomendaciones de manejo.

También en la Bahía de Todos Santos, Peynador y Méndez (2010) realizaron una propuesta de manejo de erosión para celda litoral III; ésta celda litoral coincide con el área de estudio de Montoya Turrillas (1991), e incluye una pequeña fracción al sur de la playa. Para realizar la propuesta de manejo, los autores analizan los cambios en la línea de costa por medio de fotografías aéreas de distintos años entre 1985 y 2005. Los resultados arrojaron que durante este tiempo ocurrieron cambios tanto de acreción como de erosión, sin embargo, la estimación del balance total indica que hubo una pérdida neta de aproximadamente 80,000m² de sedimento. El cambio más importante en la línea de costa fue la pérdida de una barra arenosa en el extremo sur de la playa (correspondiente a la boca del Estero de Punta Banda).

Históricamente, la boca del Estero de Punta Banda se ha caracterizado por ser altamente dinámica, como lo demuestra el análisis de fotografías aéreas e imágenes de satélite realizado por Delgado González *et al* (2005), en el periodo de 1972 a 2003. En términos generales, encontraron que este sitio sufrió erosión entre los años de 1972 y 1980, y posteriormente hubo acreción hasta 2003.

Durante el primer periodo, el incremento en la boca del estero se lo atribuyeron a las tormentas registradas en los años 1977, 1978 y 1980, las cuales debilitaron principalmente la barra arenosa, aunque también afectaron en menor grado a la parte continental. En el segundo periodo, la disminución de la boca, los autores lo atribuyen precisamente a las fuertes precipitaciones ocurridas en años los anteriores, las cuales aportaron el sedimento que se depositaría en esta zona mediante el transporte litoral.

En cuanto a medidas de manejo, Peynado y Méndez (*op cit*) proponen un Plan de Manejo de Erosión de la Línea Costera que consiste en cuatro políticas: 1) Monitoreo e investigación, 2) Mitigación, 3) Regulación del desarrollo costero y 4) Conservación. Para cada política se especifican acciones, su plazo y los actores correspondientes. La mayoría de las estrategias que se sugieren en dicho plan, se inclinan hacia la regulación del desarrollo costero y en algunos casos hacia el control de erosión. Los autores justifican lo anterior haciendo mención a los problemas históricos de erosión en las playas correspondientes a la celda litoral III, los cuales se han intentado resolver de forma aislada y en la mayoría de los casos, tratando de controlar la tasa de erosión. Lo anterior ha sido poco efectivo y en algunos casos han causado problemas colaterales de erosión.

3. Área de estudio

La ciudad de Ensenada ($31^{\circ}41' - 31^{\circ}54'N$, $116^{\circ}31' - 116^{\circ}44'O$) se localiza sobre la costa noroeste de la Península de Baja California, en la Bahía de Todos Santos (Figura 1). La franja costera de la ciudad (al Oriente) posee una conformación variada que incluye cantiles, playa arenosa, dunas y una laguna costera, mientras que del lado Poniente, la zona urbana se encuentra bordeada por lomeríos. Sobre la línea de costa la ciudad posee infraestructura y actividades productivas de las que depende su economía, por ejemplo, existen dos puertos, los cuales forman parte del sistema portuario nacional y son importantes factores de desarrollo económico para diversas actividades que van desde astilleros, muelles, marinas, pesca y actividades turísticas a los que se asocian un gran número de empresas (IMIP, 2009). También sobre la franja costera existen zonas residenciales, comerciales, escuelas, centros turísticos y playas con uso recreativo.

De acuerdo con el IMIP (2009) la mayor parte de la mancha urbana se encuentra asentada en planicies costeras con pendiente baja, además posee zonas urbanizadas que presentan intensa erosión costera, con ocurrencia de deslizamientos de tierra y cercanas fallas geológicas. Esta zona también está sujeta a diversos procesos naturales potencialmente peligrosos como tsunamis, sismos, incendios, ciclones y sequías.

Por otra parte, el IMIP también señala que debido a que la ciudad ofrece vistas al mar, se ha desarrollado una especialización en la actividad turística que ha influido en la ocupación de ésta área por viviendas residenciales y comercios turísticos. Lo anterior y la poca disponibilidad de suelo en el centro de población, ha propiciado la especulación del suelo y costos desmedidos de los predios en la franja costera. A pesar de la clara vocación turística de la ciudad, los usos de suelo de mayor demanda durante el periodo 2002 a 2007, fue el industrial y el comercial.

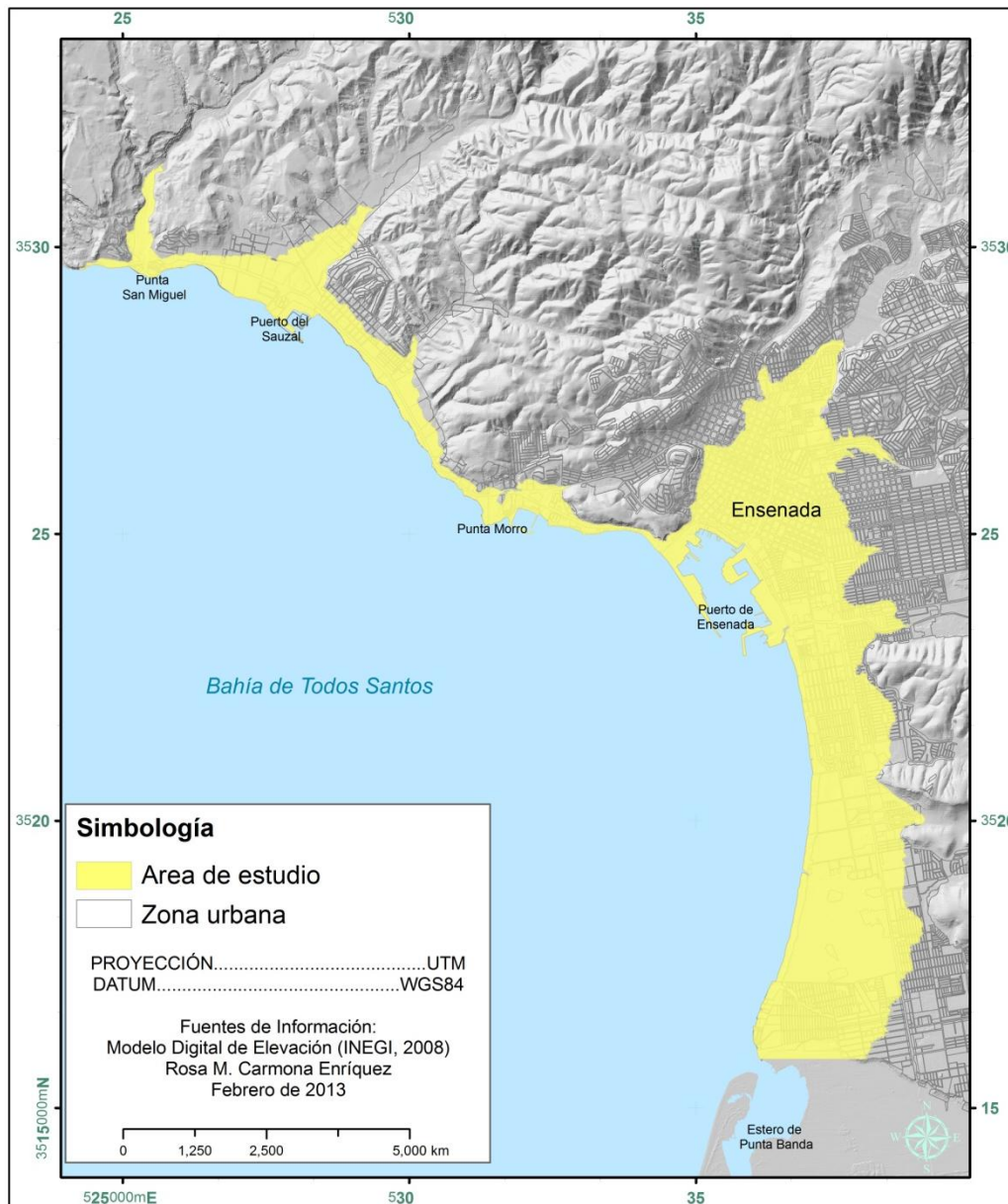


Figura 1. Área de estudio.

4. Métodos

La metodología a seguir se enmarca en los tres niveles de abstracción según Longley et al., 2005 para los sistemas de información geográfica (SIG), el cual se muestra en la Figura 2. Según este modelo de abstracción, los dos primeros niveles consisten en la selección de los elementos que se modelarán y el desarrollo del marco conceptual que dirigirá al SIG. Posteriormente, en el modelo lógico (nivel tres) se construye el modelo lógico y los algoritmos que representen las relaciones entre los elementos; finalmente, el cuarto nivel corresponde a la construcción del modelo físico, que en este caso, se refiere a todas las representaciones gráficas, archivos y productos digitales.

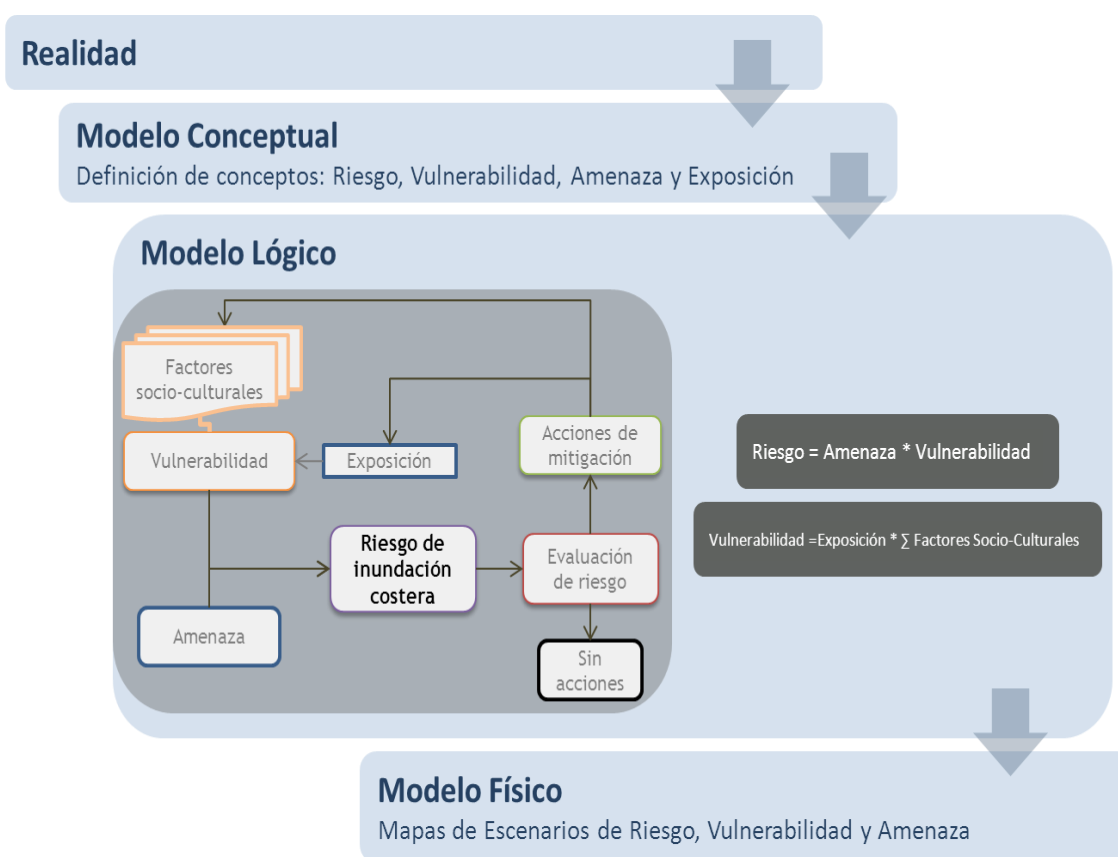


Figura 2. Metodología enmarcada en los tres niveles de abstracción de los sistemas de información geográfica según Longley et al. 2005.

El modelo lógico y los algoritmos que corresponden a los tres primeros niveles de abstracción de Longley et al. 2005 (Figura 3) se desarrollaron en el primer capítulo. En general, el modelo conceptual propone que el riesgo de inundación costera se compone de Amenaza y Vulnerabilidad; la Vulnerabilidad a su vez se construye a partir de una serie de factores socio-culturales que definirán el grado de susceptibilidad de los elementos de interés (en este caso, antropogénicos) a ser impactados negativamente por la amenaza.

La Vulnerabilidad además está influenciada o ponderada por el componente de Exposición, el cual representa todas las características físicas naturales o antropogénicas en la línea de costa que pueden aumentar o disminuir la condición de vulnerabilidad de los elementos de interés.

Una vez que se realiza la evaluación de riesgo, las medidas de mitigación que se decidan tomar solo pueden hacerse sobre los componentes de Exposición y/ Socio-culturales, puesto que la Amenaza representa las variaciones del nivel del mar que no pueden ser modificadas en el corto plazo.

A continuación, se describen los métodos utilizados para evaluar la amenaza, la vulnerabilidad y la exposición.

4.1. Amenaza

La amenaza como se definió en el capítulo 1, se refiere a las variaciones del nivel del mar y se caracterizó mediante escenarios de elevación del nivel medio del mar. La información base que alimenta los escenarios es el Modelo Digital de Elevación (MDE) de alta resolución generado con el instrumento denominado LIDAR (*Light Detection And Ranging*), por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) en 2008. Dicho MED está en formato raster y tiene una resolución horizontal de 5 m y vertical de 1 m. El modelo se ajustó efectuando una serie de puntos de referencia distribuidos a lo largo de toda el área de estudio (Figura 3). Estos puntos fueron medidos utilizando un GPS diferencial marca Magellan modelo Promark3. Cada punto de referencia fue medido durante 40 minutos, registrando datos cada 15 segundos, obteniendo una exactitud promedio de 0.001 m.

Con la información anterior se utilizó el método de análisis espacial descrito por Afanador y Ruiz, 2009 (llamado comúnmente *bathtub*), en el cual se identifican como “inundables” las celdas del MED que presentan una altura igual o menor al nivel del mar proyectado. Posteriormente se generó un mapa de amenaza para cada escenario de elevación del nivel del mar; las celdas inundadas adquirieron el valor numérico 1 y las áreas sin amenaza el valor de 0. El análisis espacial se realizó utilizando el software ArcGIS 9.3 y el formato raster.

Se generaron dos grupos de escenarios con base en tres proyecciones de aumento del nivel medio del mar en el año 2100 hechas por Cayan (2008) para la zona de California, E.U.A. Además, para cada escenario se representó el área de incertidumbre resultante del error medio cuadrático del modelo digital de elevación (Tabla I).

E1. Representan las elevaciones proyectadas en 2100, de 0.1m, 0.4m y 0.7m.

E2. Presentan la marea máxima calculada entre Diciembre de 2012 y Diciembre de 2100, bajo el efecto del aumento del nivel del mar de cada proyección. La marea máxima se calculó mediante el programa MAR V1.0 2011 creado por el Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada, a partir de una modelación de mareas cada 60 minutos, con referencia al nivel medio del mar.

Tabla I. Grupos de escenarios de aumento del nivel del mar. Las letras A, B y C se utilizan para referirse a cada una de las proyecciones de aumento del nivel del mar en el año 2100.

Escenario	E1	E1+i	E2	E2+i
A	0.1m	$0.1m + i$	$0.1m + M$	$0.1m + M + i$
B	0.4m	$0.4m + i$	$0.4m + M$	$0.4m + M + i$
C	0.7m	$0.7m + i$	$0.7m + M$	$0.7m + M + i$

(i = incertidumbre, M = marea máxima entre 2012 y 2100)

Posteriormente se calculó el área inundable en cada escenario (incluyendo su área de incertidumbre), para áreas delimitadas por las unidades de exposición (descritas más adelante), con el fin de determinar cuantitativamente el comportamiento de la inundación a lo largo de la línea de costa.

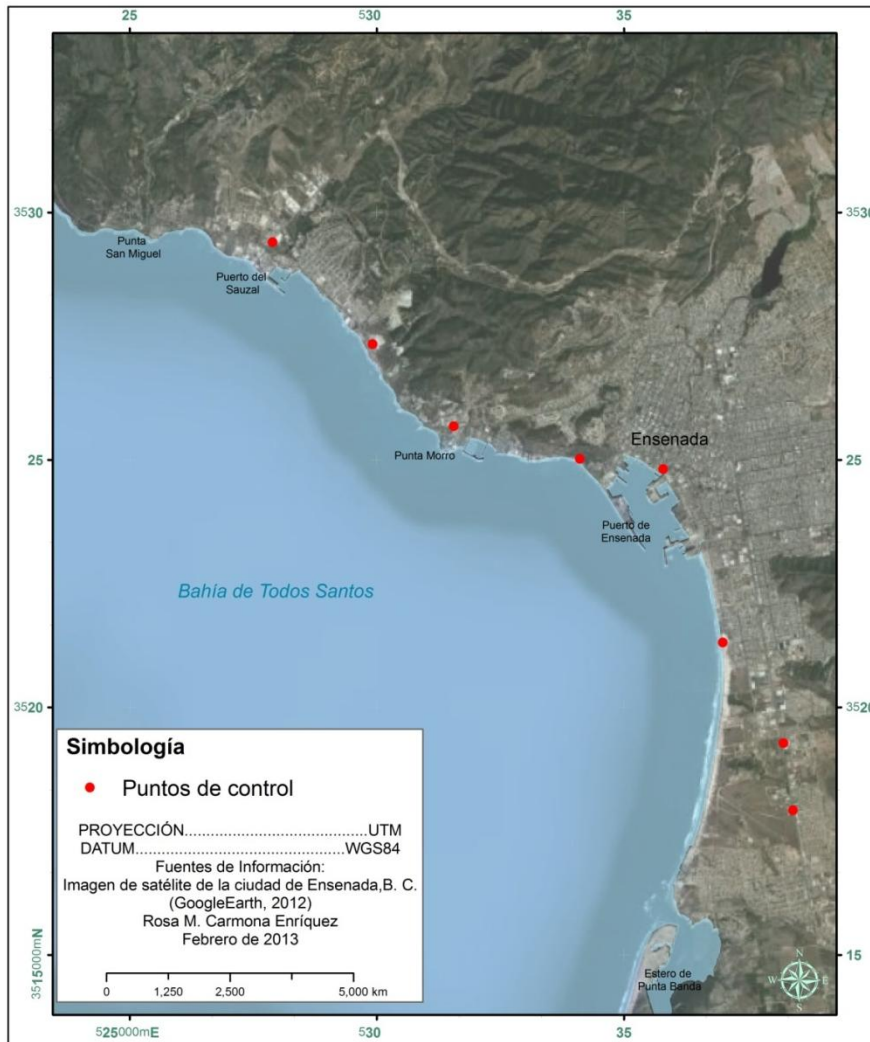


Figura 3. Localización de los puntos de control utilizados para el mejoramiento de la resolución vertical del modelo digital de elevación de alta resolución de INEGI.

4.2. Vulnerabilidad

4.1.1. Vulnerabilidad física

Se evaluó el factor socio-cultural denominado “vulnerabilidad física”, el cual expresa qué elementos del área de estudio pueden resultar físicamente dañados. La forma en que se cuantificó la vulnerabilidad física fue mediante una consulta a expertos, quienes ponderaron los usos de suelo, determinando así cuáles son más importantes en términos socioeconómicos para la ciudad de Ensenada. De acuerdo con la ponderación, se asignó a los usos de suelo una escala relativa entre 1 y 2, en donde el uso más importante adquirió el valor de 2.

Se obtuvo la información de usos de suelo a nivel de manzana de la base de datos del servicio de SIG en línea del Instituto Municipal de Investigación y Planeación de Ensenada. Dicha información se corroboró mediante el software GoogleEarth y en campo con ayuda de la aplicación iGIS (Geometry Pty Ltd) para iPad, conectada a un GPS portátil. Los usos de suelo se catalogaron de acuerdo a la clasificación de la European Commission, 1993.

4.1.2. Exposición

La exposición se evaluó en unidades litorales modificadas de García Gastélum (1997) utilizando como criterios ambientales las celdas litorales, la morfología (tipos de playa), el nivel de riesgo de erosión y los tipos de estructuras de protección costera presentes. Estas unidades fueron actualizadas de acuerdo con los cambios en la franja costera que han sucedido a través del tiempo. Las unidades litorales se proyectaron espacialmente tierra adentro utilizando como límite terrestre la cota de los 24m.

Se utilizaron dos de los descriptores de la zonificación como criterios para evaluar la exposición; tales descriptores son el riesgo de erosión y la presencia de estructuras de protección costera. El riesgo de erosión costera tomó un rango de valores entre 1 y 2, siendo el mínimo cuando la unidad no presentó riesgo de erosión y el máximo cuando el riesgo fue muy alto. En cuanto a las estructuras de protección costera, se asignó el valor de 2 a las unidades que tuvieran algún tipo de protección y el valor de 1 a las que no presentaron alguna protección.

La evaluación de la exposición se realizó de acuerdo a la siguiente expresión matemática en la cual (Ec. 1), también se toma en cuenta el factor de la altura topográfica:

$$Exposición = \frac{E}{Z \times PC} \quad (1)$$

Donde E = Intensidad del proceso erosivo, PC = Presencia de estructuras de protección costera y Z = altura topográfica.

Todos los análisis espaciales se realizaron utilizando ArcGis 9.3 y una combinación de formato vectorial y raster.

5. Resultados

5.1. Modelo digital de elevación.

Los puntos de control obtenidos mediante el GPS diferencial indican que el modelo digital de elevación de INEGI sub estima las alturas, pues se obtuvo un error promedio de -0.373m (ver Tabla I en la sección de anexos). Por lo tanto, se realizó un ajuste que consistió en desplazar de manera homogénea todo el modelo 0.373m. Este ajuste disminuye la Raíz del Error Cuadrático Medio (RECM) de 1.055m a 0.54m.

5.2. Escala de representación y escala de la información

Aunque se utilizaron datos provenientes de diversas fuentes y diferentes formatos, se tomó como unidad de análisis el pixel de 5m definido por el MDE. Por lo tanto, toda la información se transformó a archivos raster con una resolución horizontal de 5m; con éste formato se realizaron todas las operaciones y se obtuvieron los productos. Sin embargo, no es posible representar de forma clara dicha información para toda el área de estudio en un solo mapa, por lo cual resultó más apropiado dividirla en zonas, de manera que los resultados fueran apreciables a simple vista.

Para dividir el área de estudio se utilizó una escala de representación de 1:40,000, y una zonificación que responde a características morfológicas y físicas importantes en la línea de costa, tales como puntas y puertos (Figura 4). En la Tabla II se presenta una descripción general de cada zona, así como las unidades de exposición que contempla cada una de ellas.

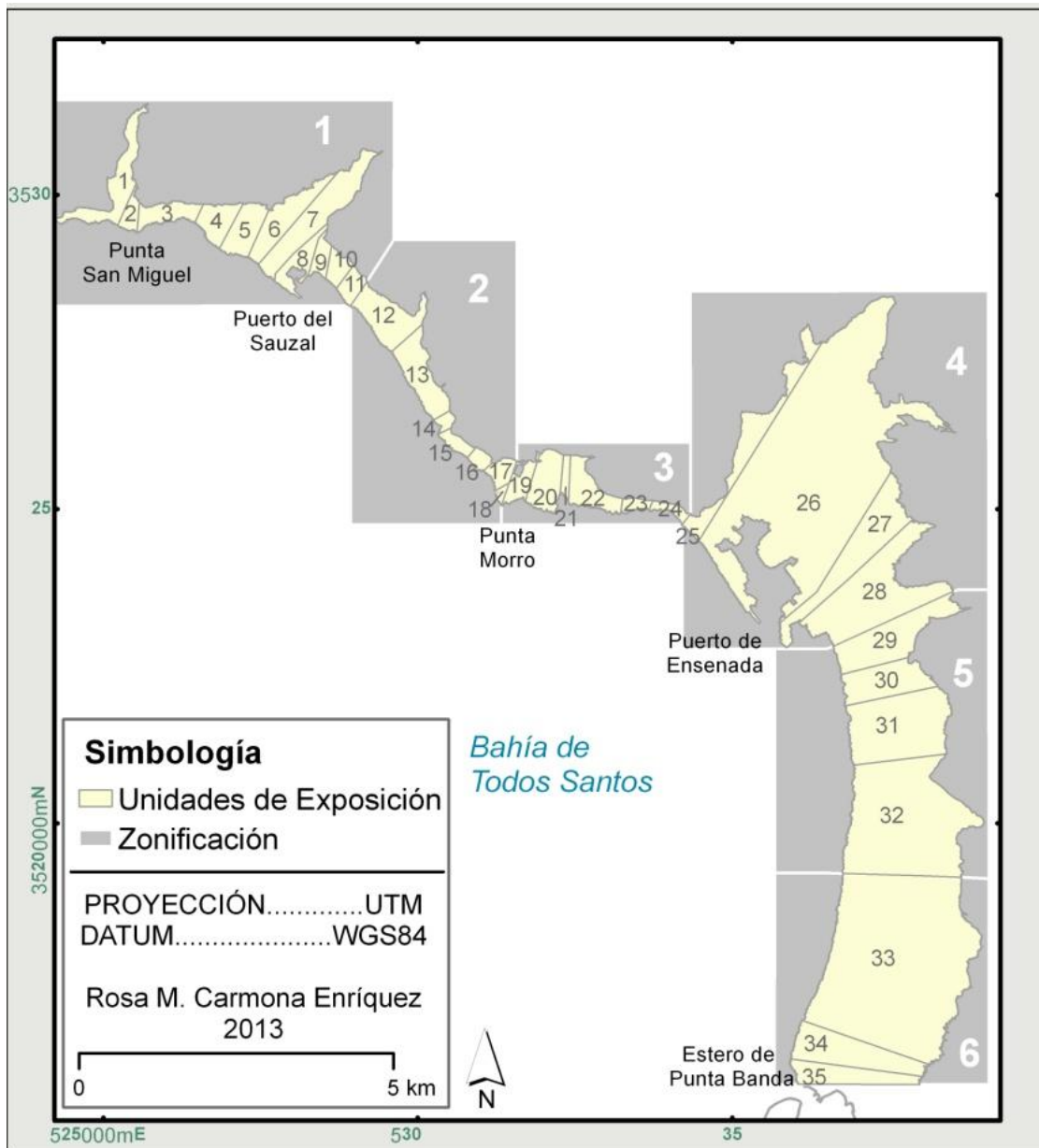


Figura 4. Zonificación y Unidades de exposición.

Tabla II. Descripción de zonas.

<i>ZONA</i>	<i>Unidades</i>	<i>Longitud de línea de costa</i>	<i>Límites</i>	<i>Descripción</i>	<i>Uso de suelo</i>
1	1 a la 11	7,495m	Punta San Miguel hasta el sur del Puerto del Sauzal	A excepción del área de la desembocadura del Arroyo San Miguel y del Puerto del Sauzal, la costa está compuesta por cantiles, en cuyas bases existen playas angostas de arena y de canto rodado con riesgo de erosión medio y alto.	El uso de suelo predominante es mixto (turístico-recreativo y comercial-residencial), con excepción del puerto del Sauzal y la zona aledaña hacia noroeste cuyo uso es industrial.
2	12 a la 18	4,638.4m	Desde el sur del Puerto del Sauzal hasta Punta Morro.	Continúan los cantiles con playas angostas rocosas y de canto rodado con riesgo de erosión medio, en esta zona existen algunos muros de protección contra el oleaje.	Principalmente el uso es mixto (comercial-residencial) aunque también existen dos pequeñas áreas de uso comercial.
3	19 a la 24	5,533.7m	Desde Punta Morro hasta la "Curva del mosquito", justo antes del Puerto de Ensenada.	Compuesta principalmente por playas rocosas con riesgo de erosión medio y alto, con excepción del área ocupada por la marina del Hotel Coral.	En la parte oeste de la zona se encuentran instalaciones educativas, adyacente a éstas se ubica una marina. El resto de la zona está ocupada por áreas residenciales y de uso comercial.
4	25 a la 28	17,438.7m	Toda el área del Puerto de Ensenada y una pequeña fracción de la Playa Municipal.	Ésta área se encuentra protegida por la infraestructura del puerto, a excepción de un pequeño fragmento de la playa municipal, la cual presenta erosión.	El Puerto de Ensenada ocupa la mayor parte de la zona, mientras que la pequeña fracción de la playa municipal está clasificada como de uso mixto (turístico-recreativo).
5	29 a la 32	3,825.5m	Desde Playa Hermosa hasta la Playa del Ciprés,	En esta zona existen playa arenosas bajo un intenso proceso erosivo, como protección solo existen algunos enrocamientos en la parte norte; hacia el sur se localiza un cordón de dunas.	Hay dos usos de suelo, al norte se clasifica como mixto (turístico-recreativo) y hacia el sur como recreativo.
6	33 a la 35	4,081.3m	Desde la Playa del Ciprés hasta la boca de Estero de Punta Banda.	Al igual que la zona 5, existen playas arenosas bajo un intenso proceso erosivo, en la parte norte no existen estructuras de protección, mientras que en el sur, se localiza el Hotel Estero Beach, mismo que tiene enrocamientos para protegerse de la erosión.	El área norte tiene un uso recreativo, mientras que al sur predominantemente es de uso comercial con pequeñas playas de uso mixto (turístico-recreativo).

5.3. Escenarios de amenaza

De acuerdo a las alturas del nivel del mar proyectadas a 2100, la marea máxima pronosticada para el periodo entre Diciembre de 2012 y Diciembre de 2100 (1.33m) y la RECM inherente al MDE (0.54m), los escenarios de amenaza evaluados se presentan en la Tabla III. Es importante destacar que el escenario E1A no se puede generar debido a las limitaciones del MDE, por lo tanto, no se presentan resultados con respecto a este escenario.

Tabla III. Altura del nivel del mar proyectada en cada uno de los escenarios de amenaza.

Escenario	E1	E1+i	E2	E2+i
A	0.1m	0.6m	1.4m	1.9m
B	0.4m	0.9m	1.7m	2.2m
C	0.7m	1.2m	2m	2.5m

(i = incertidumbre)

En la Tabla IV se muestra la magnitud de las áreas inundables para cada uno de los escenarios de amenaza. Destaca que en el grupo de escenarios E1, la diferencia entre la proyección B y C es cerca de 900,000m² (90ha) mientras que para el resto de los escenarios, ésta diferencia no rebasa los 650,000m² (65ha).

Para comprender cómo se traduce la RECM en la magnitud de las áreas inundables se presenta en la Tabla V la contribución promedio de la incertidumbre en cada unidad, además la contribución máxima y la unidad en la cual se presentó. Destaca el escenario E1B cuya incertidumbre promedio asciende arriba de 800%, le sigue el escenario E1C con 33% y el resto no rebasó el 17%. Las unidades donde se observó la máxima incertidumbre fueron la 2 y la 35 para los escenarios E2 y E1 respectivamente. La unidad 2 se ubica exactamente en la desembocadura del Arroyo San Miguel y la unidad 35 se ubica en el extremo sur, en el área de Estero Beach (Figura 4).

Tabla IV. Áreas inundables en cada escenario de amenaza y sus áreas de incertidumbre (m²).

Escenario	E1	E1+i	E2	E2+i
A	NA	1,028,515.72	1,596,465.79	1,937,649.26
B	188,258.71	1,293,614.96	1,771,323.16	2,083,335.78
C	1,102,096.80	1,481,317.73	1,959,750.71	2,297,652.08

(NA=No Aplica)

Tabla V. Porcentaje de contribución de la incertidumbre a las áreas inundables, se indica el máximo porcentaje alcanzado en cada escenario y la unidad en la que se presentó, así como el promedio del porcentaje de contribución en toda el área de estudio.

Escenario	Máximo	Unidad	Promedio
E2A	49%	2	16.40%
E1B	1368.4%	35	835.40%
E2B	84%	2	13.18%
E1C	36.2%	35	33.75%
E2C	71.4%	2	12.31%

5.3.1. Descripción por zonas

En general se observó el mismo comportamiento en cuanto a las zonas que presentaron las mayores áreas inundables (Figura 5), sin embargo a simple vista destaca que la zona 4, correspondiente al Puerto de Ensenada presentó áreas inundables mayores en ambos grupos de escenarios (E1 y E2), le sigue la zona 1 y posteriormente la diferencia entre unidades no es tan evidente y varía entre un grupo de escenarios al otro. En esta misma figura se aprecia gráficamente la proporción de la contribución del área de incertidumbre en cada zona; como se afirmó en la Tabla V, el escenario E1 posee una incertidumbre que inclusive rebasa el área inundable modelada. Esta proporción se acentúa en las zonas 5 y 6; por el contrario, se observó que en los escenarios E2, el área de incertidumbre es mínima para la zona 2.

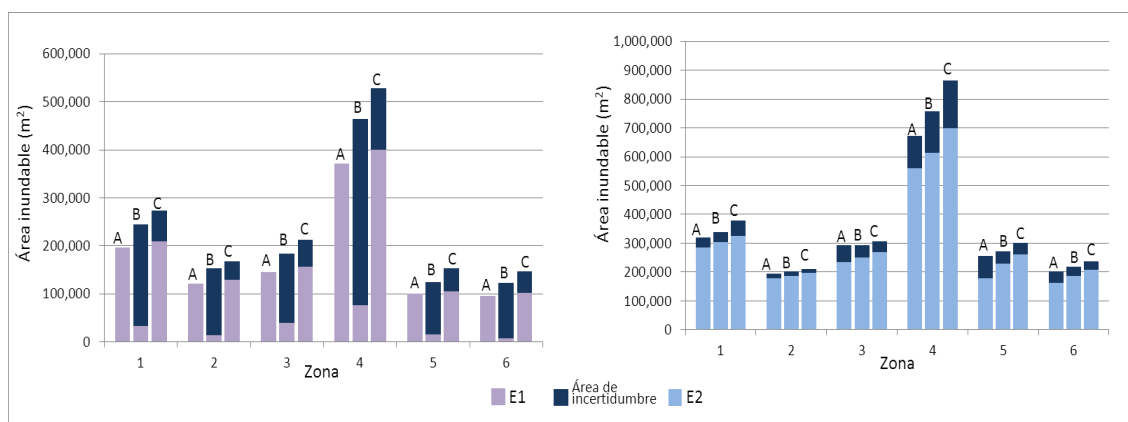


Figura 5. Áreas inundables proyectadas por los grupos de escenarios E1 y E2, y su respectiva área de incertidumbre.

ZONA 1

Después de la zona 4, ésta es la que mayor área de inundación registró. Las unidades de la Caseta San Miguel (1) y Playas San Miguel (3) correspondientes a las áreas aledañas a la desembocadura del Arroyo San Miguel y la unidad del Puerto del Sauzal presentaron mayor inundación que el resto (Figura 6). En el primer caso, las unidades 1 y 3 registraron un promedio de $32,138.6\text{m}^2$ de área inundable en los escenarios E1 y $52,840.7\text{m}^2$ en los escenarios E2 (Figura 7). La unidad del Puerto del Sauzal registró un promedio de $32,924.5\text{m}^2$ de área inundable en los escenarios E1 y $65,960\text{m}^2$ en los escenarios E2.

ZONA 2

Las principales áreas inundables se presentaron al centro de ésta zona, donde la unidad de la Estación PEMEX (13) registró en promedio $37,034.3\text{m}^2$ en los escenarios E1 (Figura 8), mientras que en los escenarios E2 registró $63,081.5\text{m}^2$ (Figura 9); y en el caso de la unidad 12 registró $29,520.5\text{m}^2$ en los escenarios E1 y $49,321.1\text{m}^2$ en los escenarios E2.

ZONA 3

Las áreas inundables más grandes en esta zona se ubican en la unidad de la Marina Coral (20), cuyas áreas promedian $62,060.8\text{m}^2$ en los escenarios E1 (Figura 10), y $137,806.3\text{m}^2$ en los escenarios E2 (Figura 11). Le siguen el resto de las unidades que no rebasan los $28,000\text{m}^2$ en los escenarios E1 y los $45,000\text{m}^2$ en los escenarios E2.

ZONA 4

Ésta es la zona que presenta las mayores áreas inundables, además existe una marcada diferencia entre las unidades del Puerto de Ensenada (26) y del Espigón (27) comparadas con el resto dentro de esta zona. En los escenarios E1 (Figura 12), las unidades 26 y 27 registraron un promedio de $315,553.9\text{m}^2$ de área inundable, y en los escenarios E2 (Figura 13) registraron $611,005.8\text{m}^2$; mientras que el resto de las unidades no rebasaron en ningún caso los $82,000\text{m}^2$.

ZONA 5

En ambos escenarios, la unidad de la Lagunita (32) presentó las mayores áreas inundables; los escenarios E1 (Figura 14) presentaron un promedio de $52,706.5\text{m}^2$ y los escenarios E2 (Figura 15) un promedio de $138,919.7\text{m}^2$. La unidad de la Lagunita se ubica al sur de la zona 5 y en ella se presentan algunas dunas, detrás de las mismas se ubica el cuerpo de agua conocido como “La Lagunita”.

ZONA 6

En esta zona la unidad El Ciprés (33) registró mayor área inundable, en los escenarios E1 (Figura 16) promediaron $67,195.9\text{m}^2$ mientras que los escenarios E2 (Figura 17) 144.410m^2 . El resto de las unidades no superaron los $36,000\text{m}^2$. A lo anterior se debe agregar que la longitud de la línea de costa en las unidades de ésta zona es significativamente desproporcional, pues la unidad 33 posee una longitud de 2.8km, la unidad 34 de 600m y la unidad 35 de 420m. En este sentido, la unidad 34 es la que registra un área inundable más grande en relación a la longitud de la costa que cubre, dicha área es de $117,110.2\text{m}^2$ en promedio para los escenarios E1 y $35,692.3\text{m}^2$ en promedio para los escenarios E2.

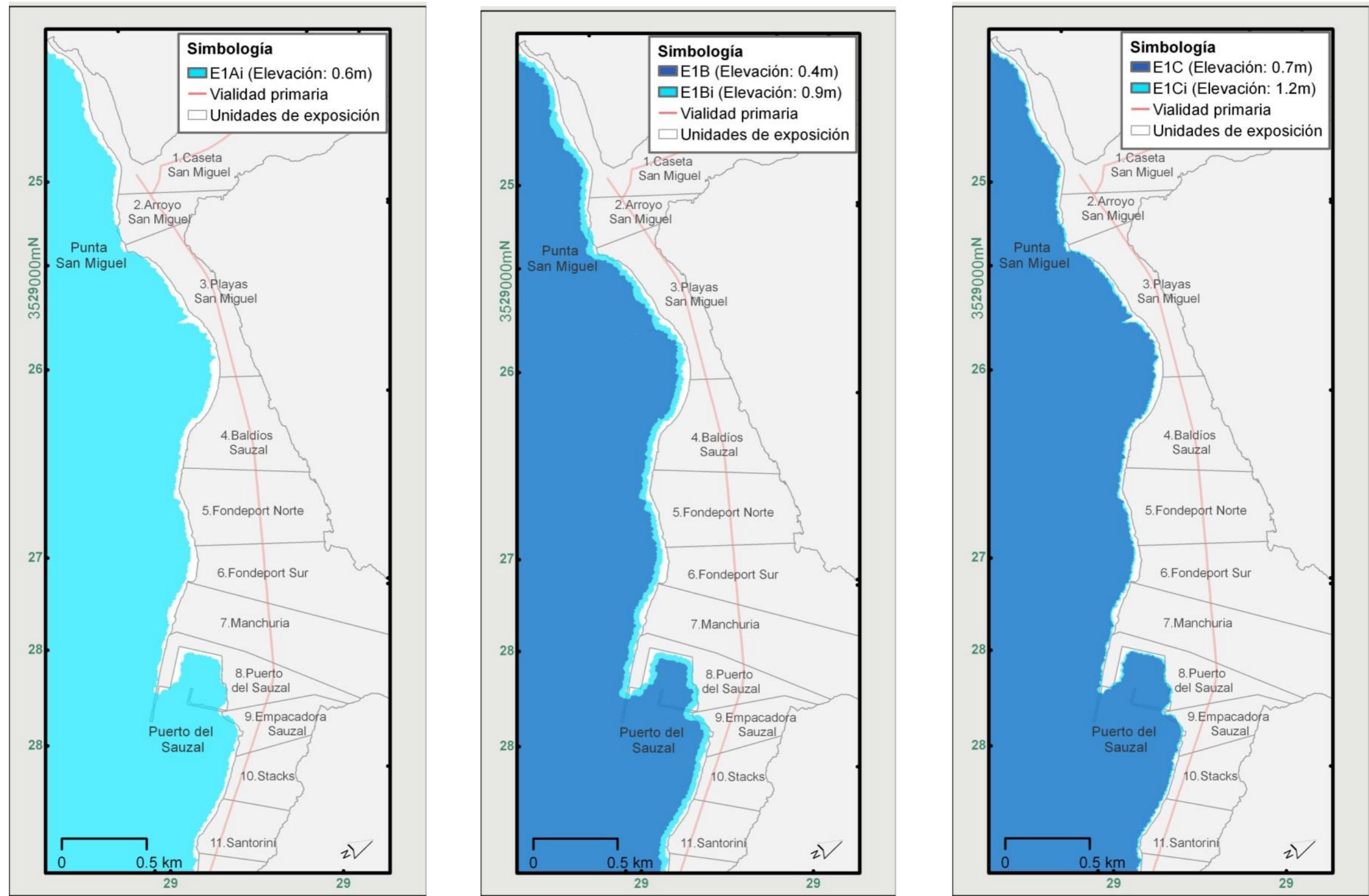


Figura 6. Mapas de amenaza de la Zona 1, en los escenarios E1. De izquierda a derecha: proyecciones A, B y C.

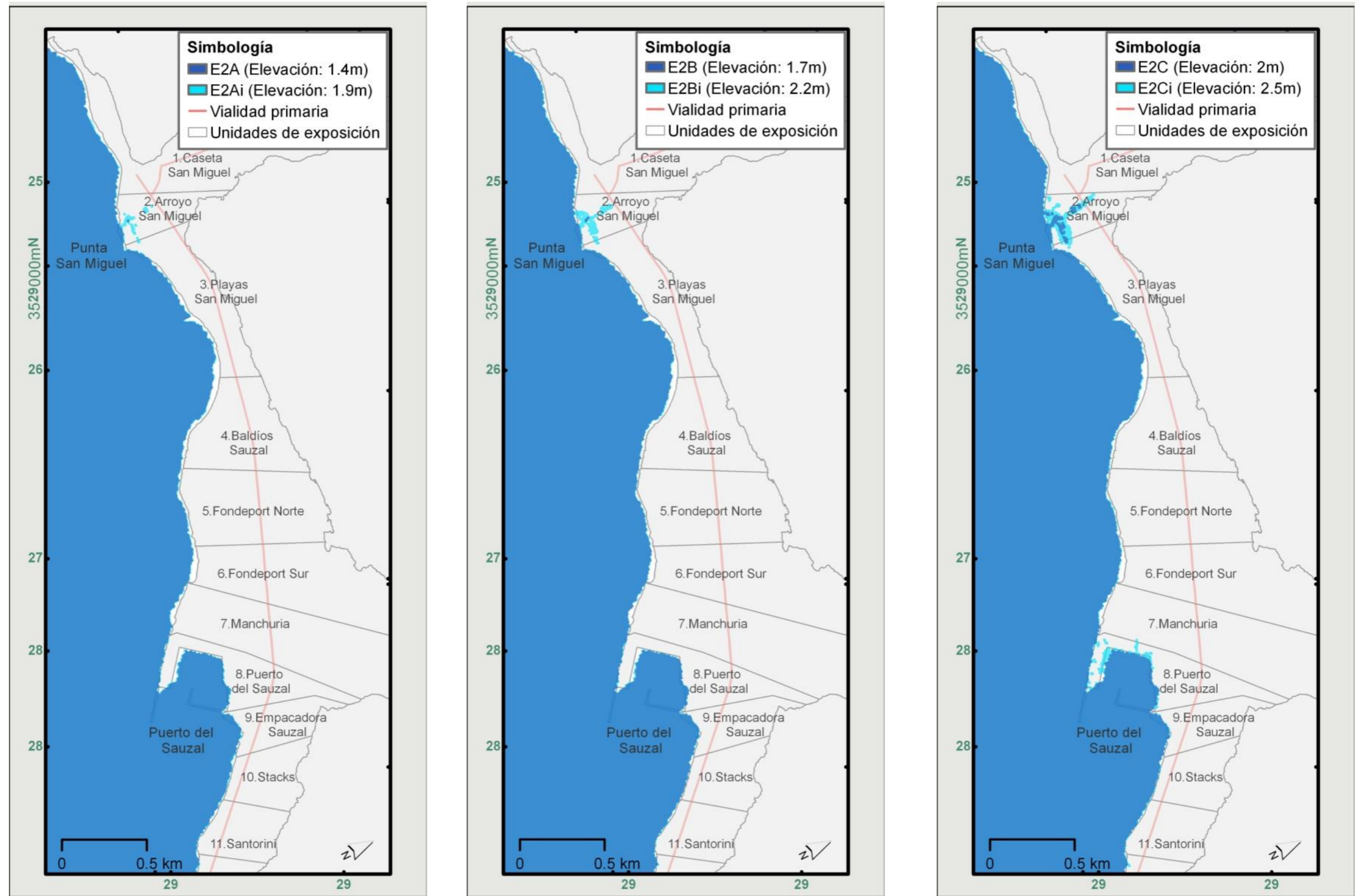


Figura 7. Mapas de amenaza de la Zona 1, en los escenarios E2. De izquierda a derecha: proyecciones A, B y C.

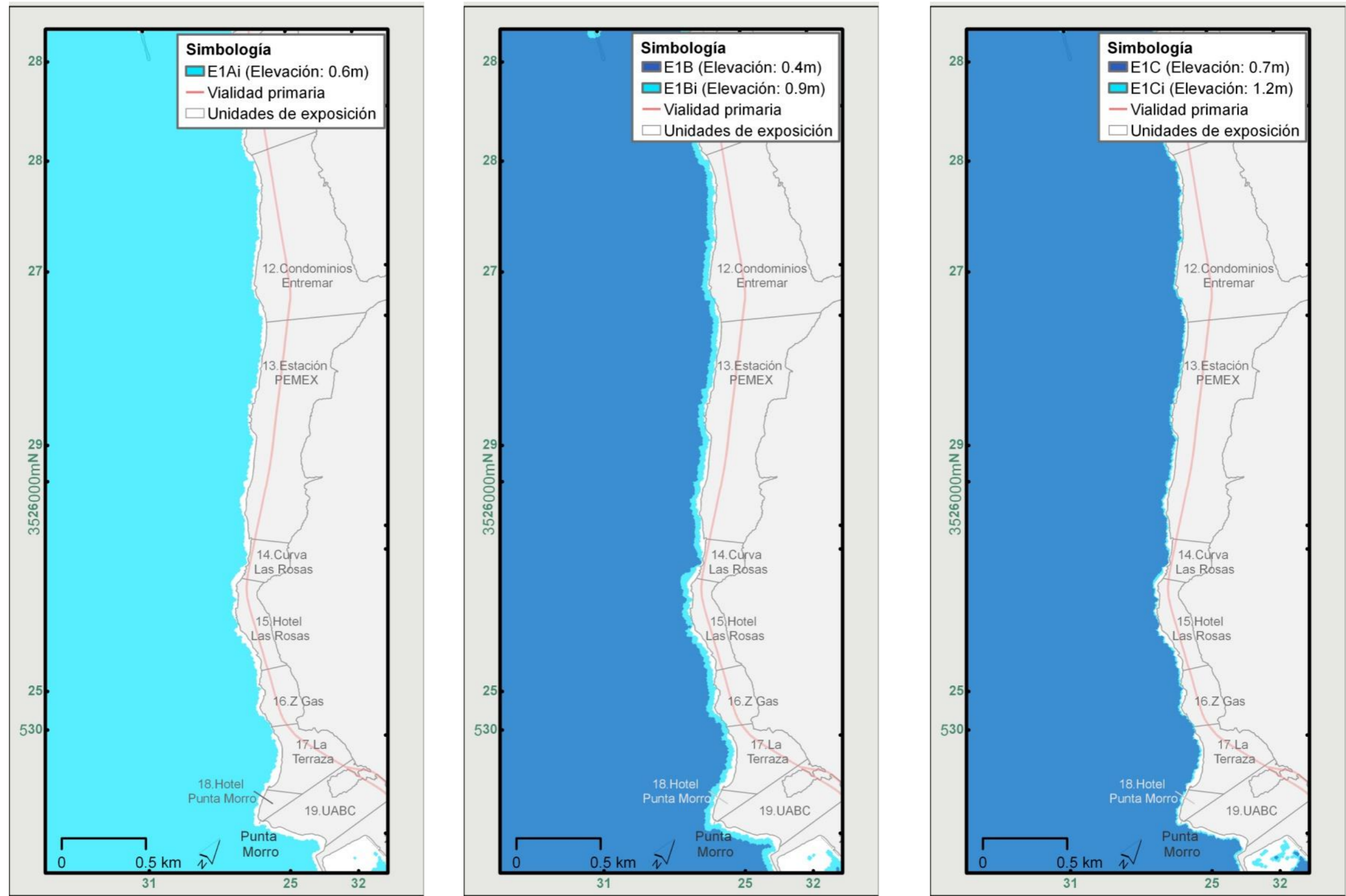


Figura 8. Mapas de amenaza de la Zona 2, en los escenarios E1. De izquierda a derecha: proyecciones A, B y C.



Figura 9. Mapas de amenaza de la Zona 2, en los escenarios E2. De izquierda a derecha: proyecciones A, B y C.

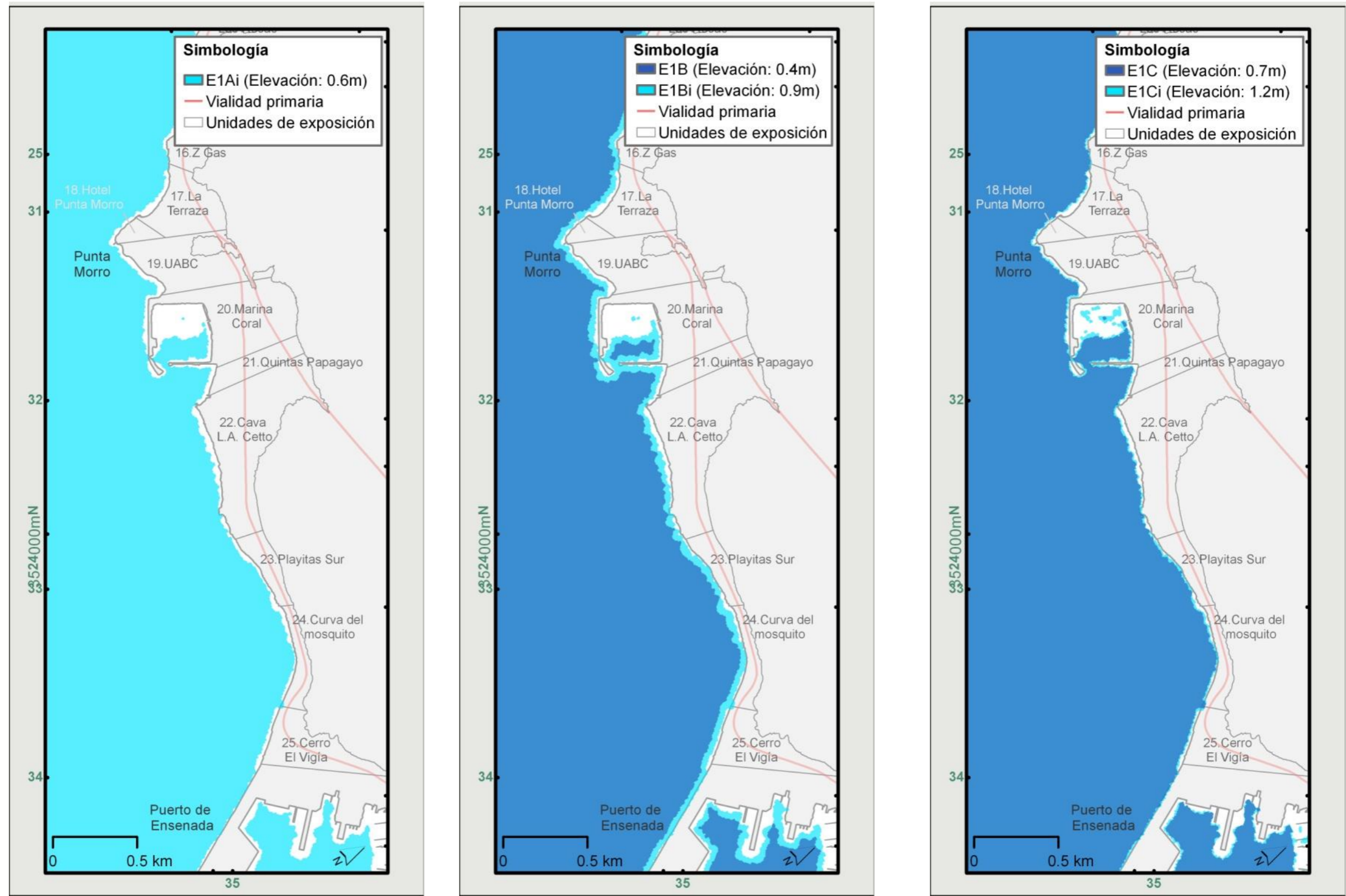


Figura 10. Mapas de amenaza de la Zona 3, en los escenarios E1. De izquierda a derecha: proyecciones A, B y C.

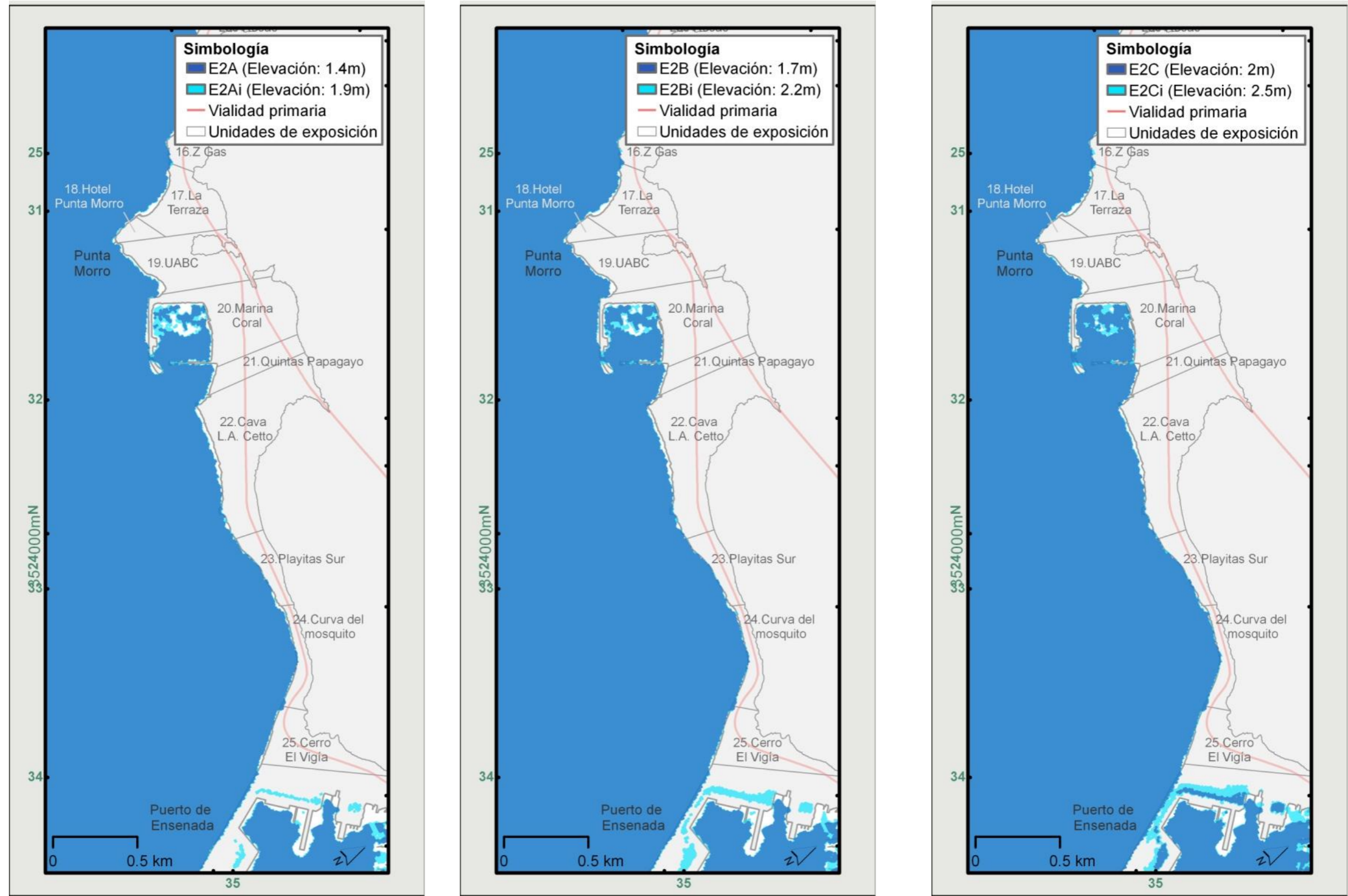


Figura 11. Mapas de amenaza de la Zona 3, en los escenarios E2. De izquierda a derecha: proyecciones A, B y C.

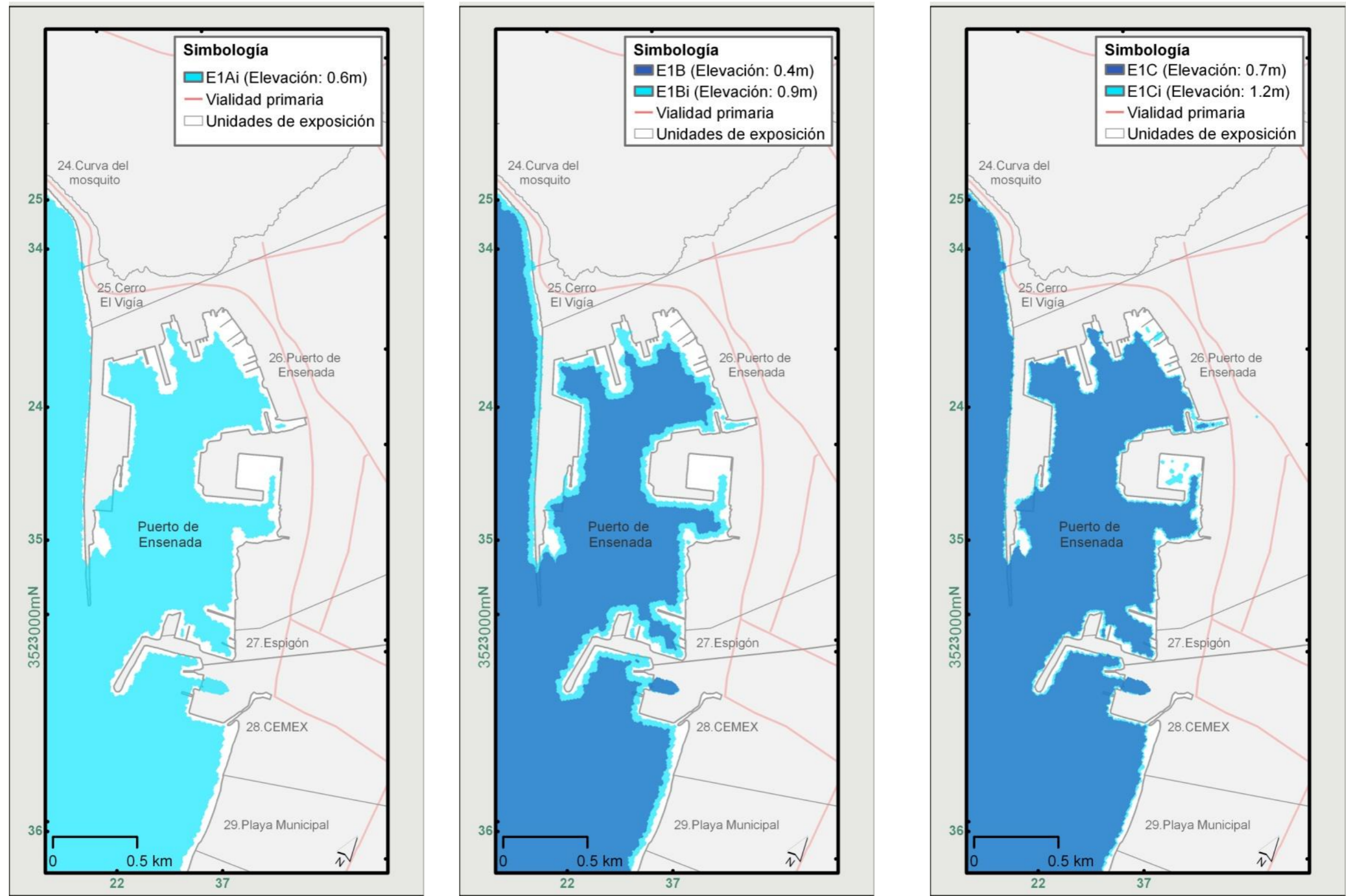


Figura 12. Mapas de amenaza de la Zona 4, en los escenarios E1. De izquierda a derecha: proyecciones A, B y C.

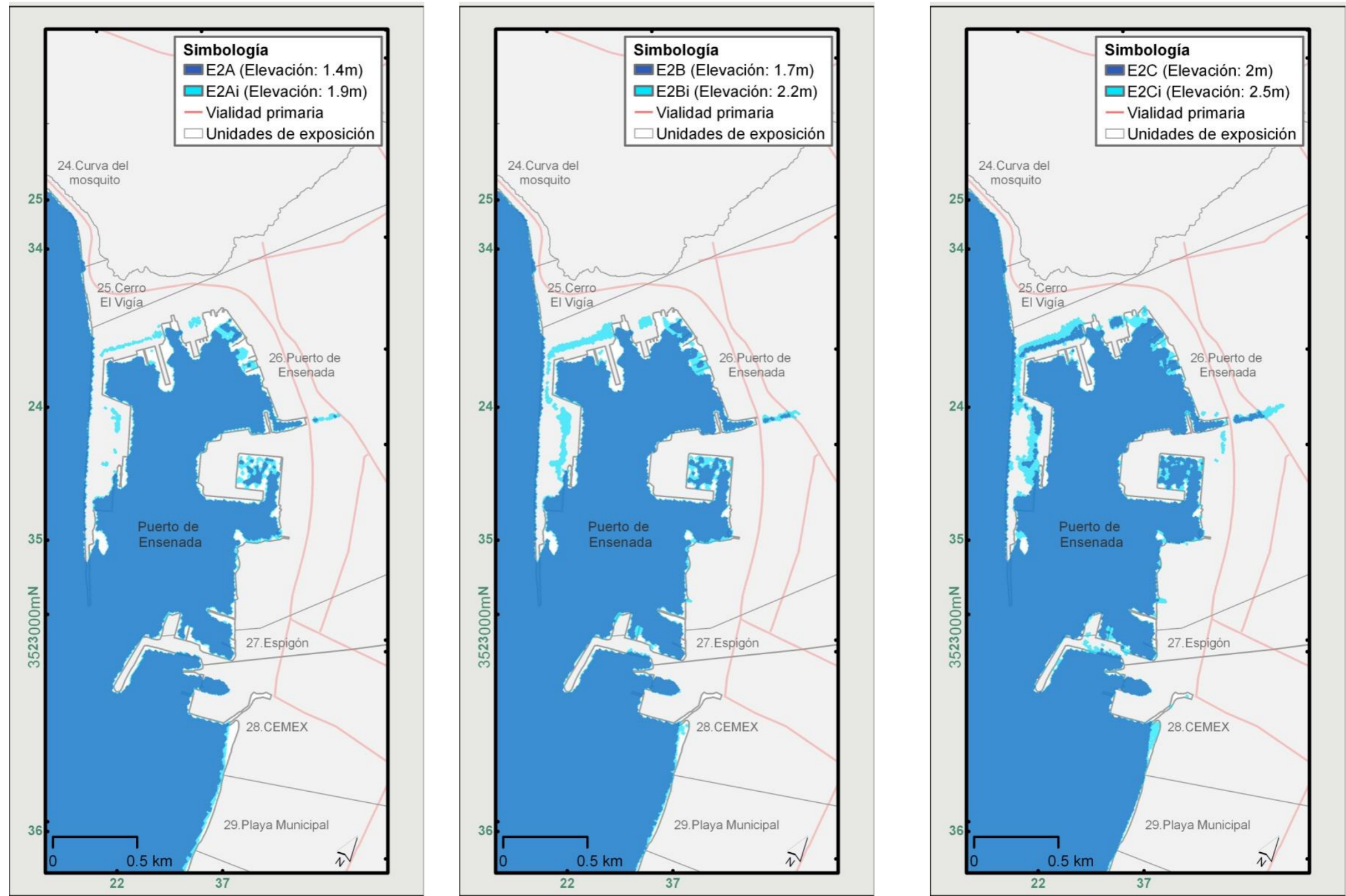


Figura 13. Mapas de amenaza de la Zona 4, en los escenarios E2. De izquierda a derecha: proyecciones A, B y C

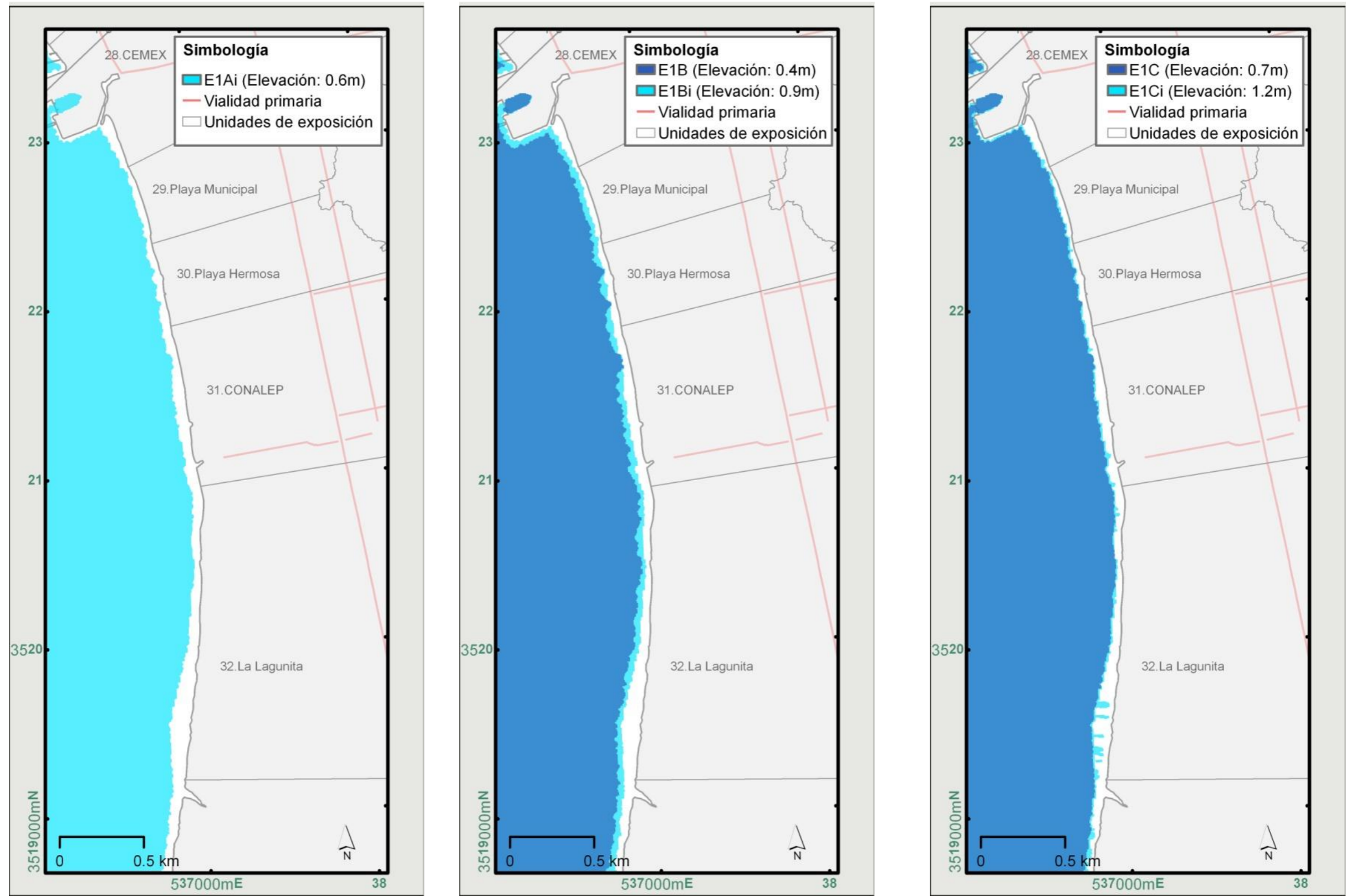


Figura 14. Mapas de amenaza de la Zona 5, en los escenarios E1. De izquierda a derecha: proyecciones A, B y C.



Figura 15. Mapas de amenaza de la Zona 5, en los escenarios E2. De izquierda a derecha: proyecciones A, B y C.

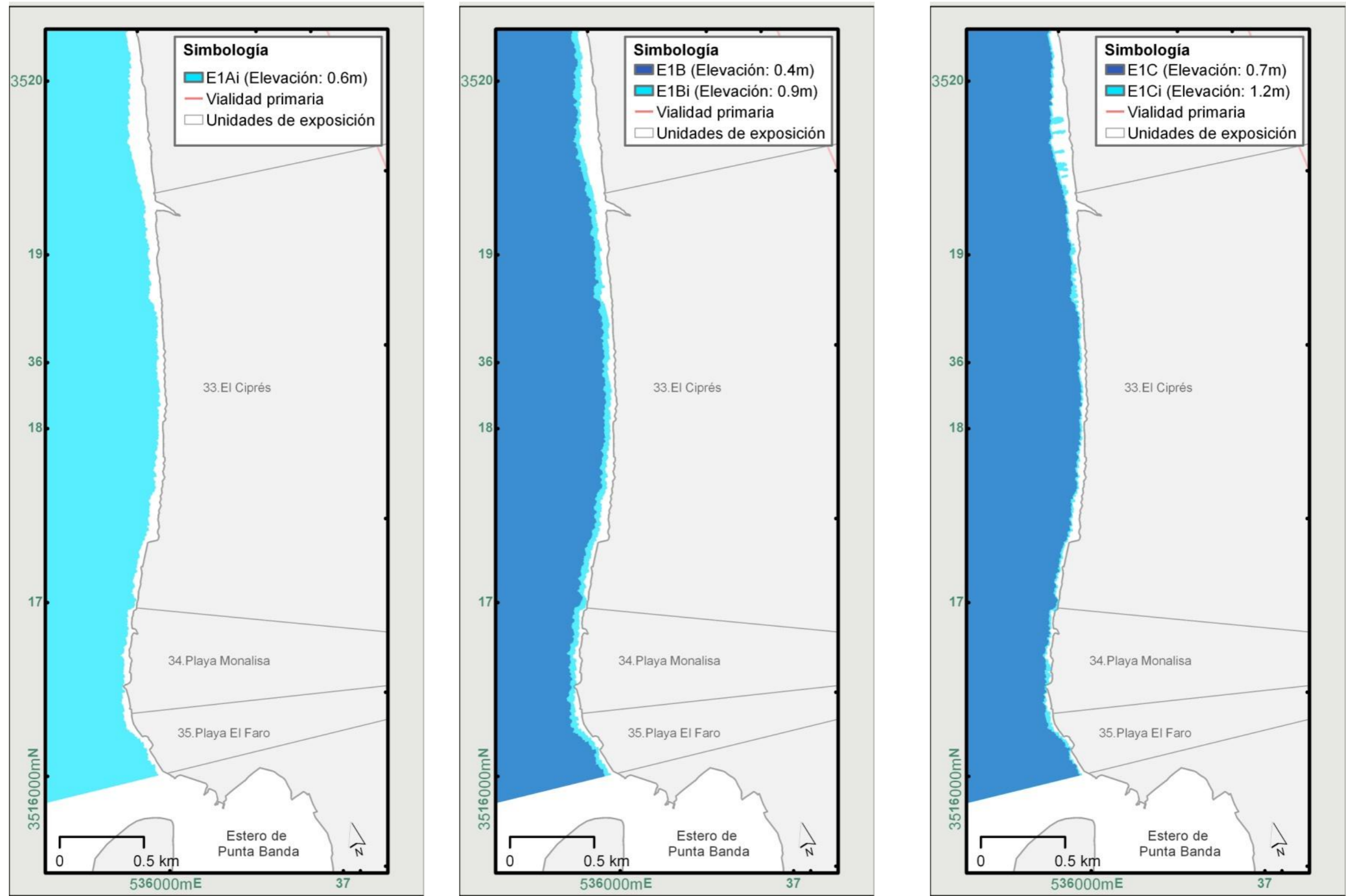


Figura 16. Mapas de amenaza de la Zona 6, en los escenarios E1. De izquierda a derecha: proyecciones A, B y C.

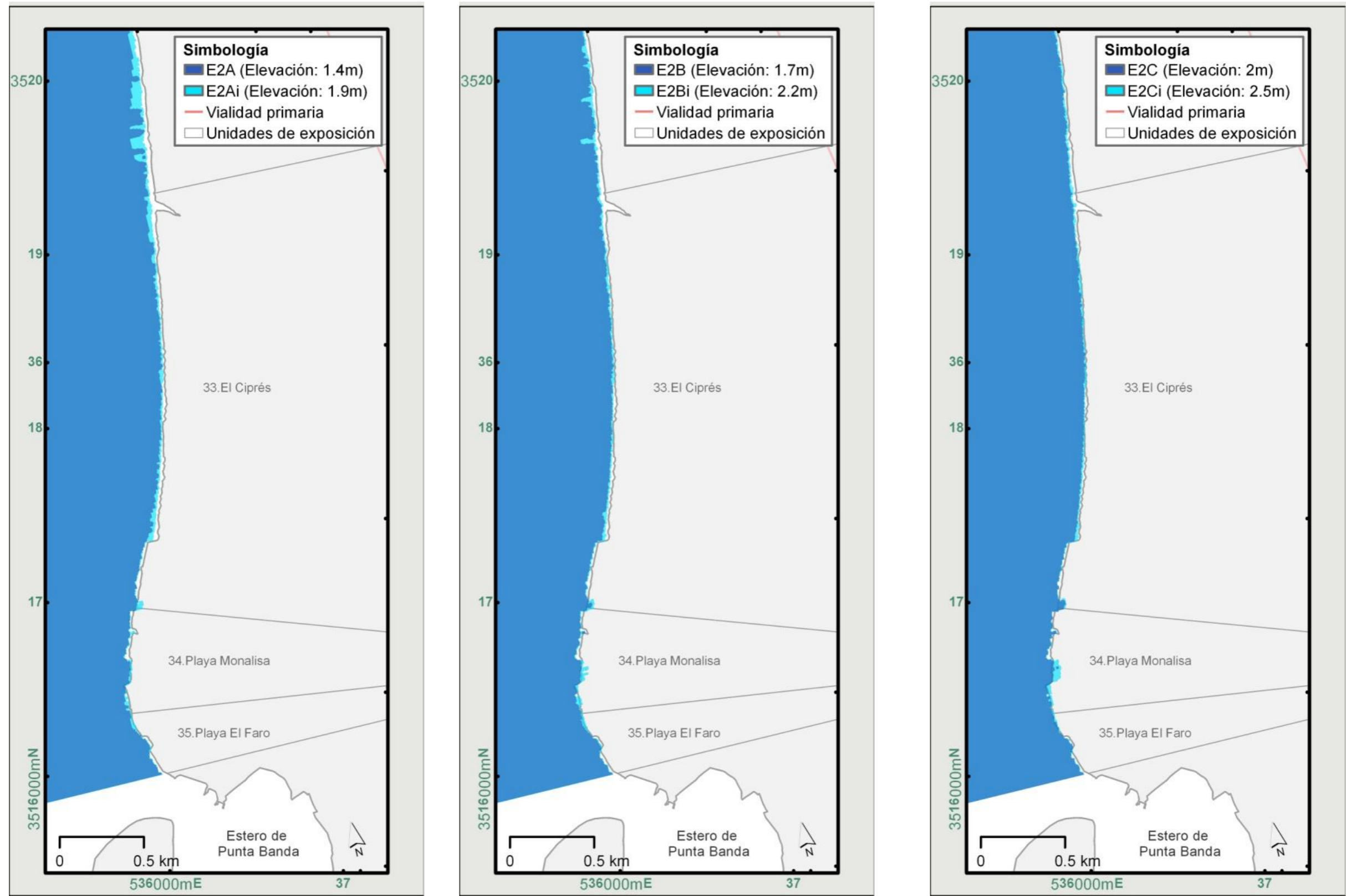


Figura 17. Mapas de amenaza de la Zona 6, en los escenarios E2. De izquierda a derecha: proyecciones A, B y C.

5.4. Vulnerabilidad

5.4.1. Vulnerabilidad física

La clasificación y la ponderación de uso de suelo de acuerdo a su importancia socioeconómica para la ciudad de Ensenada se muestra en la Tabla VI. La encuesta de ponderación arrojó que se considera más importante a los servicios públicos y autoridades, seguido por las actividades industriales y comerciales, las áreas residenciales y el uso mixto (con la misma importancia), la infraestructura técnica y de transporte, el uso agrícola, el uso recreacional y por último las zonas en desuso. Se observa en la tabla, que el grupo de expertos en zona costera ponderaron además, las subclases de uso de suelo dentro de las clases.

Tabla VI. Clasificación de uso de suelo y su ponderación.

	Ponderadores
A1. Áreas residenciales	1.81
A11. Densidad alta	2
A12. Densidad moderada	1
A13. Densidad baja	0
A2. Servicios públicos y autoridades	2
A3. Actividades industriales y comerciales	1.88
A31. Industria	0
A32. Actividades y servicios comerciales y financieros	1
A4. Infraestructura técnica y de transporte	1.75
A41. Redes técnicas y estructuras de protección	2
A42. Transporte por carretera	1
A43. Transporte marítimo y riverino	0
A5. Recreacional	1.47
A51. Áreas de esparcimiento y/o deportivas	1
A52. Áreas verdes y de conservación	0
A6. Mixto	1.81
A61. Turístico-Recreativo	0
A62. Comercial-Residencial	1
A7. Agrícola	1.53
A8. Baldío, sin uso	1

En la Figura 18 se observa a lo largo de la línea de costa diversidad en cuanto a los usos de suelo y por lo tanto de zonas con distintas ponderaciones. Existen zonas con uso recreacional (con ponderación baja) como las playas en la zona sur de la ciudad, zonas prestadoras de servicios públicos (con ponderación máxima) como en Punta Morro, donde se ubica la Universidad Autónoma de Baja California, zonas con ponderación media como las zonas con uso mixto en algunas playas del Sauzal y la playa municipal; y zonas ocupadas por infraestructura como los puertos, así como zonas comerciales a lo largo de la franja costera.

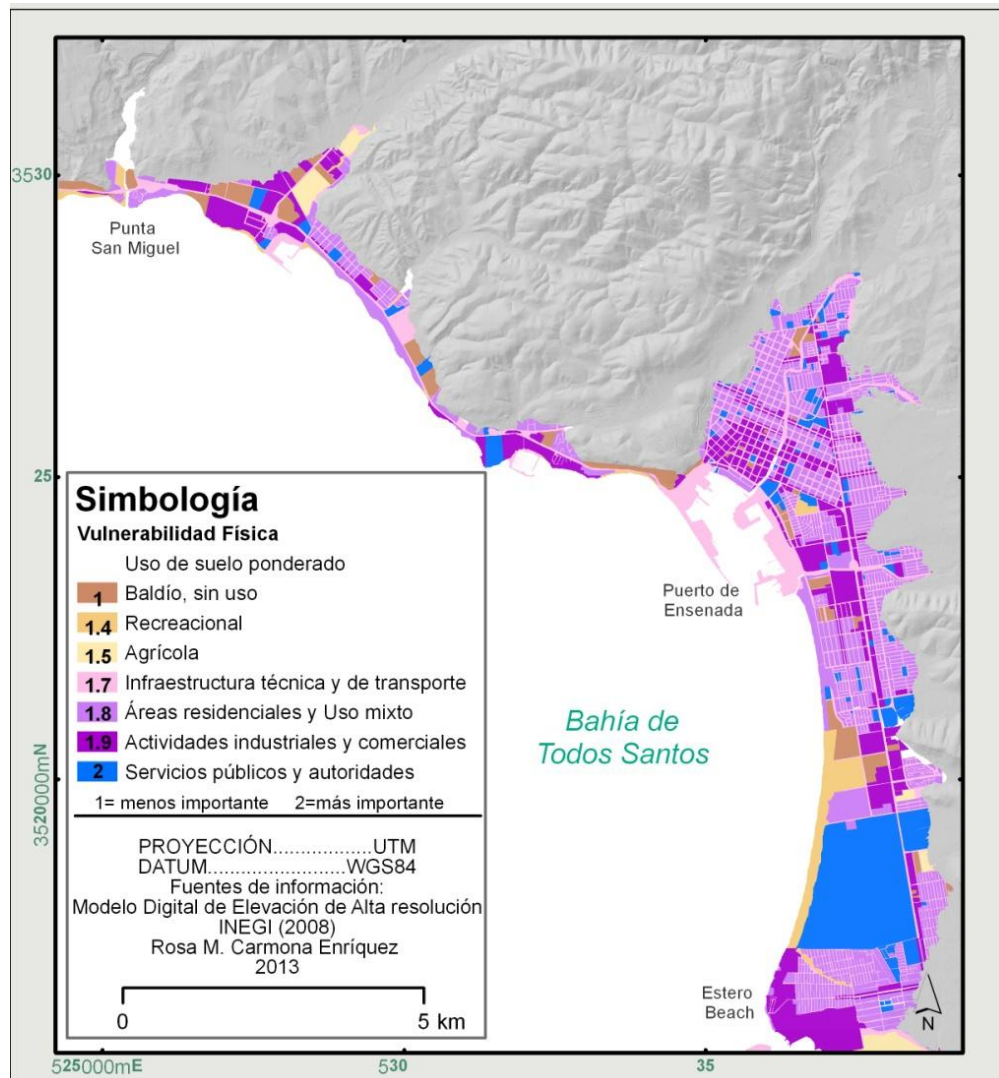


Figura 18. Vulnerabilidad física del área de estudio determinada a partir de la ponderación de uso de suelo.

5.4.2. Exposición

Los valores asignados a cada criterio se muestran en la Tabla VII, el valor 2 representa la exposición máxima, mientras que 1 representa la exposición mínima.

Tabla VII. Valores asignados a los criterios de erosión y estructuras de protección costera que componen la exposición.

Proceso erosivo	Valor	Estructuras de protección	Valor
Muy alto	2	Presencia	2
Alto	1.75	Ausencia	1
Medio	1.5		
Bajo	1.25		
Nulo	1		

5.4.3. Descripción por zonas

ZONA 1

Vulnerabilidad física

Los usos de suelo más importantes con frente de mar en esta zona son el industrial y comercial, seguido por el uso mixto (comercial-residencial) y el de infraestructura técnica y de transporte ya que aquí se ubica el Puerto del Sauzal (Figura 19). Las áreas con uso industrial están ocupadas por las actividades relacionadas con el Puerto del Sauzal; sobre los cantiles se ubican las áreas de uso mixto, caracterizadas por pequeños fraccionamientos y algunos restaurantes, mientras que en las partes bajas, las angostas playas se utilizan para uso recreativo, por lo cual poseen una ponderación más baja.

Exposición

Las playas ubicadas en las bases de los cantiles son las áreas que presentan la mayor exposición (alcanzando valores alrededor de 1.9), ya que tienen alturas y pendientes pequeñas, a la vez que están bajo procesos erosivos (Figura 20). Contrario a esta situación, el Puerto del Sauzal presenta exposición baja (con valores alrededor de 1.2) debido a que se encuentra protegido por las estructuras propias del puerto.

Vulnerabilidad

Las zonas más vulnerables son las áreas bajas aledañas a la desembocadura del Arroyo San Miguel utilizadas para el uso mixto (Figura 21), a la vez que una pequeña área expuesta al norte del Puerto del Sauzal, utilizada para el uso comercial, cuya playa en la base del cantil es casi nula.

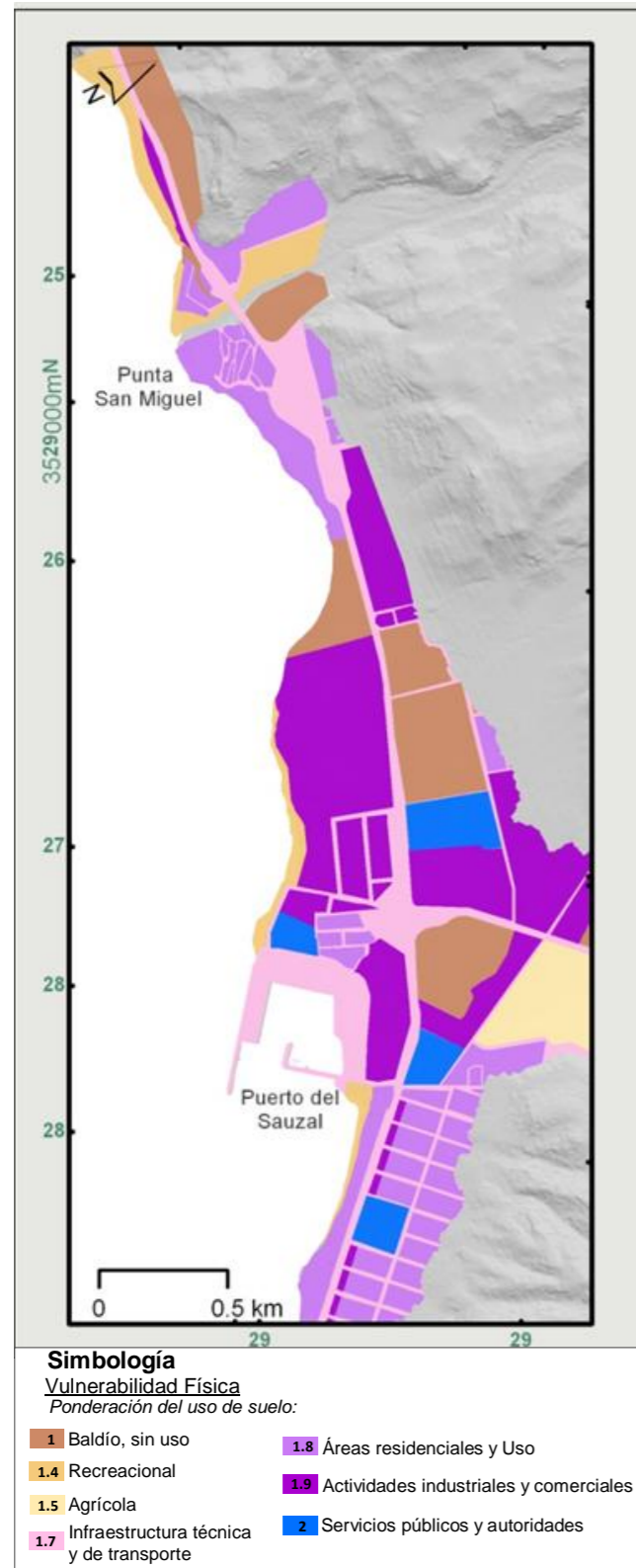


Figura 19. Vulnerabilidad física en la Zona 1.

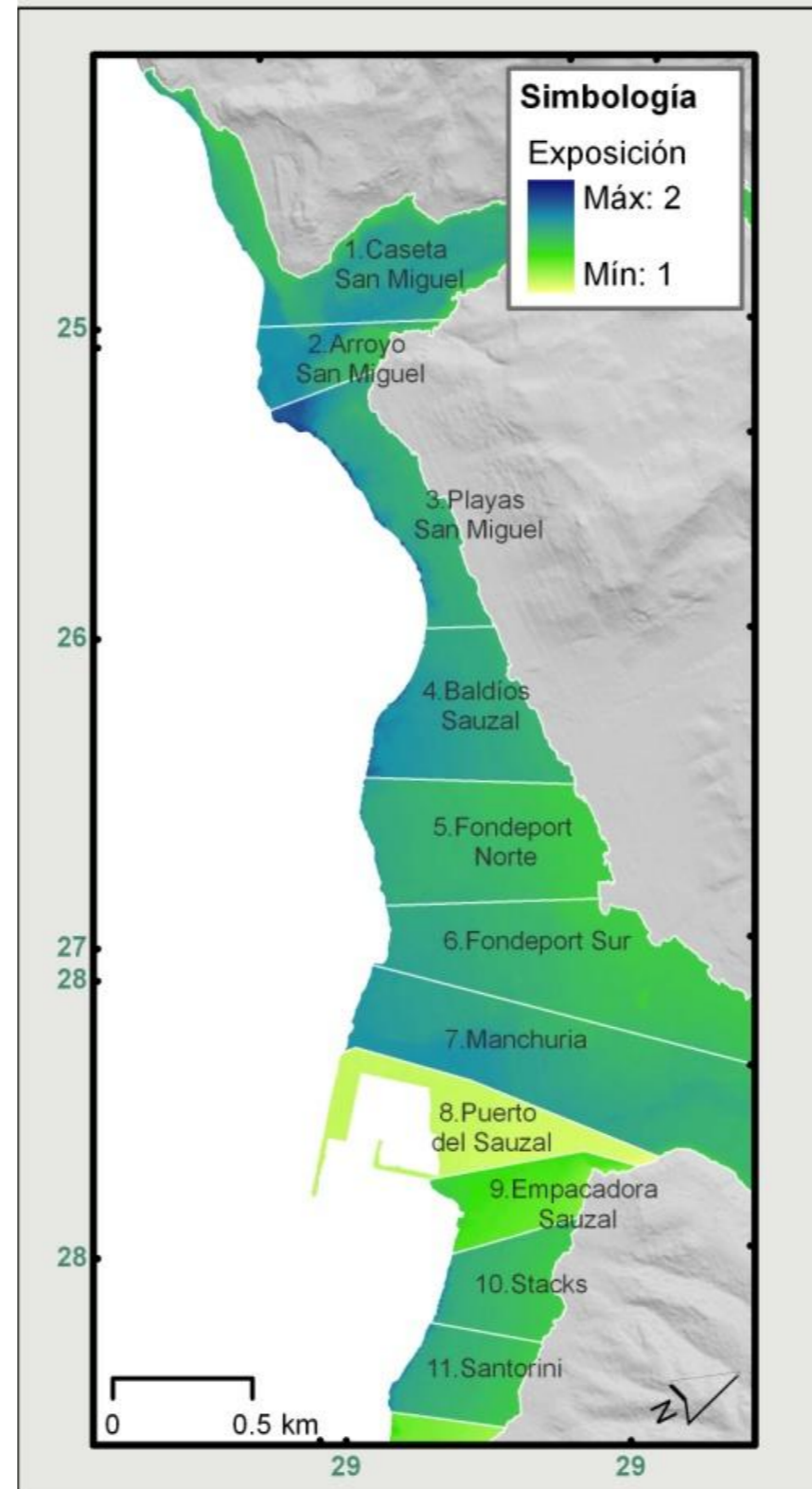


Figura 20. Exposición en la Zona 1.

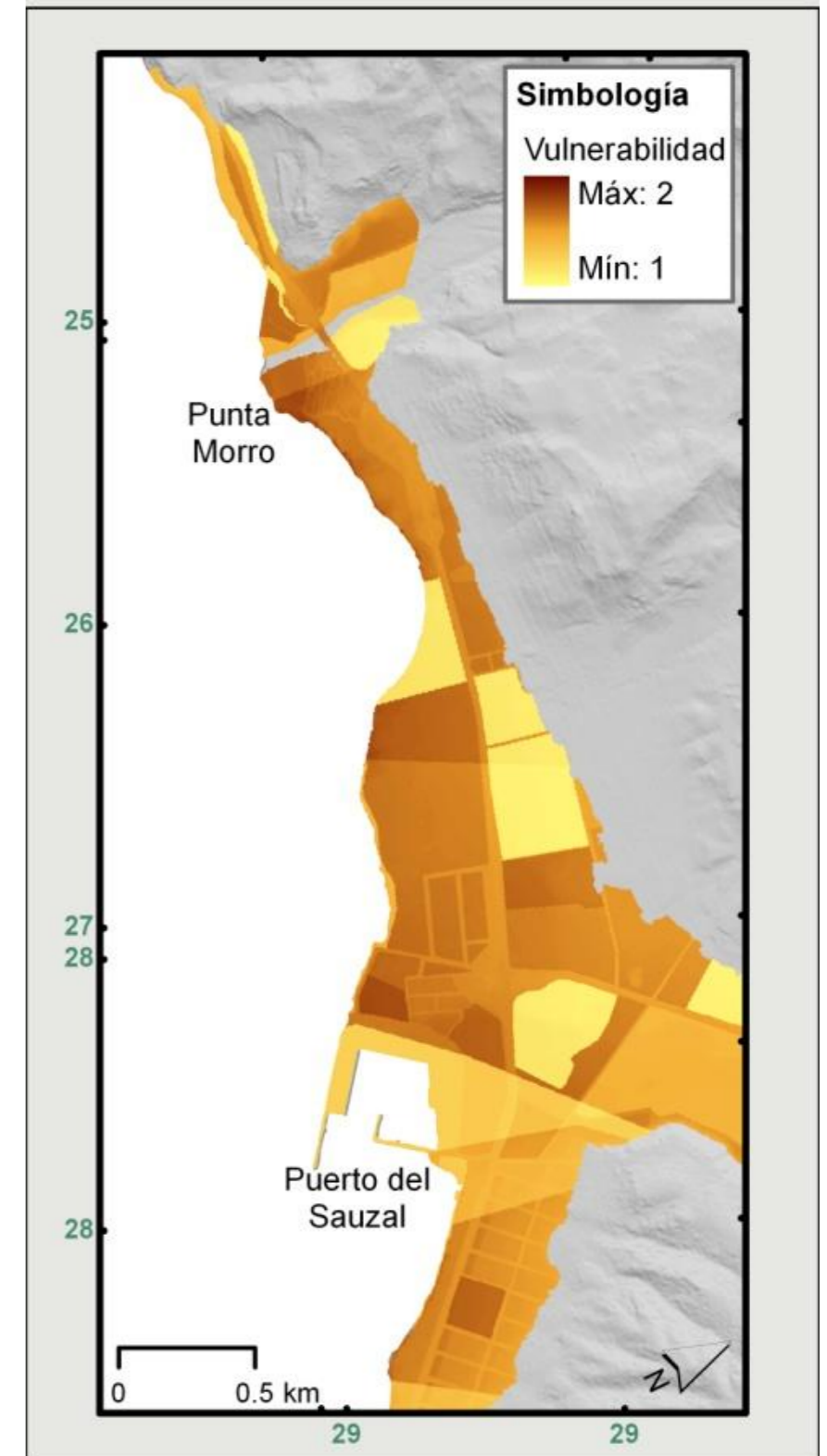


Figura 21. Vulnerabilidad en la Zona 1

ZONA 2

Vulnerabilidad física

La línea de costa de esta zona está ocupada en primer lugar en cuanto a superficie por el uso mixto (comercial-residencial) y ocupa la zona norte y media, así como una pequeña porción aledaña a Punta Morro (Figura 22), el resto se clasifica con uso comercial. Además de las áreas residenciales, la zona se ocupa para actividades comerciales del sector turístico (hoteles y restaurantes).

Exposición

Se repite la situación de la zona 1, las playas en las bases de los cantiles marcan una mayor exposición, pero sus valores oscilan entre 1.4 y 1.8 dependiendo de la unidad (Figura 23). Toda la zona presenta un proceso erosivo, a excepción de la unidad de Condominios Entremar (12), al norte, que registra un alto proceso erosivo, sin embargo, las unidades de la Estación PEMEX (13), Curva de las Rosas (14) y La Terraza (17) tienen una exposición mayor debido a que no se encontraron estructuras de protección.

Vulnerabilidad

Las áreas más vulnerables coinciden con aquellas con uso mixto, ya que precisamente en estos sitios no se encontraron estructuras de protección (Figura 24); comparado con las áreas de uso comercial (de mayor importancia de acuerdo a la ponderación del uso de suelo) las cuales sí poseen muros como medidas de protección contra el oleaje y la erosión.



Figura 22. Vulnerabilidad física en la Zona 2.

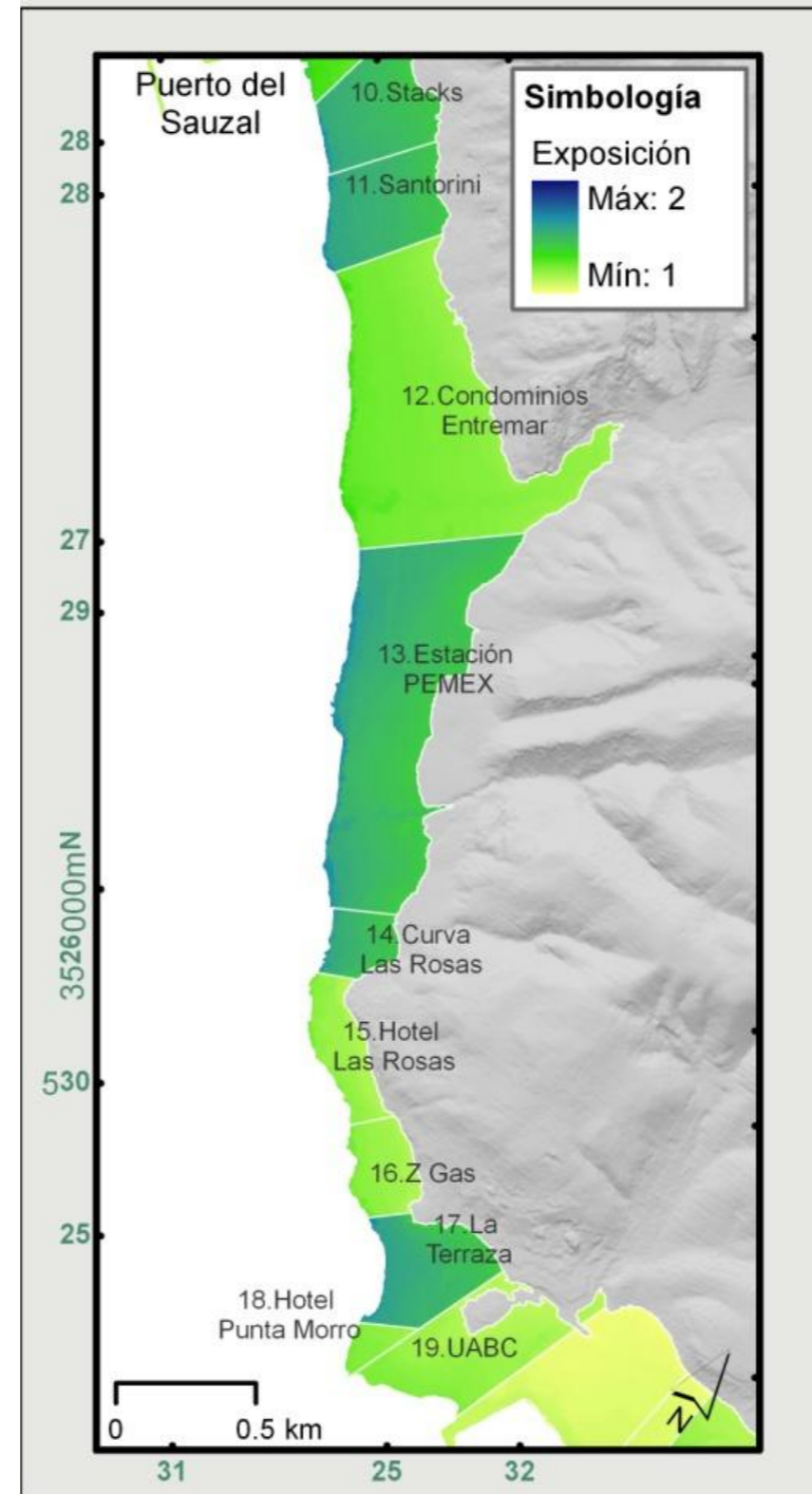


Figura 23. Exposición en la Zona 2.

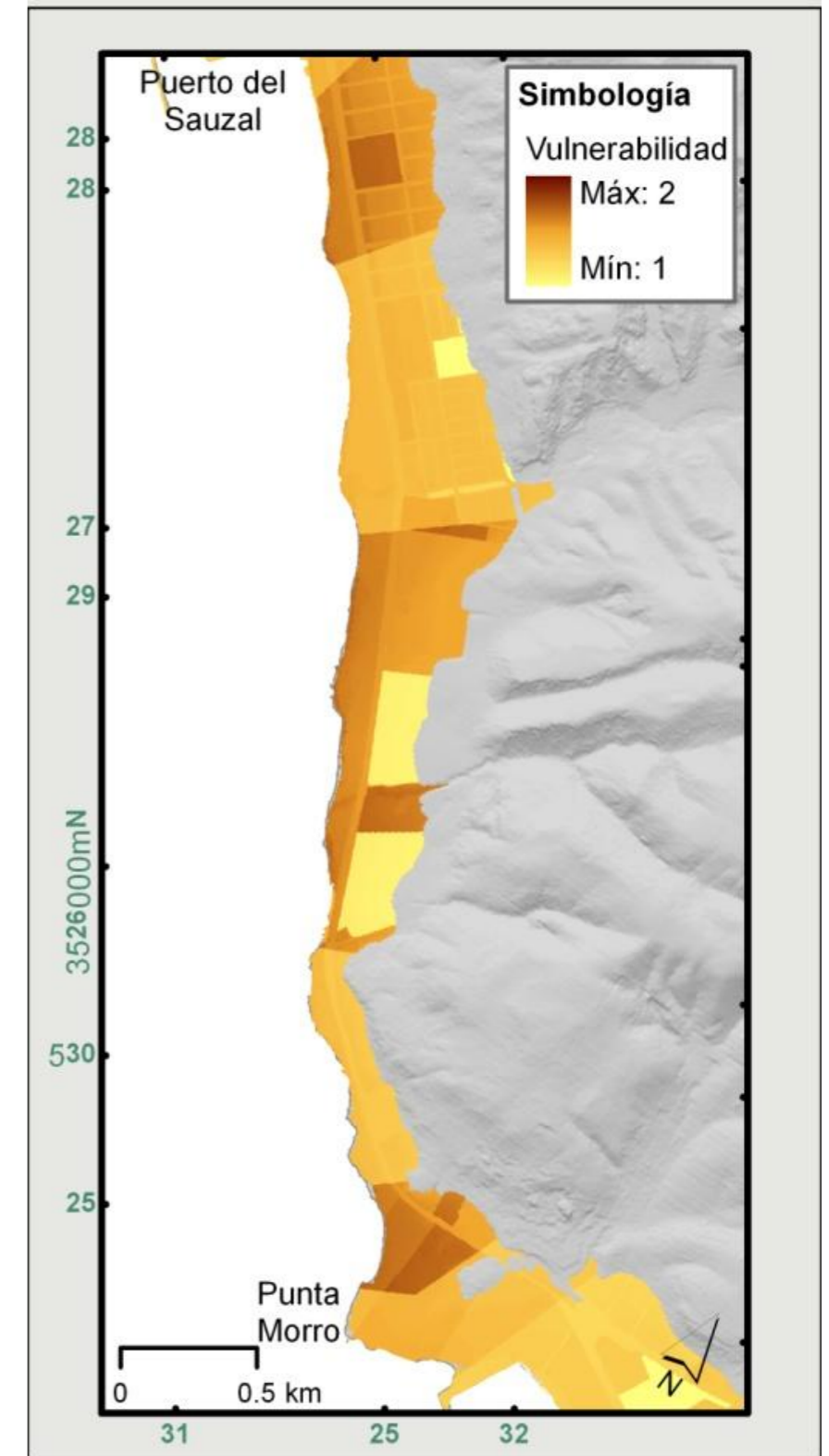


Figura 24. Vulnerabilidad en la Zona 2.

ZONA 3

Vulnerabilidad física

El uso de suelo más importante ubicado en esta zona es de servicios públicos al norte de la misma, donde se encuentra la Universidad Autónoma de Baja California; le sigue el uso comercial del sector turístico, por el Hotel Coral, así como su marina cuyo uso es de infraestructura técnica y de transporte (Figura 25). Con menor ponderación se ubica al sur de ésta zona un segmento angosto de playa rocosa y de canto rodado de uso recreativo.

Exposición

Al norte y centro de esta zona las pendientes son más suaves, a diferencia de la parte sur, donde nuevamente se encuentran algunos cantiles, en los cuales la exposición evidentemente es mayor en la base de los mismos (Figura 26). Se aprecia también que en las unidades de la parte norte (de la 19 a la 22) existe un proceso erosivo medio a excepción de las unidades de la Marina Coral y la Cava de L.A. Cetto, mientras que en el resto de las unidades hacia el sur, la erosión es alta. Lo anterior también coincide con el hecho de que las primeras unidades, están protegidas con enrocamientos, rompeolas y espigones, por lo cual la exposición se reduce a un rango entre 1.2 a 1.3. En contraste, la parte sur carece de estructuras de protección por lo cual la exposición varía entre 1.9 en la base de los cantiles y 1.6 en la parte alta de los mismos.

Vulnerabilidad

A pesar de la diversidad de condiciones en cuanto a exposición y vulnerabilidad física, el componente de vulnerabilidad se equilibra, manteniéndose alrededor de 1.5 a lo largo de toda la costa de ésta zona (Figura 27), a excepción de la marina del Hotel Coral, que baja ligeramente (alrededor de 1.4) y un sitio en la parte central de la zona, donde queda desprotegida una pequeña área con uso de suelo de tipo comercial y cuya vulnerabilidad asciende a 1.8.

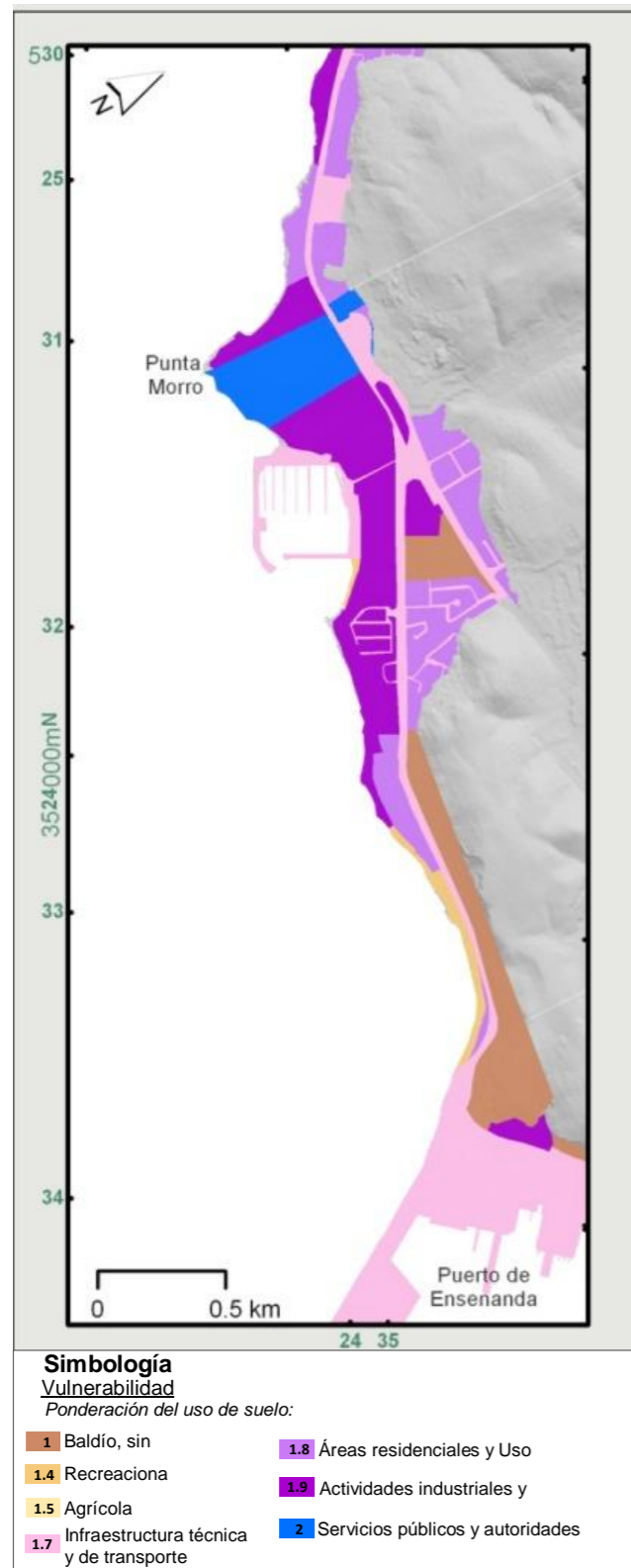


Figura 25. Vulnerabilidad física en la Zona 3.

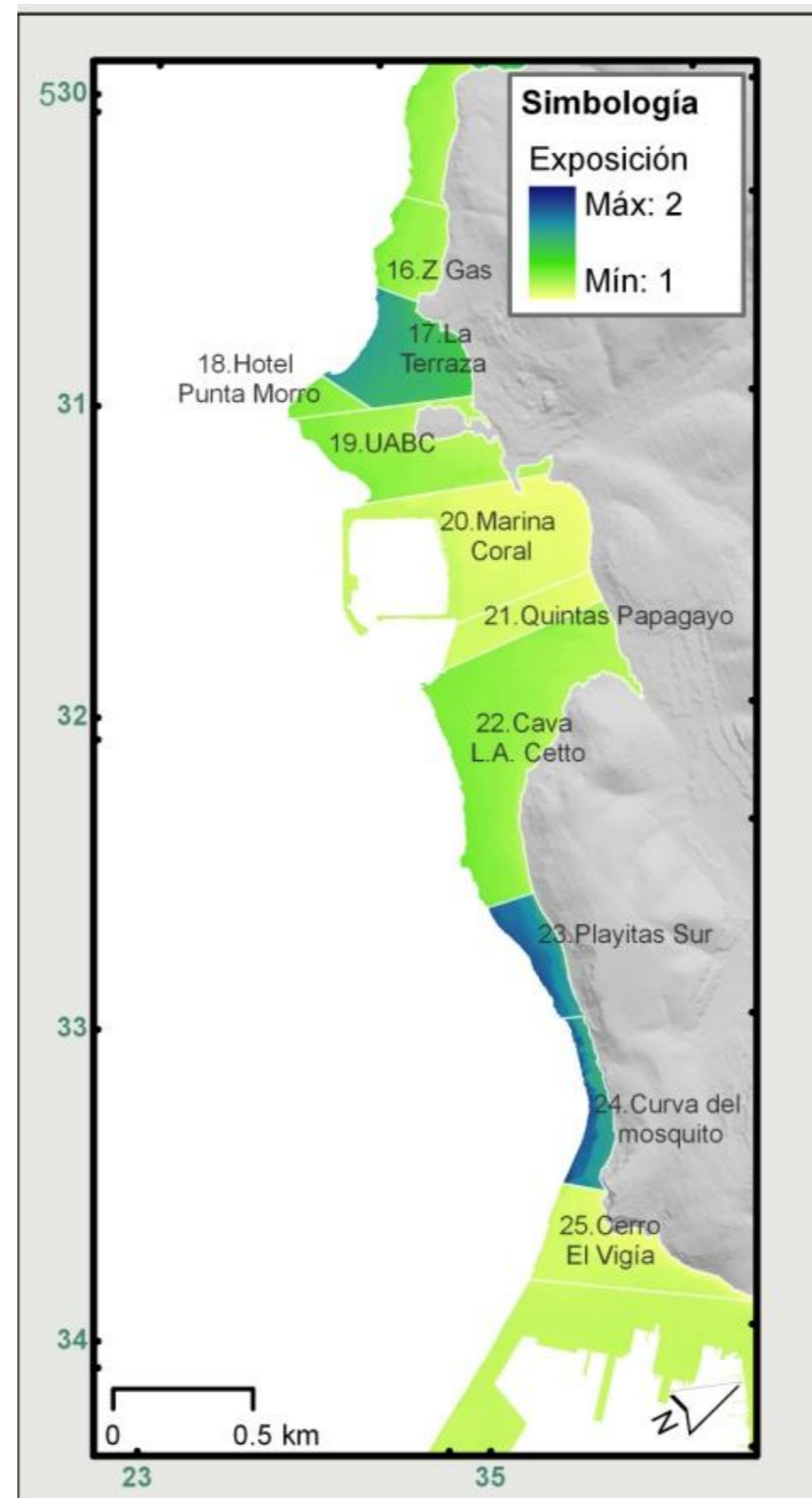


Figura 26. Exposición en la Zona 3.

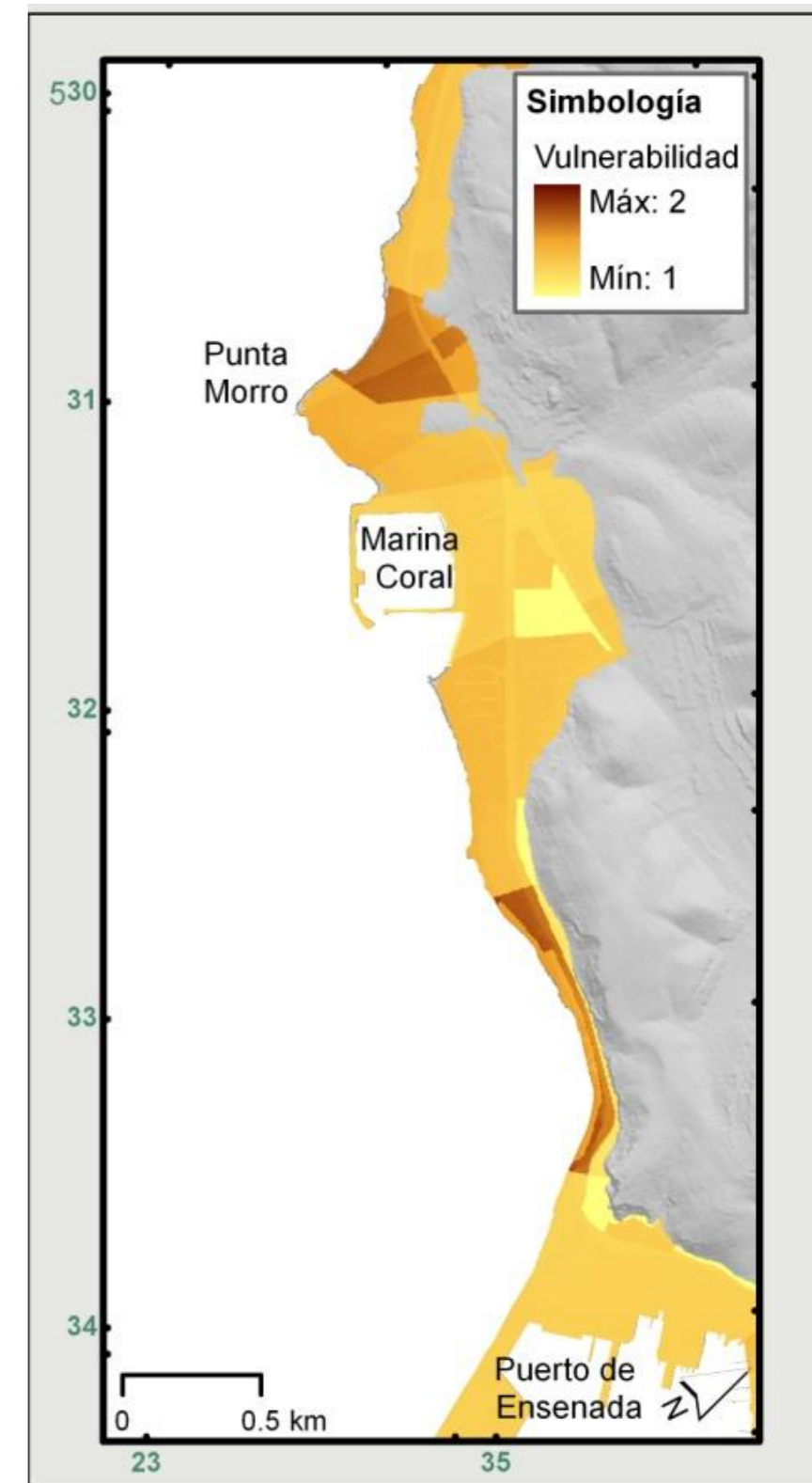


Figura 27. Vulnerabilidad en la Zona 3

ZONA 4

Vulnerabilidad física

La mayor parte de la superficie de esta zona está ocupada por la infraestructura del Puerto de Ensenada (Figura 28); dentro del recinto se ubica un área con uso mixto (turístico-recreativo) y al sur, la porción de la playa municipal posee el mismo uso de suelo.

Exposición

La exposición en las unidades del Puerto de Ensenada (26) y del Espigón (27) es relativamente baja (alrededor de 1.2) ya que se encuentra protegida y no presenta procesos erosivos (Figura 29), ésta es la misma situación de la unidad del Cerro del Vigía (25), que aunque no se considera parte del puerto, sí posee enrocamientos. La unidad de CEMEX (28) muestra mayor exposición ya que se encuentra bajo un proceso erosivo alto, a pesar de que presenta estructuras de protección costera, además se aprecia un área utilizada por la empresa de cementos CEMEX, que muestra una depresión topográfica, la cual provoca un marcado aumento en la exposición (alcanzando valores alrededor de 1.7).

Vulnerabilidad

La mayor parte de esta zona tiene una vulnerabilidad relativamente baja (alrededor de 1.3), aumentando ligeramente en las áreas con uso turístico recreativo dentro del recinto portuario (Figura 30), sin embargo, debido a una exposición mayor, la zona sur es más vulnerable (con valores alrededor de 1.5 y en el área de la depresión topográfica de hasta 1.7).

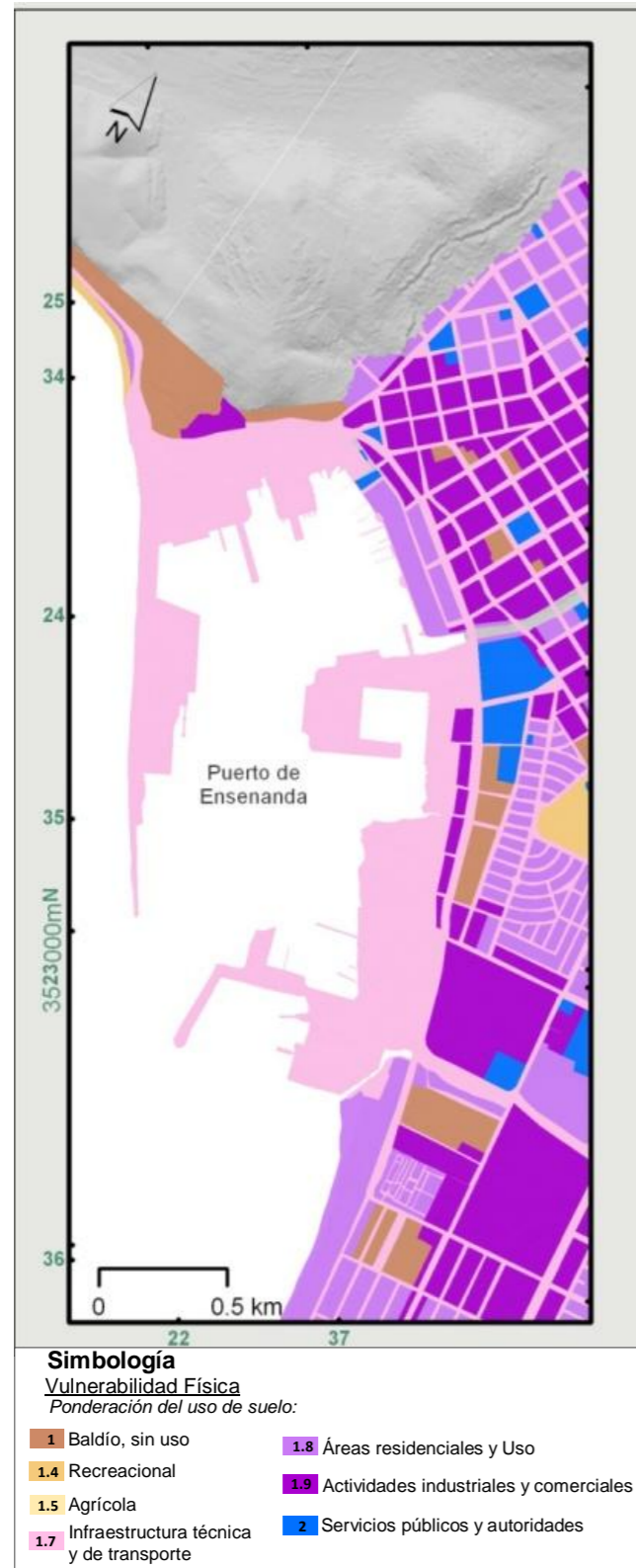


Figura 28. Vulnerabilidad física en la Zona 4.

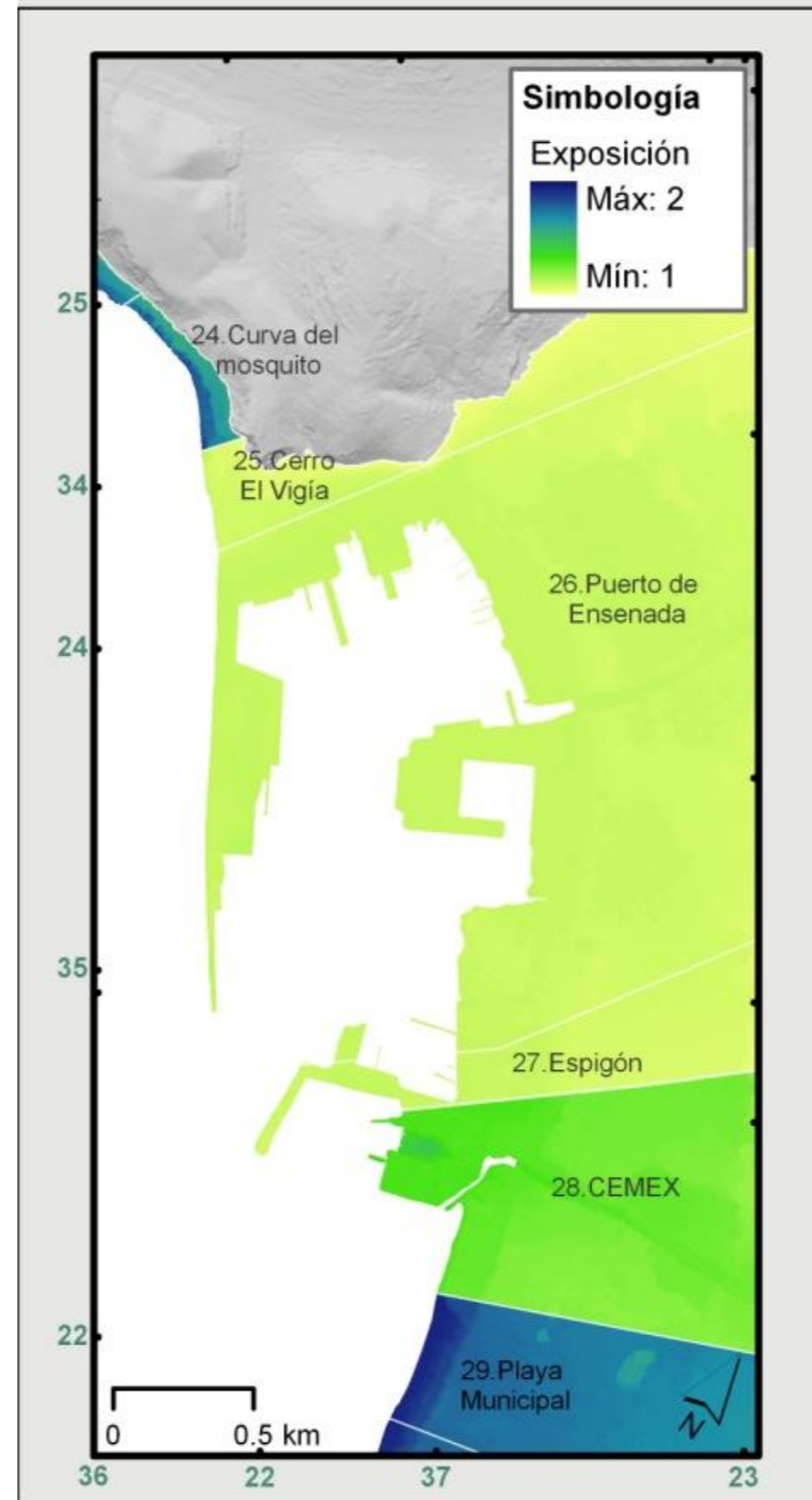


Figura 29. Exposición en la Zona 4.

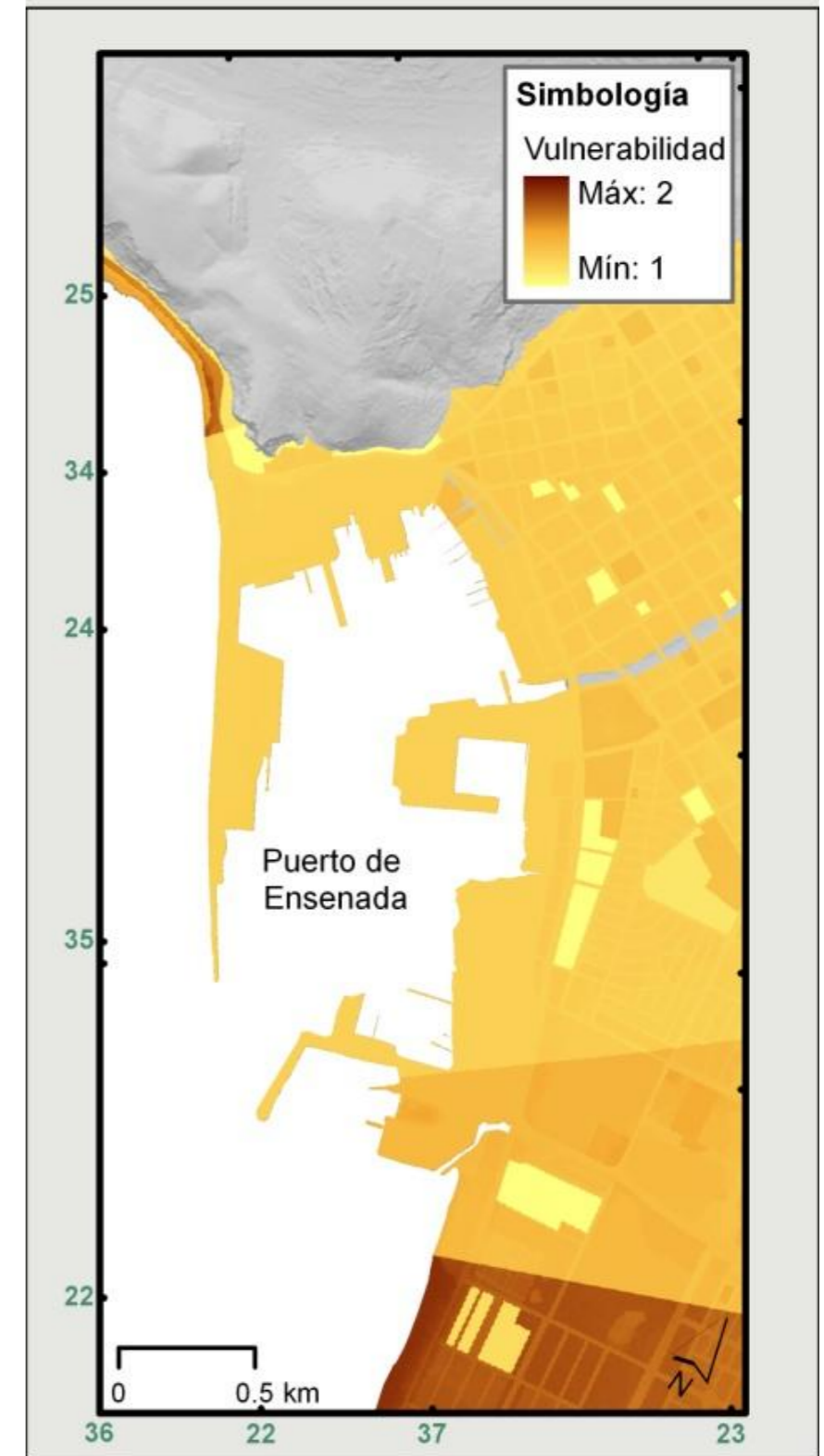


Figura 30. Vulnerabilidad en la Zona 4.

ZONA 5

Vulnerabilidad física

La línea de costa en la parte norte, está ocupada por áreas de uso mixto (turístico-recreativo) en el caso de las playas (Figura 31), detrás de las mismas el uso es residencial, ambos usos poseen una ponderación media-alta; detrás de la zona de playa también existen servicios públicos (en el caso del colegio CONALEP) con ponderación máxima, y baldío (ponderación mínima). Hacia el sur la playa tiene un uso recreativo y detrás de ésta se encuentra un área de conservación (ambas con ponderación baja), además se ubica un área baldía y una zona residencial.

Exposición

Se puede considerar que toda la zona 5 presenta una exposición muy alta comparada al resto del área de estudio (Figura 32), pues sus valores oscilan entre el máximo (2) en las áreas de playa con pendiente suave y 1.7 exclusivamente en el área de dunas. Los valores máximos se presentan en las unidades de Playa Hermosa (30) y CONALEP (31) en la playa delimitada por una marcada berma, pues poseen un proceso erosivo muy alto y carecen de protección, mientras que en la unidad de la Lagunita (32) desciende la exposición debido a que el riesgo de erosión es menos intenso.

Vulnerabilidad

Existe una marcada diferencia entre las áreas más vulnerables (con valores alrededor de 1.8) ubicadas en la parte norte, donde el uso de suelo es medio-alto y la exposición muy alta, y la parte sur, donde el uso de suelo es bajo y la exposición ligeramente menor, cuya vulnerabilidad oscila alrededor de 1.5 (Figura 33).



Figura 31. Vulnerabilidad física en la Zona 5.

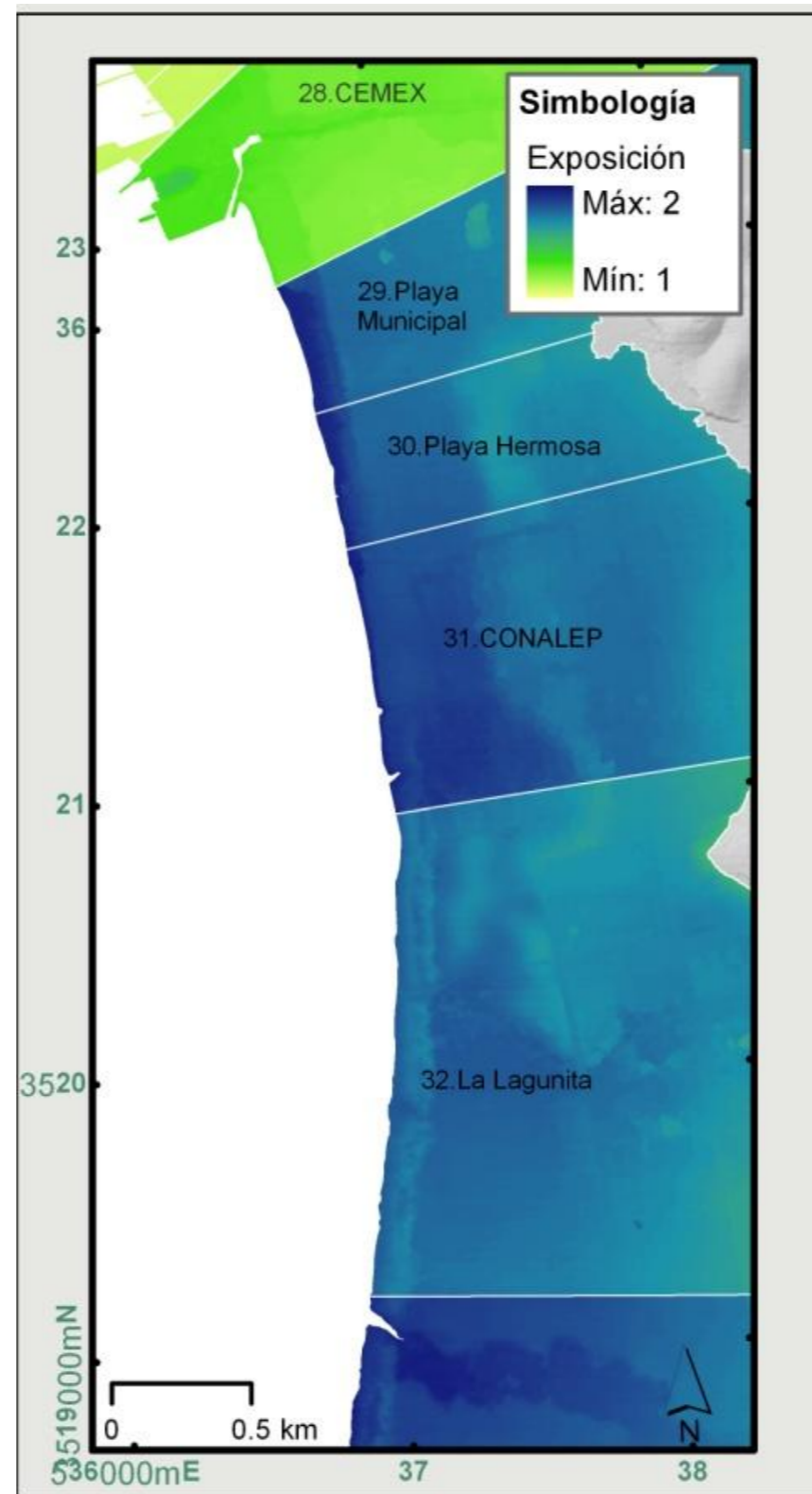


Figura 32. Exposición en la Zona 5.

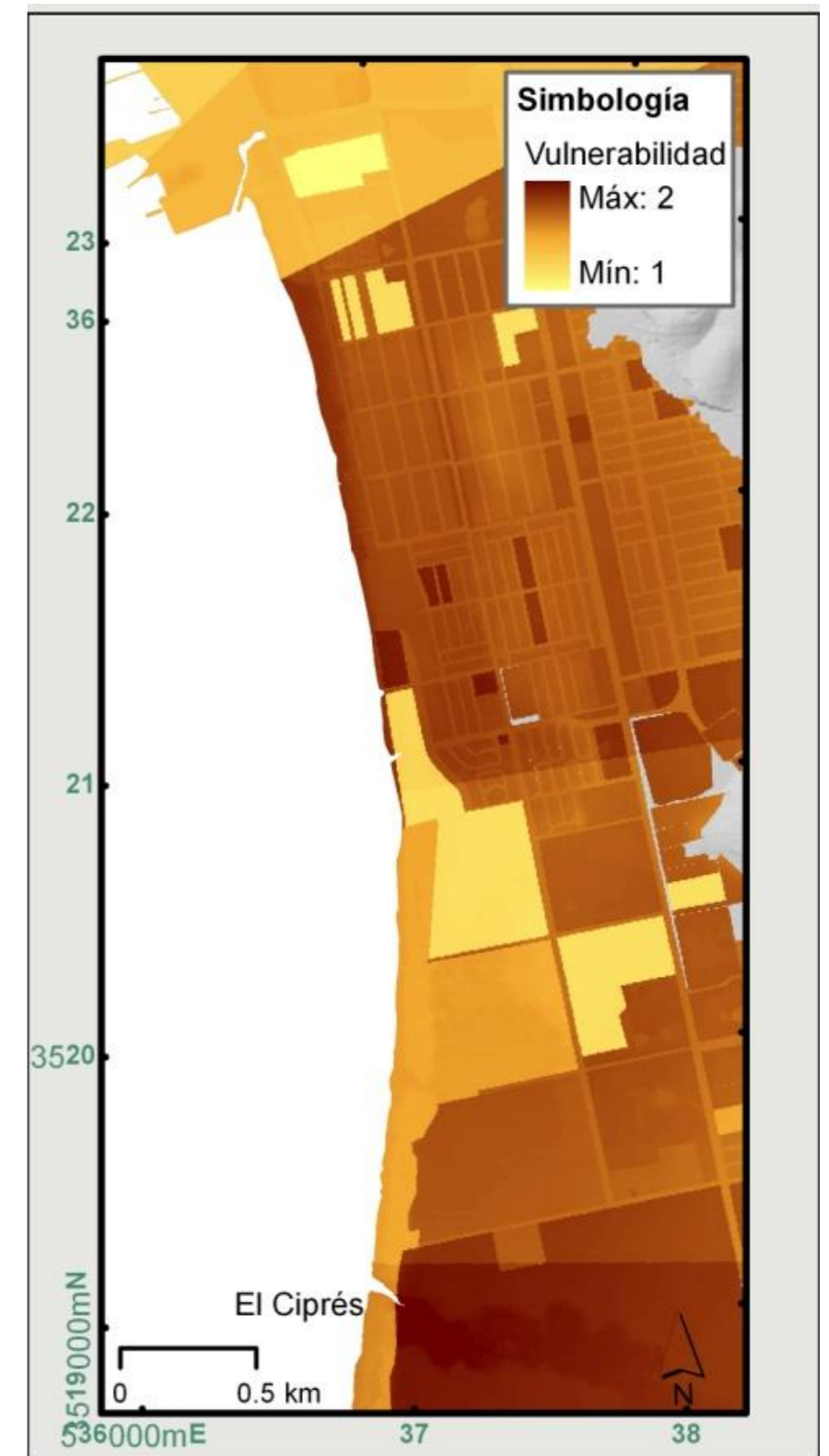


Figura 33. Vulnerabilidad en la Zona 5.

ZONA 6

Vulnerabilidad física

Continuando con la zona 5, ésta unidad presenta en su parte norte una playa de uso recreativo (ponderación baja) y detrás se encuentra una zona militar clasificada con uso de autoridades y servicio públicos (ponderación máxima) como se observa en la Figura 34. Posteriormente, hacia el sur, se encuentran áreas destinadas al comercio del sector turístico (ponderación alta) con pequeñas áreas de playa con uso turístico-recreativo (ponderación media-alta).

Exposición

Las unidades del Ciprés (33) y de Playa Monalisa (34) presentan una continuación de las condiciones de la zona 5 (Figura 35), con erosión muy alta y falta de estructuras de protección. Los valores más cercanos al máximo se encuentran en la zona de playas delimitadas por la berma, también se observan dos arroyos, en donde altos valores de exposición avanzan tierra adentro hasta disiparse con la altura. La unidad de Playa El Faro (35) se caracteriza por el mismo proceso erosivo, pero al contar con enrocamientos la exposición disminuye a valores cercanos a 1.6.

Vulnerabilidad

La vulnerabilidad en la parte norte de esta zona es contraria a lo que registra su exposición (Figura 36); el área de playa es menos vulnerable (con valores alrededor de 1.6) que el área detrás debido a que es ahí donde se encuentra la zona militar cuya vulnerabilidad física es máxima, resultando valores de vulnerabilidad alrededor de 1.8. Hacia el sur la vulnerabilidad se observa más homogénea con valores que oscilan alrededor de 1.8; y finalmente en el extremo sur desciende nuevamente debido a las estructuras que protegen esta área, presentando valores cercanos a 1.6.

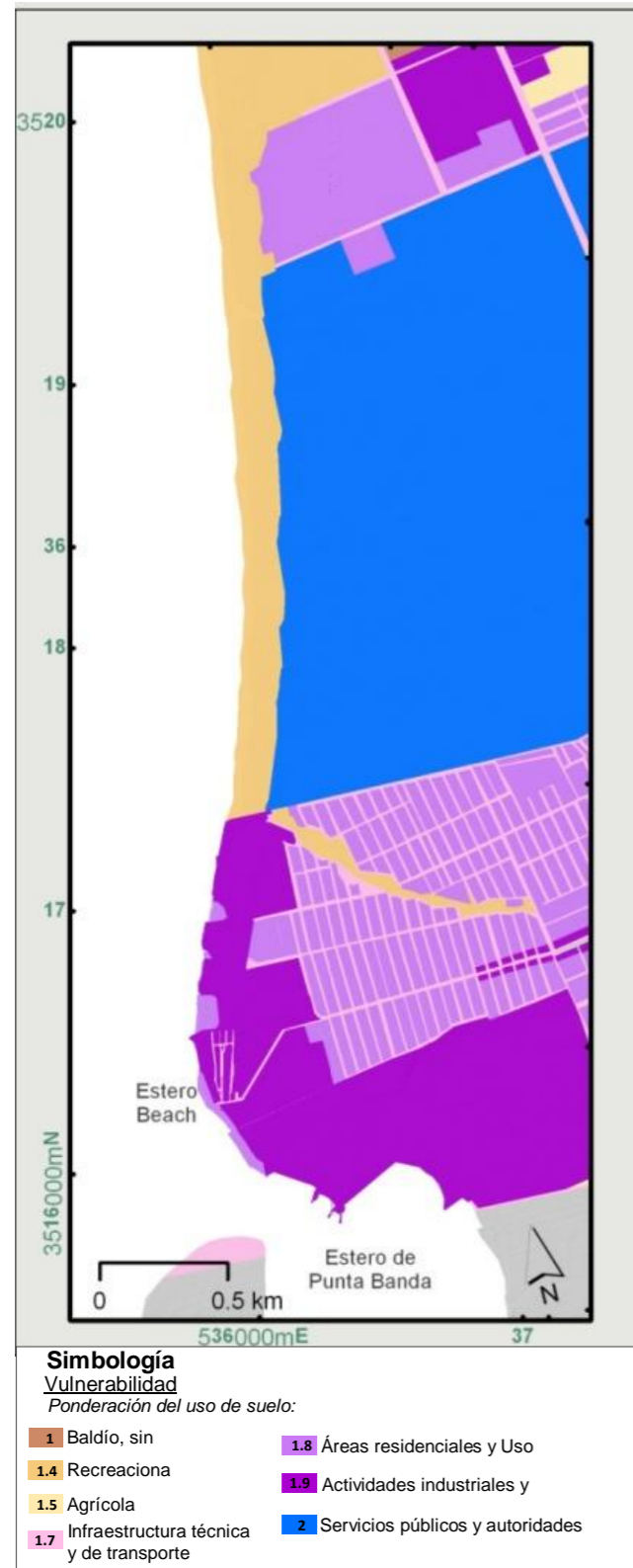


Figura 34. Vulnerabilidad física en la Zona 6.

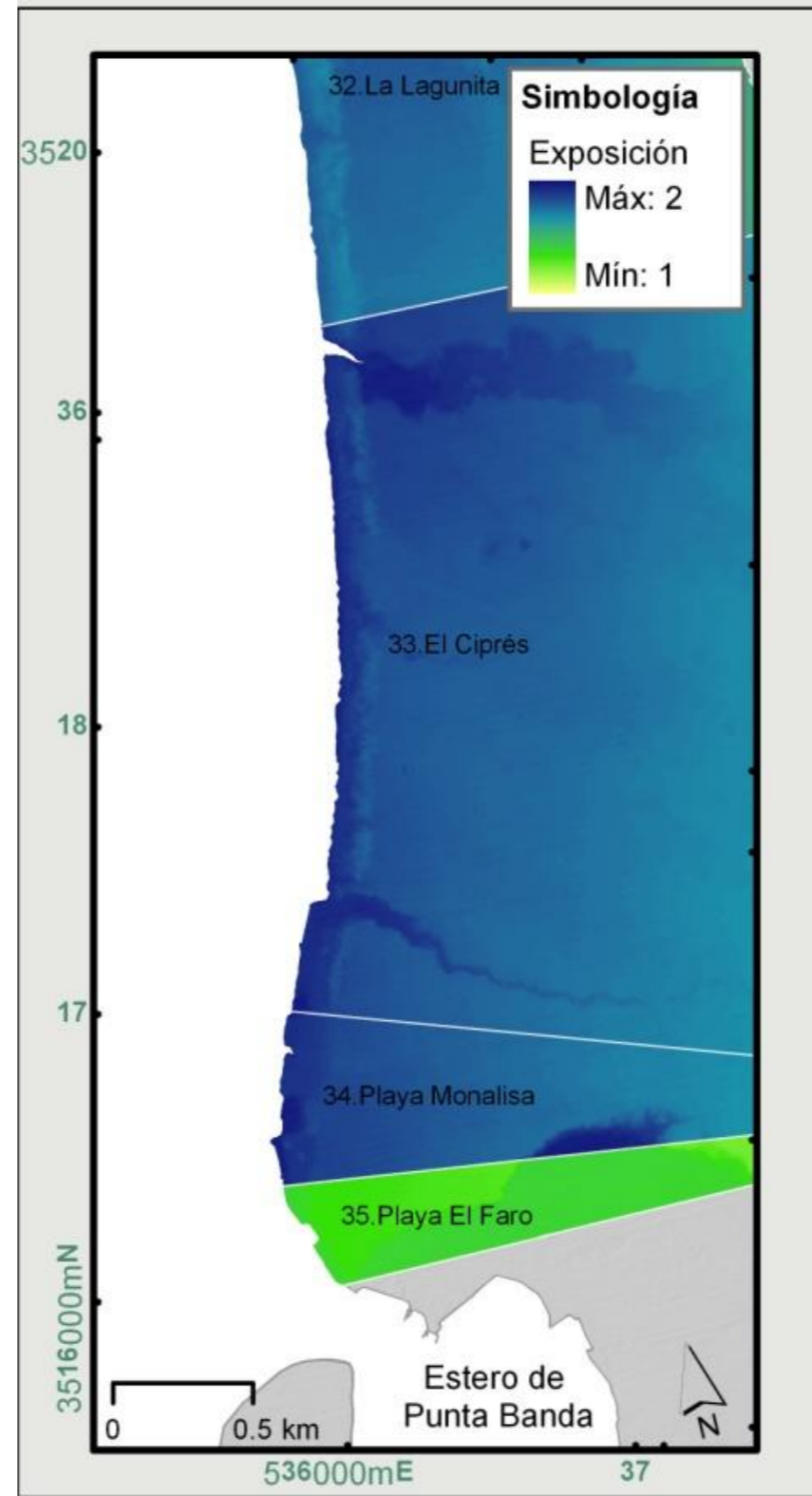


Figura 35. Exposición en la Zona 6.

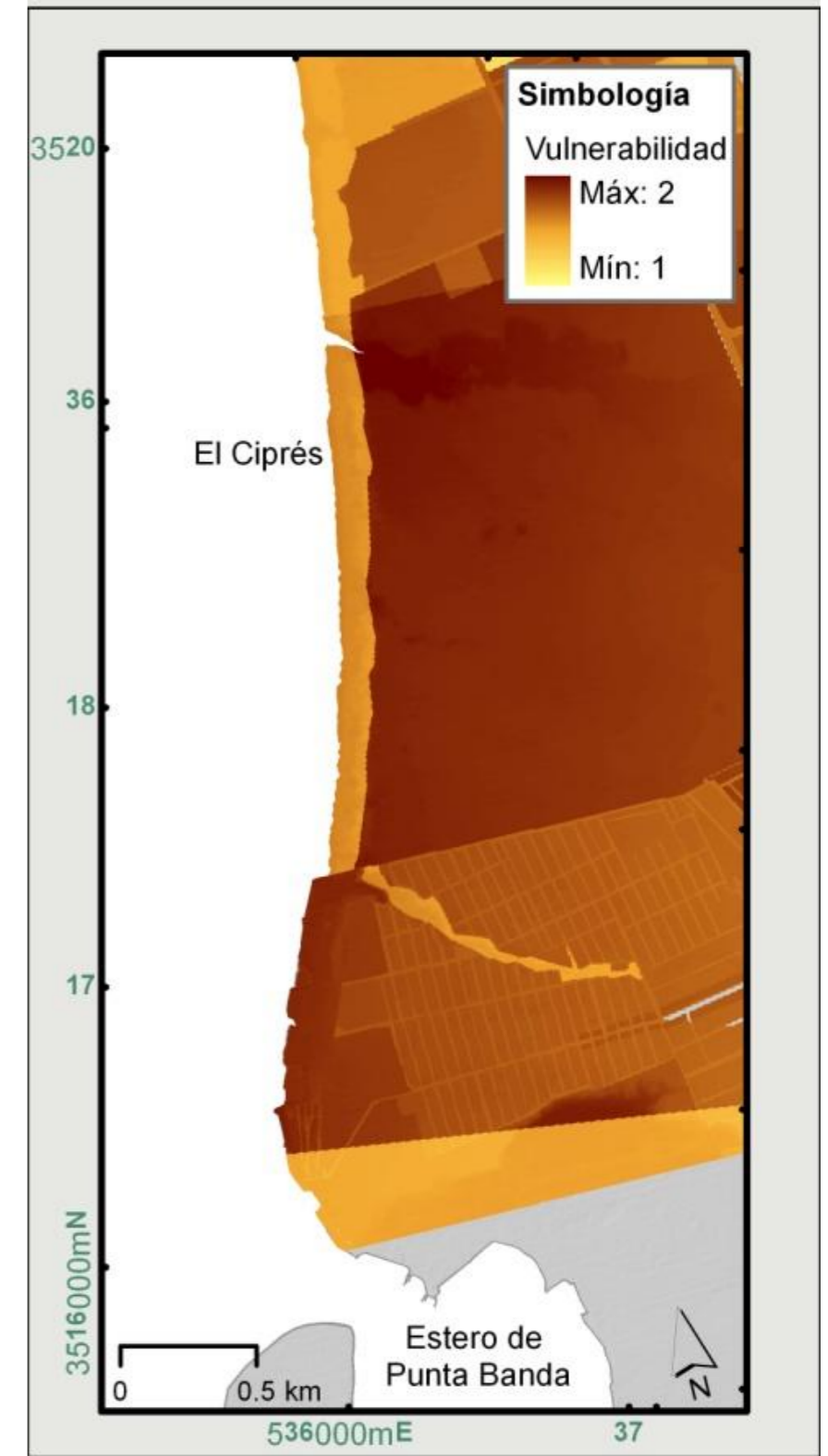


Figura 36. Vulnerabilidad en la Zona 6.

5.5. Riesgo

Los valores resultantes de la ecuación de riesgo se clasificaron como se muestra en la Tabla VIII.

Tabla VIII. Valores relativos asignados a cada categoría de riesgo por inundación.

Clasificación	Rango de valores
Muy alto	1.75 – 2
Alto	1.5 – 1.75
Medio	1.25 – 1.5
Bajo	1 – 1.25

5.5.1. Descripción por zonas

ZONA 1

En ambos grupos de escenarios (Figuras 37 a la 40), las áreas que registraron algún grado de riesgo fueron la desembocadura del Arroyo San Miguel, con riesgo muy alto del lado este, donde se encuentra la zona residencial y riesgo alto del lado oeste; también el área del Puerto del Sauzal y sus alrededores presentaron riesgo, con nivel medio dentro del recinto portuario y alto en las playas adyacentes. En la Figura 61 se presentan las hectáreas que resultaron con los distintos niveles de riesgo en esta zona de acuerdo con los dos grupos de escenarios (E1 y E2); se observa que en todos los escenarios, existen niveles de riesgo de medio a alto, sin embargo el nivel medio ocupa una mayor área que el resto.

ZONA 2

En los dos escenarios, son pocas las áreas que presentaron riesgo, en ambos casos permanece constante una pequeña superficie al norte de la zona (menor a los 800m² en todos los escenarios) con un riesgo algo, debido a la importancia del uso del suelo y la ausencia de estructuras de protección (Figura 41 a la 44). Conforme aumentan las proyecciones, los sitios de riesgo aumentan (bajo la categoría de medio y alto) principalmente al norte de la zona. En la Figura 62 se comparan las áreas que ocupan los distintos niveles de riesgo en la zona 2 bajo los distintos escenarios evaluados; tal como se observó en los mapas (Figura 41 a la 44), las áreas con riesgo son relativamente pequeñas (menores a 0.6 ha en cada nivel de riesgo) y predomina el nivel de riesgo alto en el grupo de escenarios E2.

ZONA 3

En los escenarios de mareas y de incertidumbre (Figuras 16 a la 48) se presenta con riesgo medio a la marina del Hotel Coral, pues en cualquier caso es afectada por las proyecciones de amenaza. Conforme aumentan las proyecciones de aumento del nivel del mar, aumentan también los sitios con riesgo alto a partir del centro de ésta zona hacia el sur. En la Figura 63 se presenta la comparación entre las áreas que ocupan los distintos niveles de riesgo en cada uno de los escenarios; mientras que en el grupo de escenarios E1 (sin marea) las áreas de riesgo no alcanzan las 0.1 ha, el grupo de escenarios E2 incrementa las áreas con riesgo principalmente a un nivel medio y menor medida a un nivel alto, a la vez que se mantienen fijas las áreas con riesgo muy alto.

ZONA 4

Se detectan tres sitios que presentan distintos grados de riesgo en cualquiera de los escenarios (Figuras 49 a la 52); en la parte norte, se presenta un punto con riesgo muy alto correspondiente a la unidad 24, en la cual la playa se encuentra desprotegida, destaca también el rompeolas del puerto, con un riesgo medio y por último el área perteneciente a CEMEX posee un riesgo alto. Conforme aumenta la altura de las proyecciones de amenaza, crecen las áreas con riesgo pero siempre con la misma intensidad (medio, alto o muy alto). En la Figura 64 se observa que el grupo de escenarios E1 presenta áreas con riesgo que se mantienen relativamente estables (por debajo de las 3 ha), mientras que en el grupo de escenarios E2 aumentan las áreas con riesgo principalmente de nivel medio; destaca que en el escenario E2Ci se incrementa el área con nivel de riesgo muy alto hasta cerca de las 6 ha.

ZONA 5

En esta zona se aprecia una diferencia importante entre los escenarios E1 (Figuras 53 y 54) y E2 (Figuras 55 y 56), en los primeros, solamente una angosta franja en la parte central de la zona presenta condiciones de riesgo muy alto para la fracción norte y alto para la fracción sur, mientras que los escenarios E2 arrojan que con las mareas, casi toda la zona 5 presenta riesgo alto y muy alto. Como se observa en la Figura 65, el riesgo alto predomina en los escenarios E2, superando las 9 ha (con excepción del E2A y E2B), mientras que el nivel de riesgo muy alto fluctúa entre las 2 y 6 ha.

ZONA 6

Al igual que la zona 5, existe una diferencia apreciable entre los escenarios E1 y E2. En los primeros (Figuras 57 y 58), las áreas en riesgo son pequeñas e inclusive nulas (en el caso específico del escenario E1B), cuando se presentan, éstas se ubican en la parte norte de la zona con un riesgo alto. Con el efecto de las mareas, en los escenarios E2 (Figuras 59 y 60) se expanden las áreas de riesgo alto por toda la franja de playa de uso recreativo en la parte centro-norte, mientras que en la parte sur se encontraron con riesgo muy alto los segmentos de playa de uso turístico-recreativo y con riesgo alto aquellas áreas que presentaron menor exposición debido a la presencia de estructuras de protección. En la Figura 66 se aprecia el mismo patrón en cuanto a las áreas con riesgo que se registraron en la zona 5; pues se observa que bajo el efecto de las mareas, se incrementan las áreas con riesgo alto predominantemente.

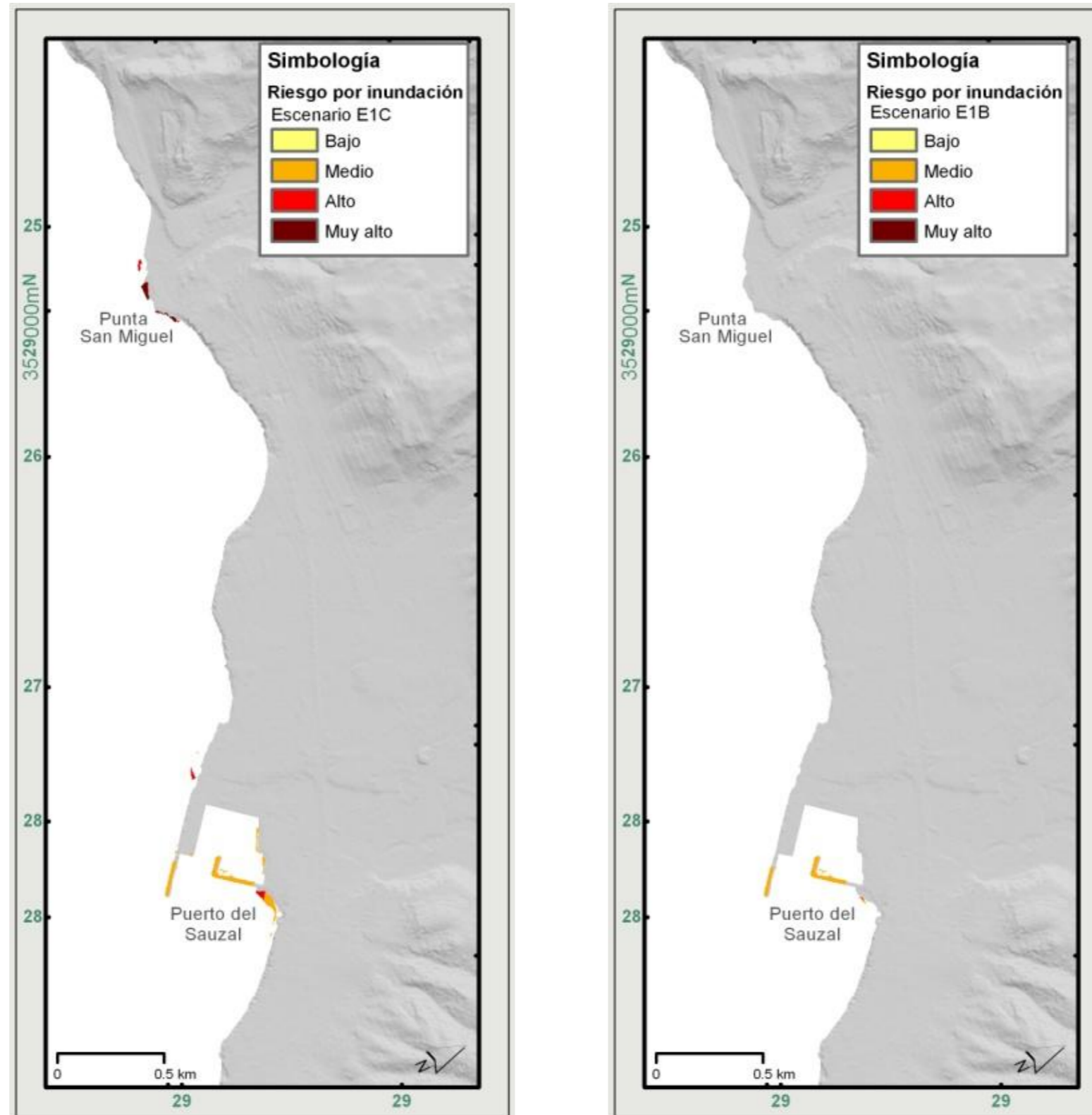


Figura 37. Mapas de riesgo de inundación (escenarios E1) en la Zona 1.

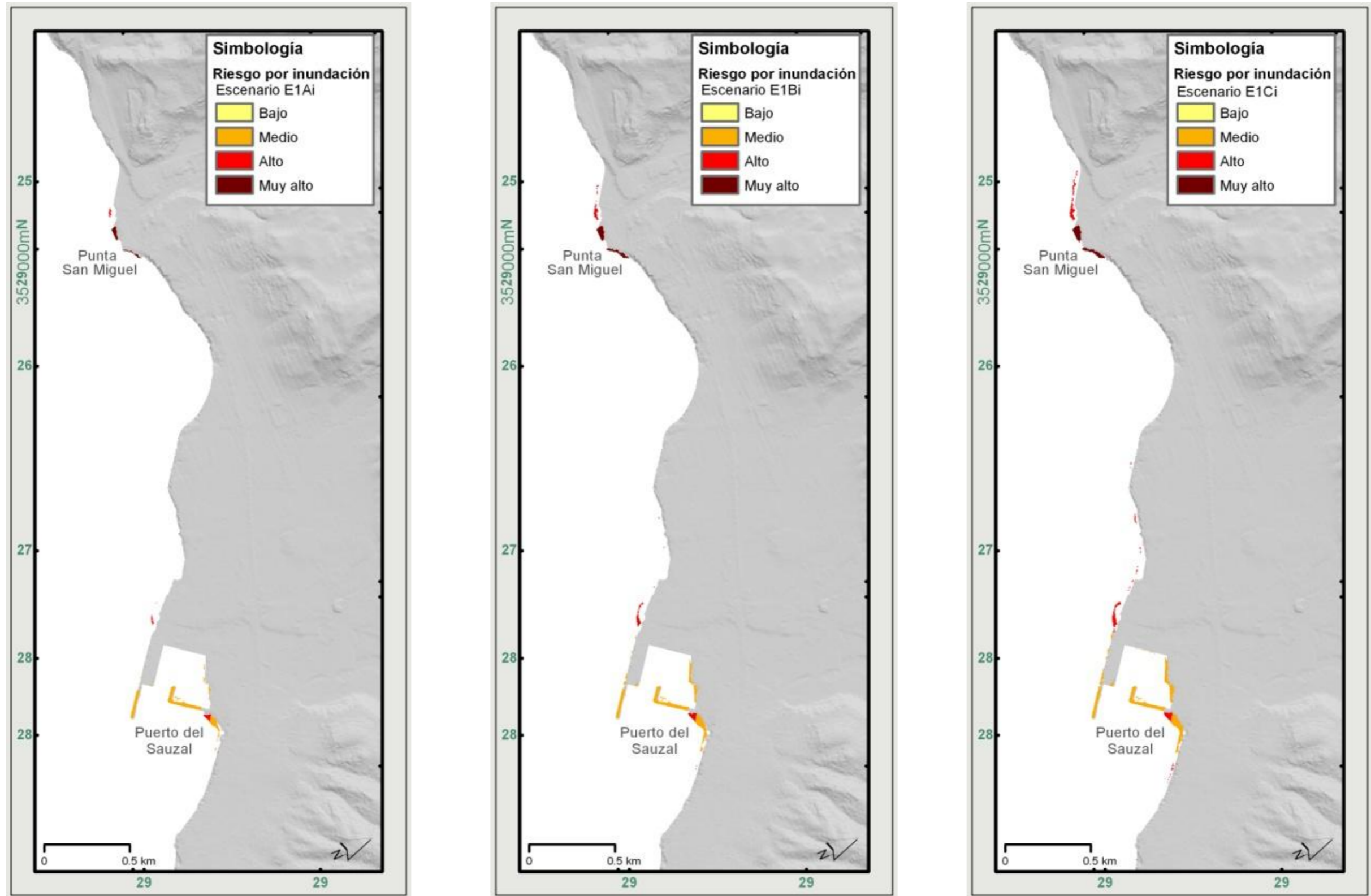


Figura 38. Mapas de riesgo de inundación en la Zona 1, tomando en cuenta la incertidumbre asociada a la amenaza (escenarios E1+i).

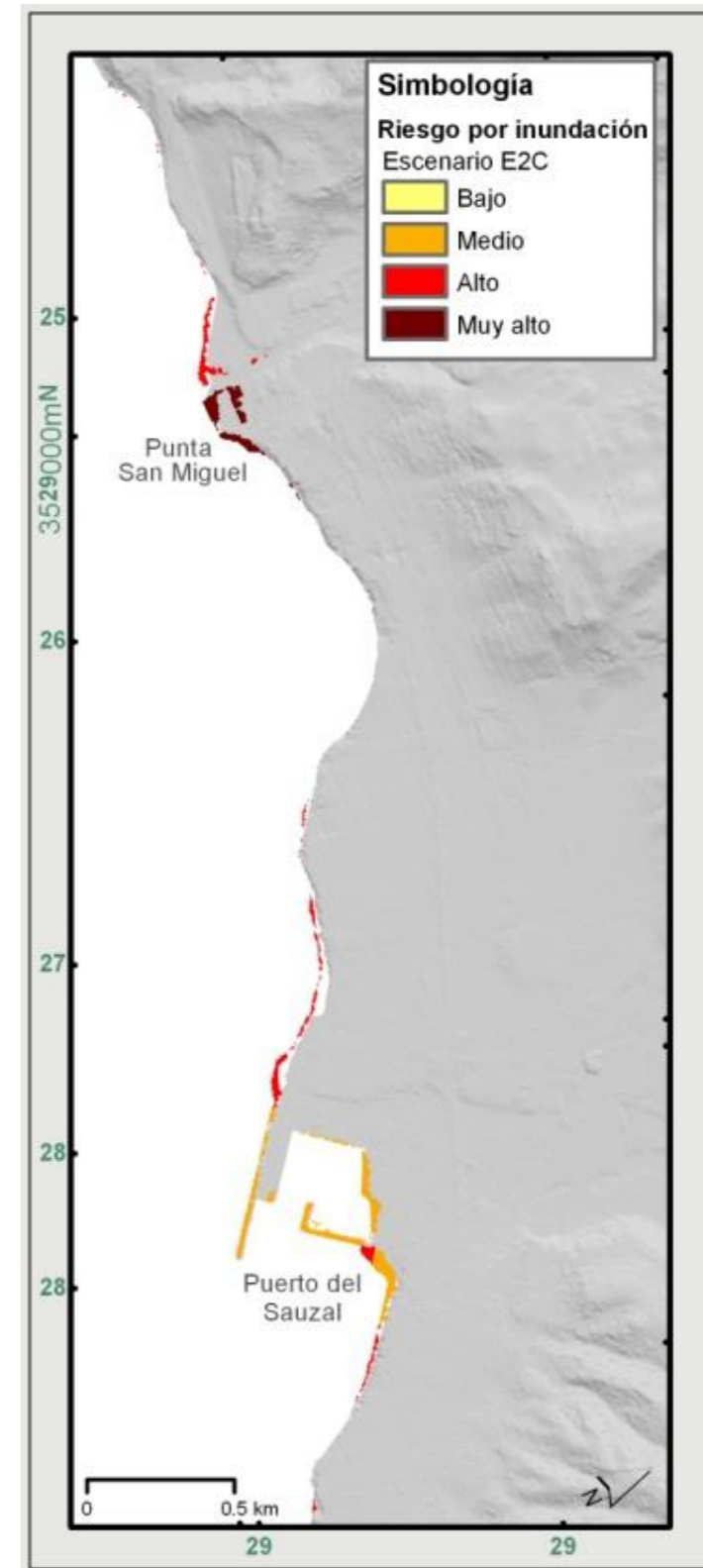
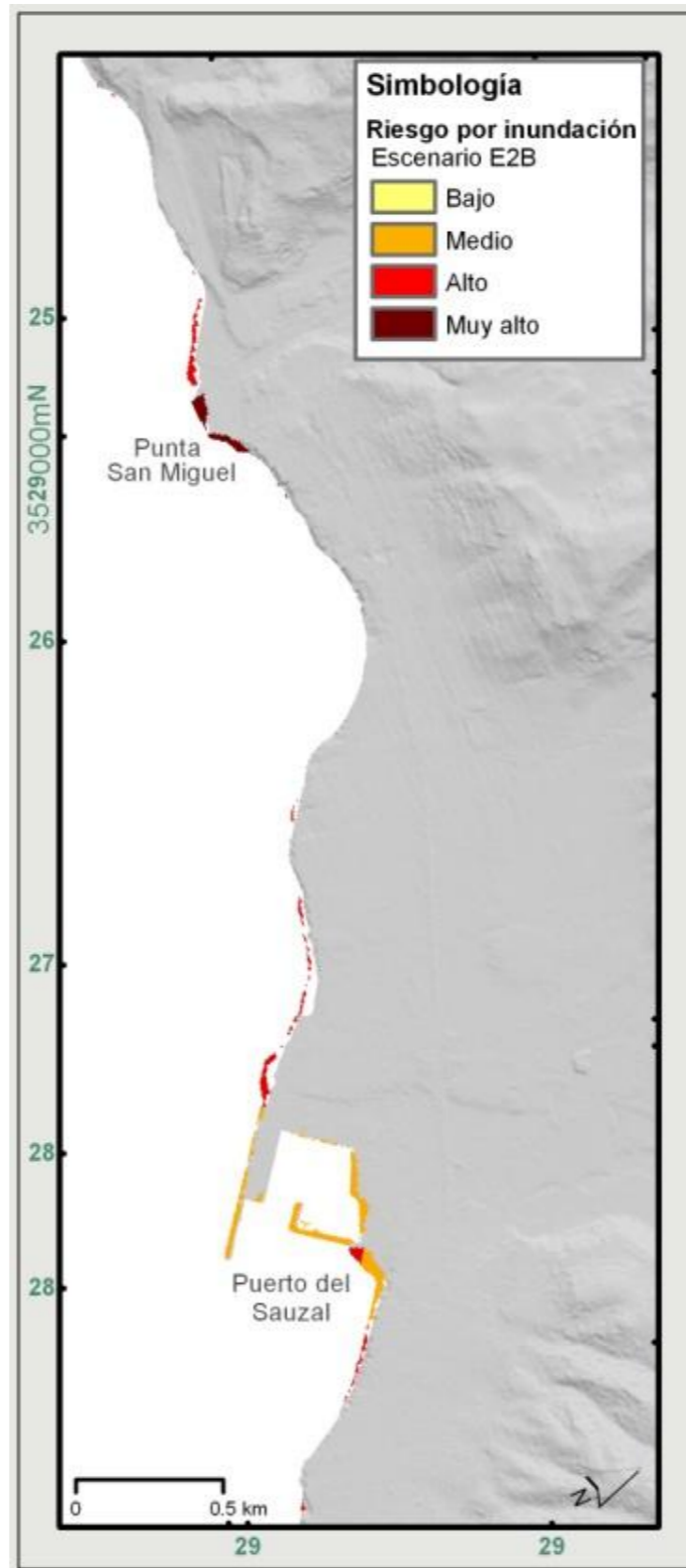
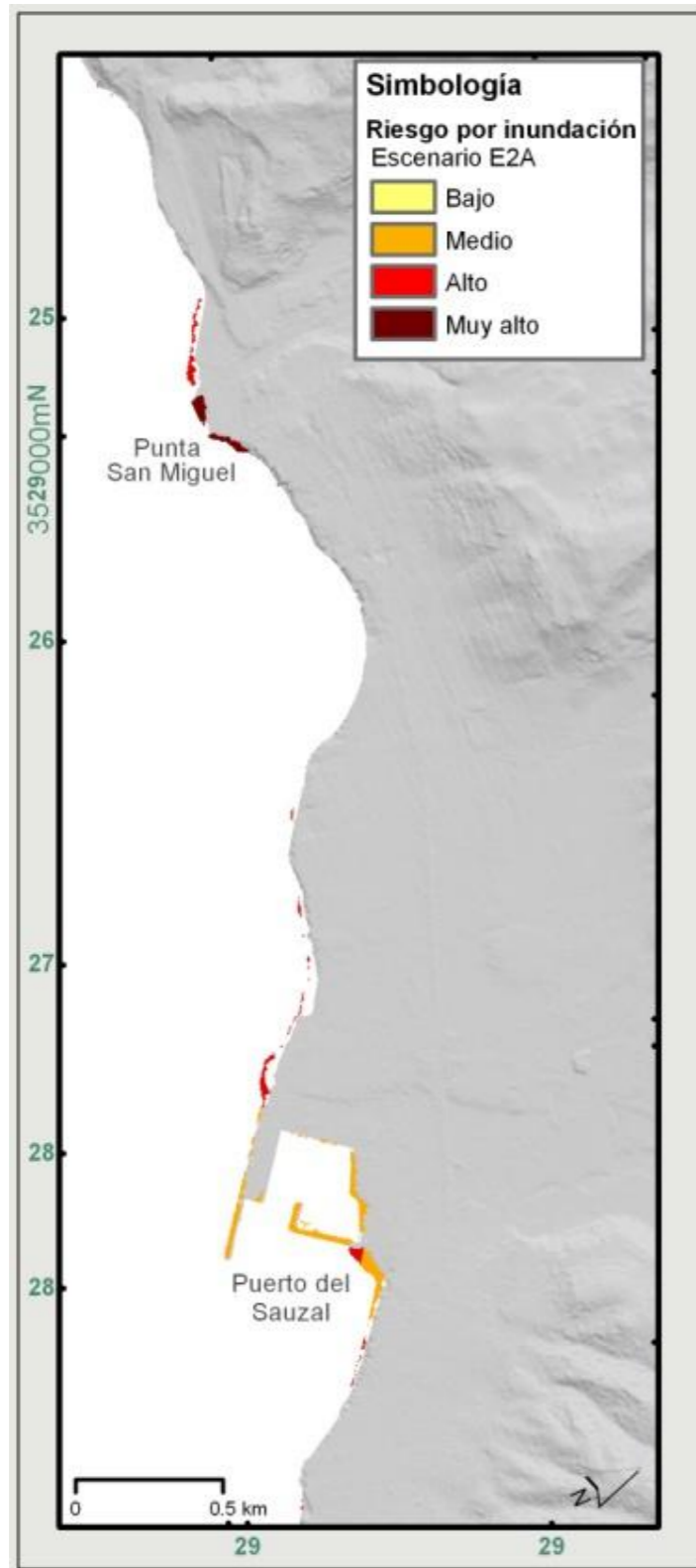


Figura 39. Mapas de riesgo de inundación (escenarios E2) en la Zona 1.

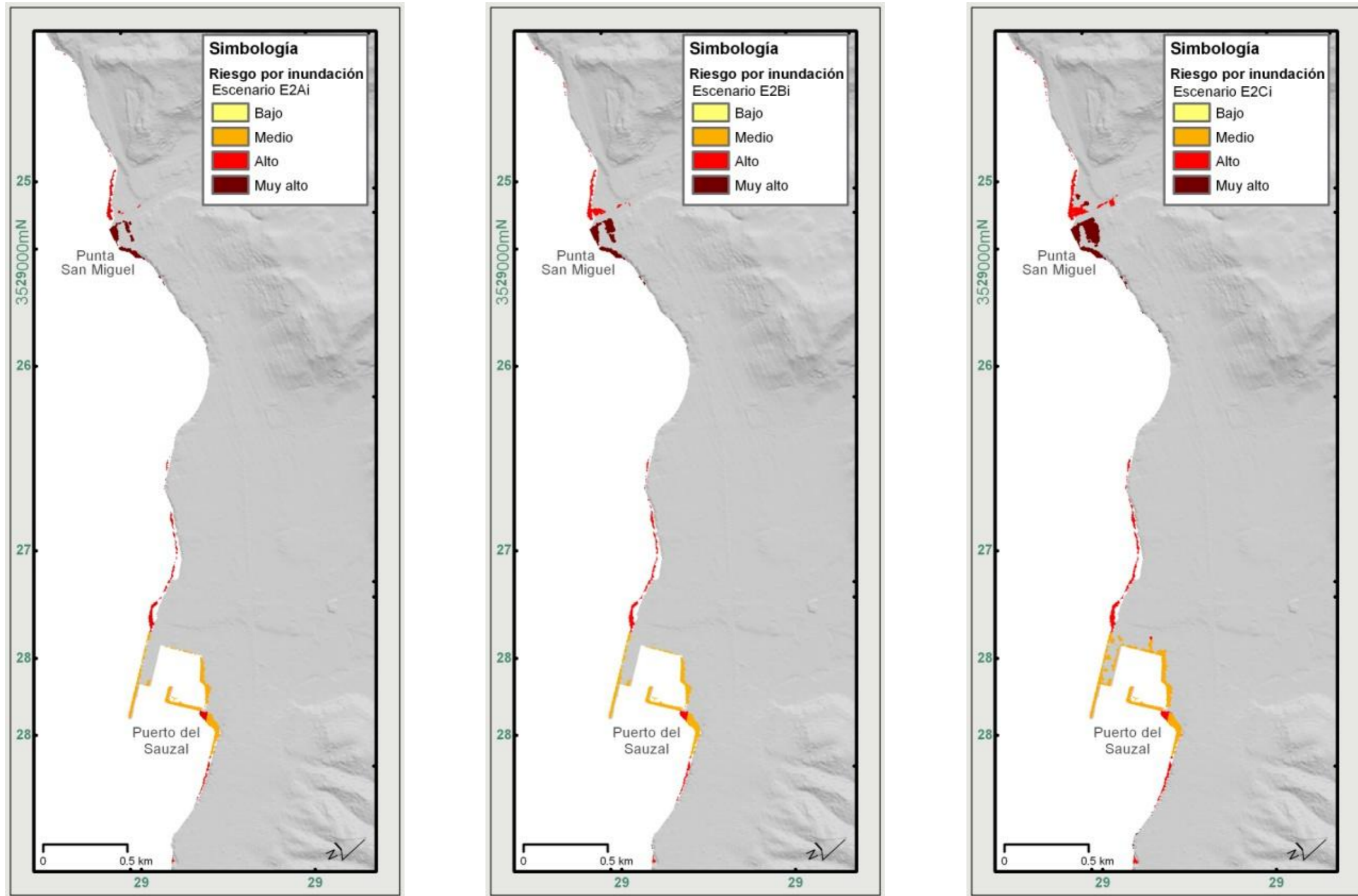


Figura 40. Mapas de riesgo de inundación en la Zona 1, tomando en cuenta la incertidumbre asociada a la amenaza (escenarios E2+i).

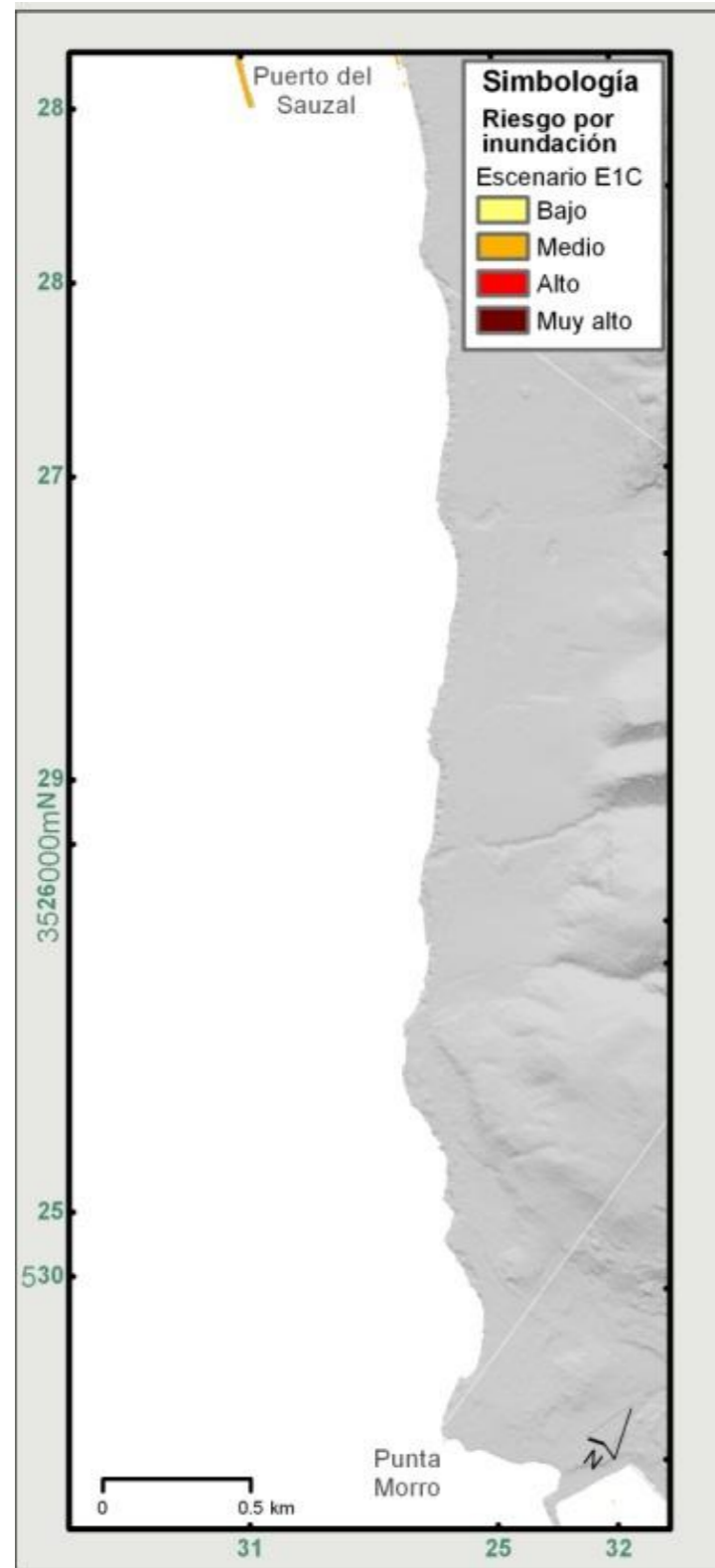


Figura 41. Mapas de riesgo de inundación (escenarios E1) en la Zona 2.

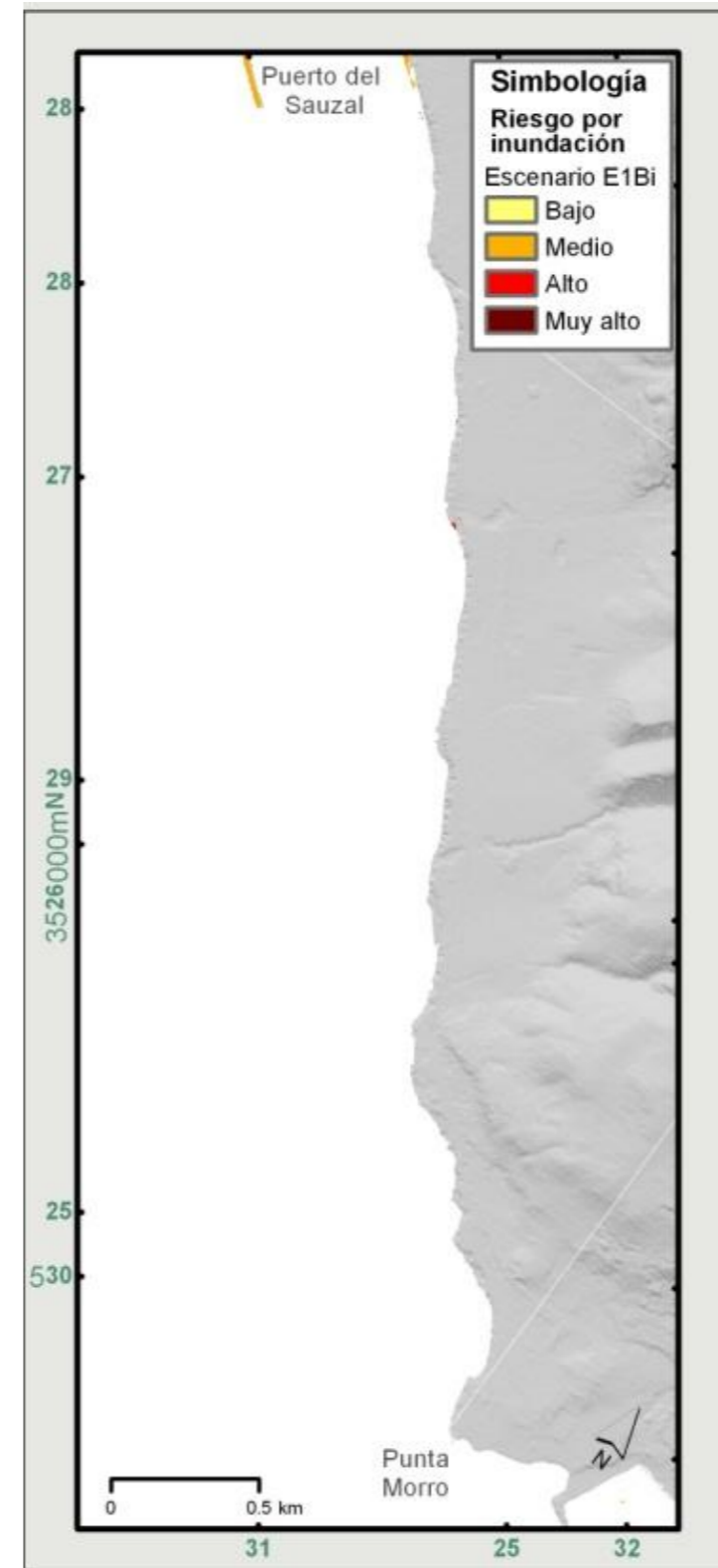
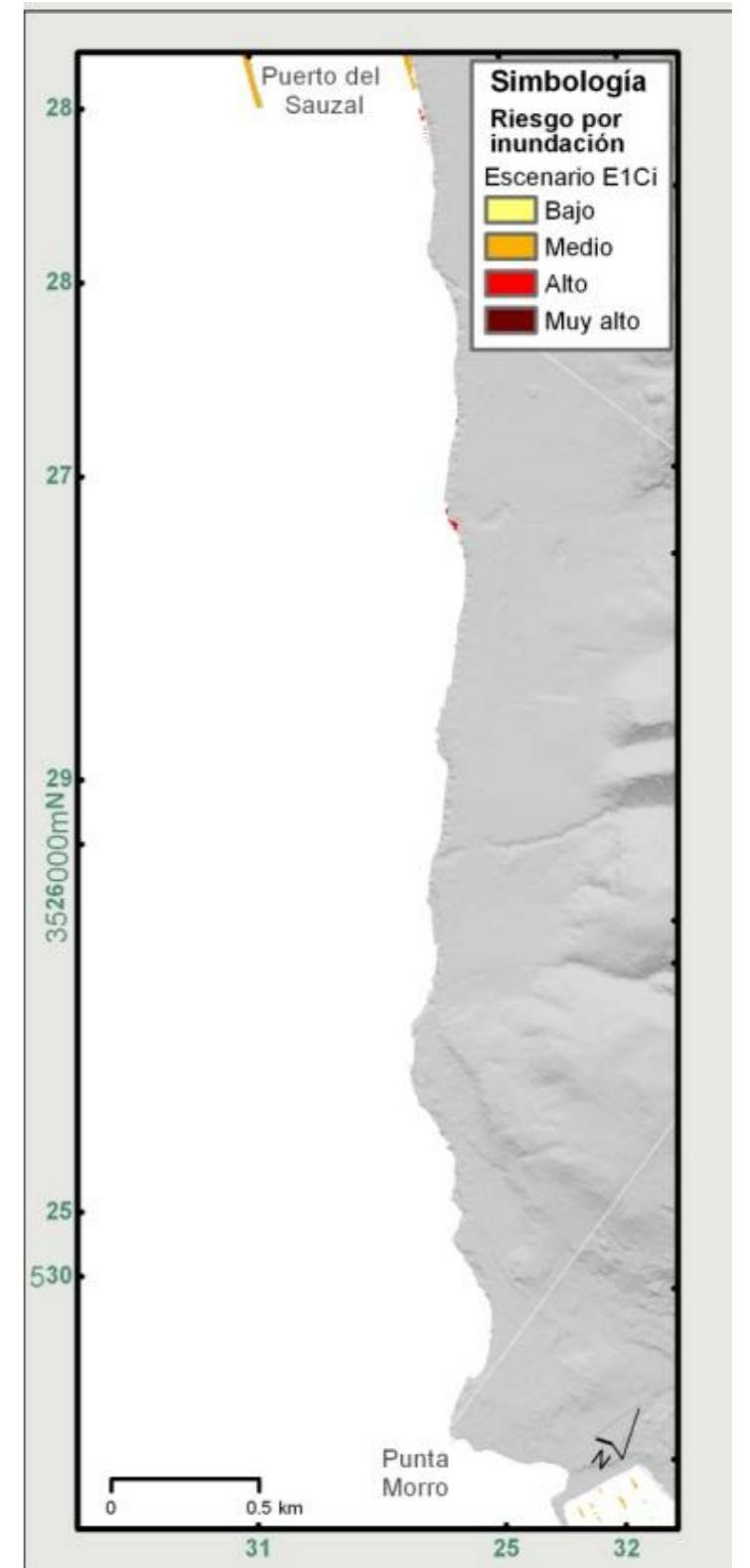


Figura 42. Mapas de riesgo de inundación en la Zona 2, tomando en cuenta la incertidumbre asociada a la amenaza (escenarios E1+i).



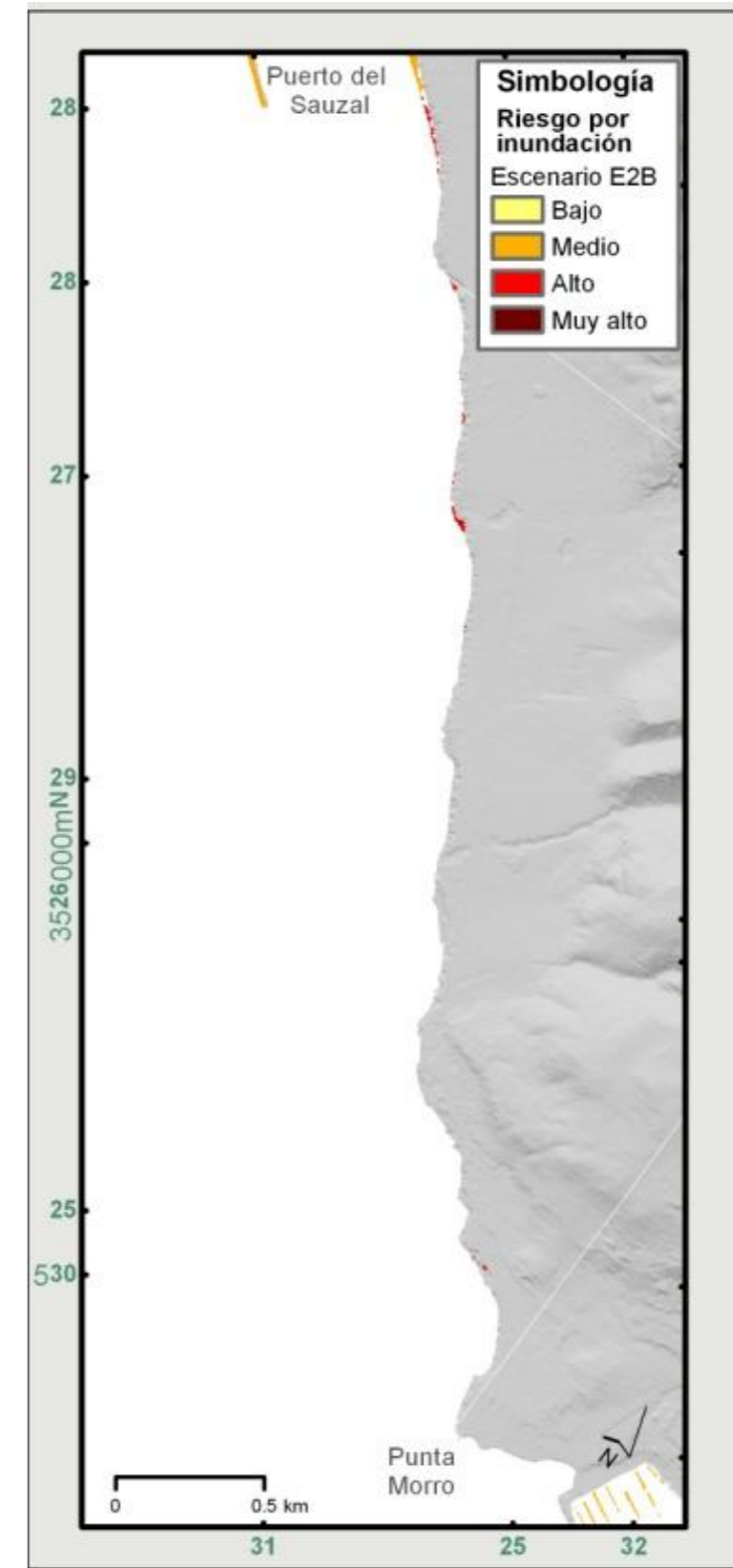
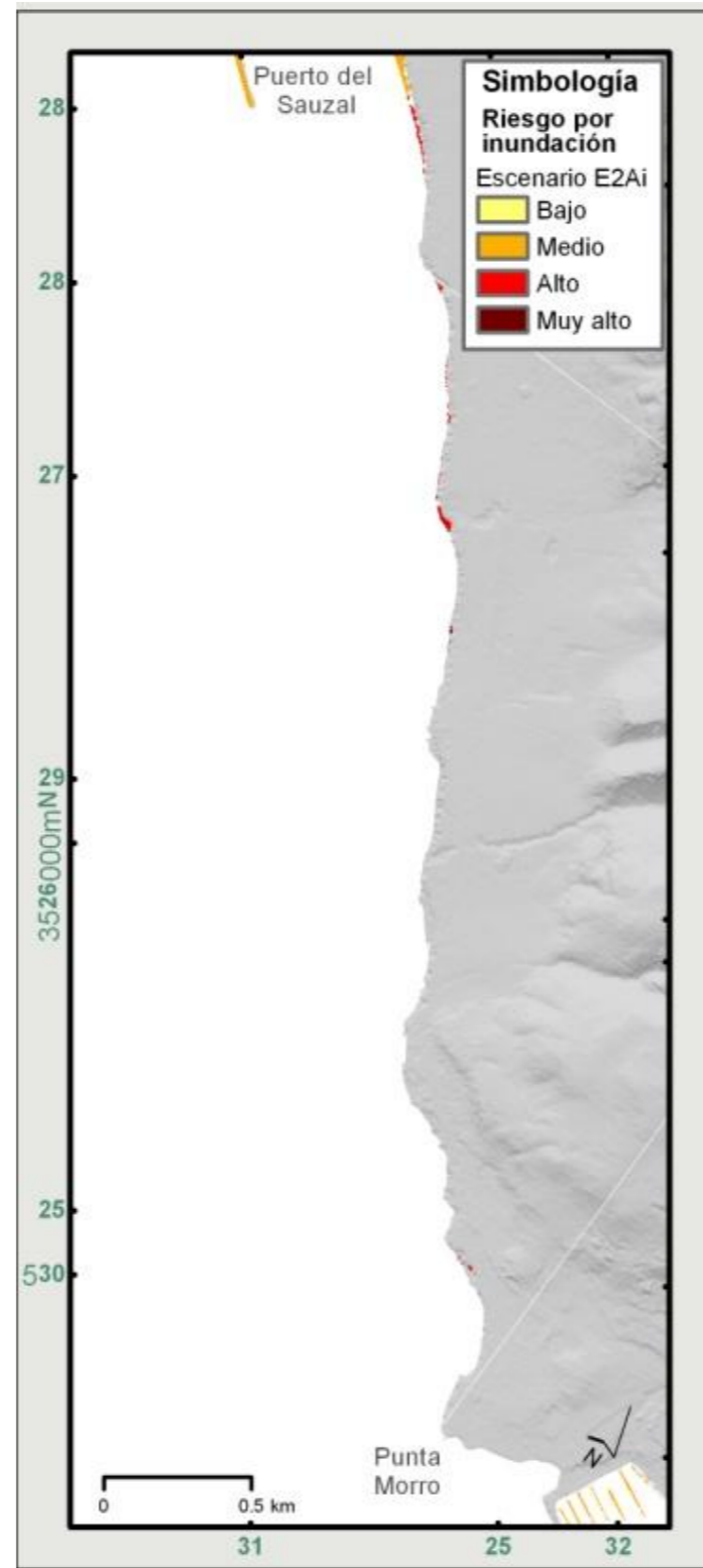
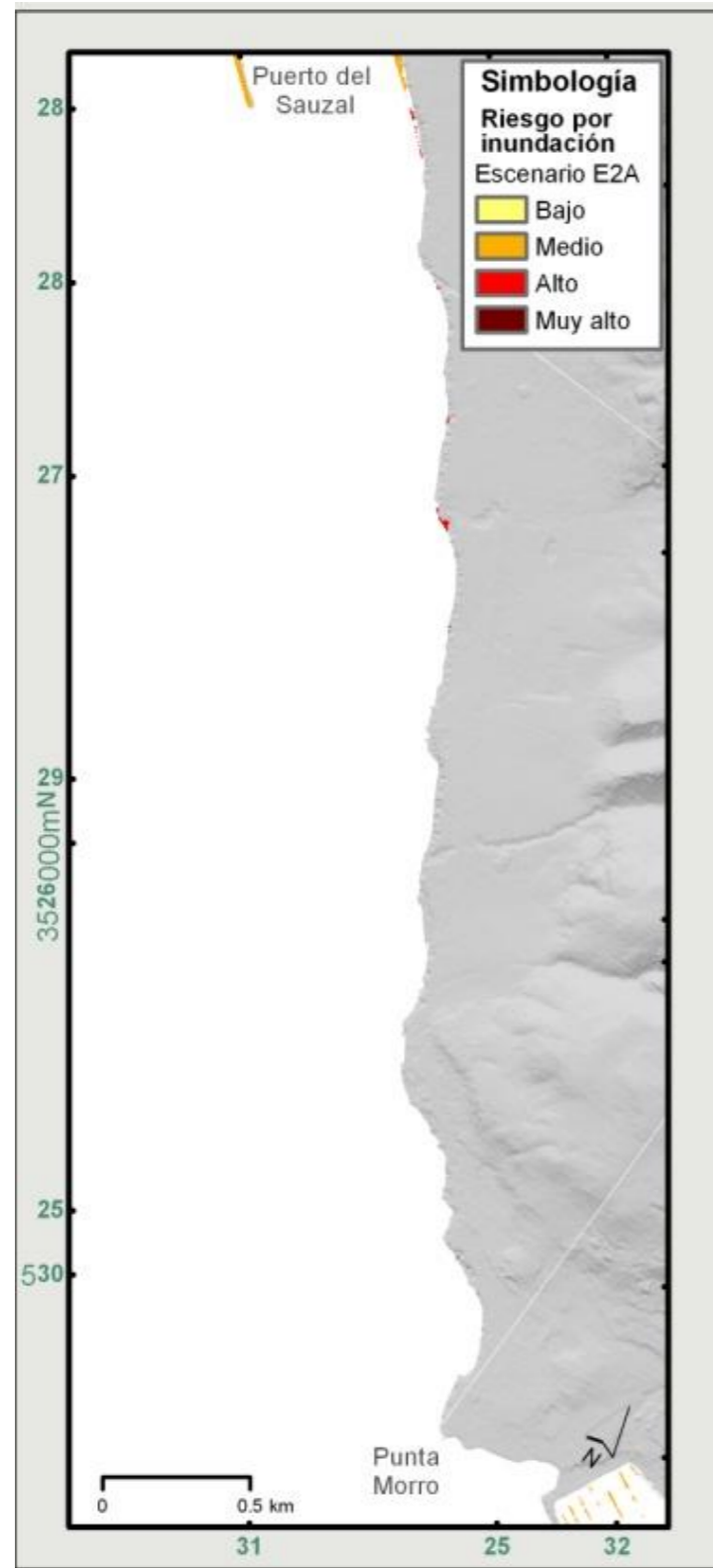


Figura 43. Mapas de riesgo de inundación (escenarios E2) en la Zona 2.

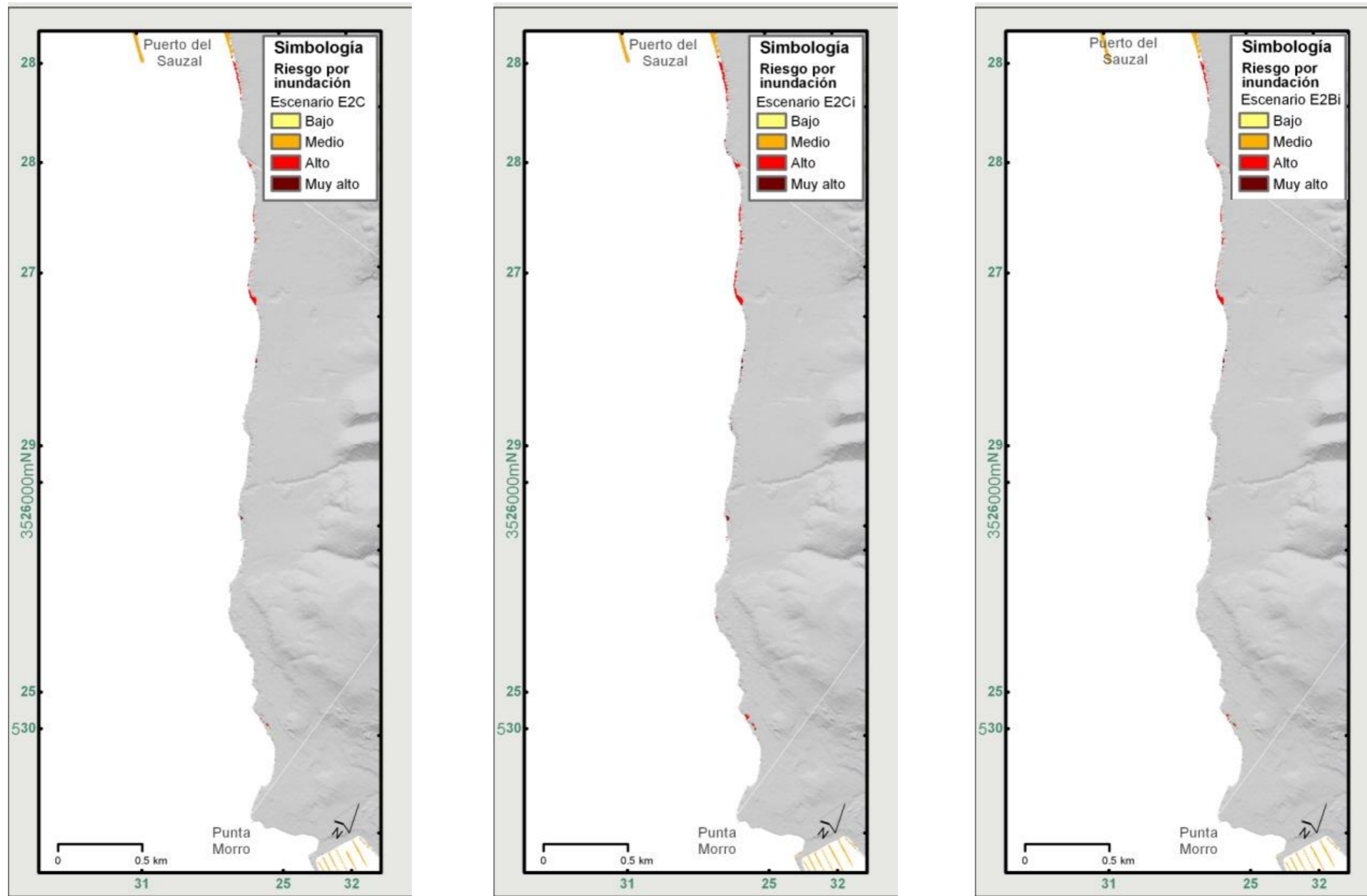


Figura 44. Mapas de riesgo de inundación en la Zona 2, tomando en cuenta la incertidumbre asociada a la amenaza (escenarios E2+i).

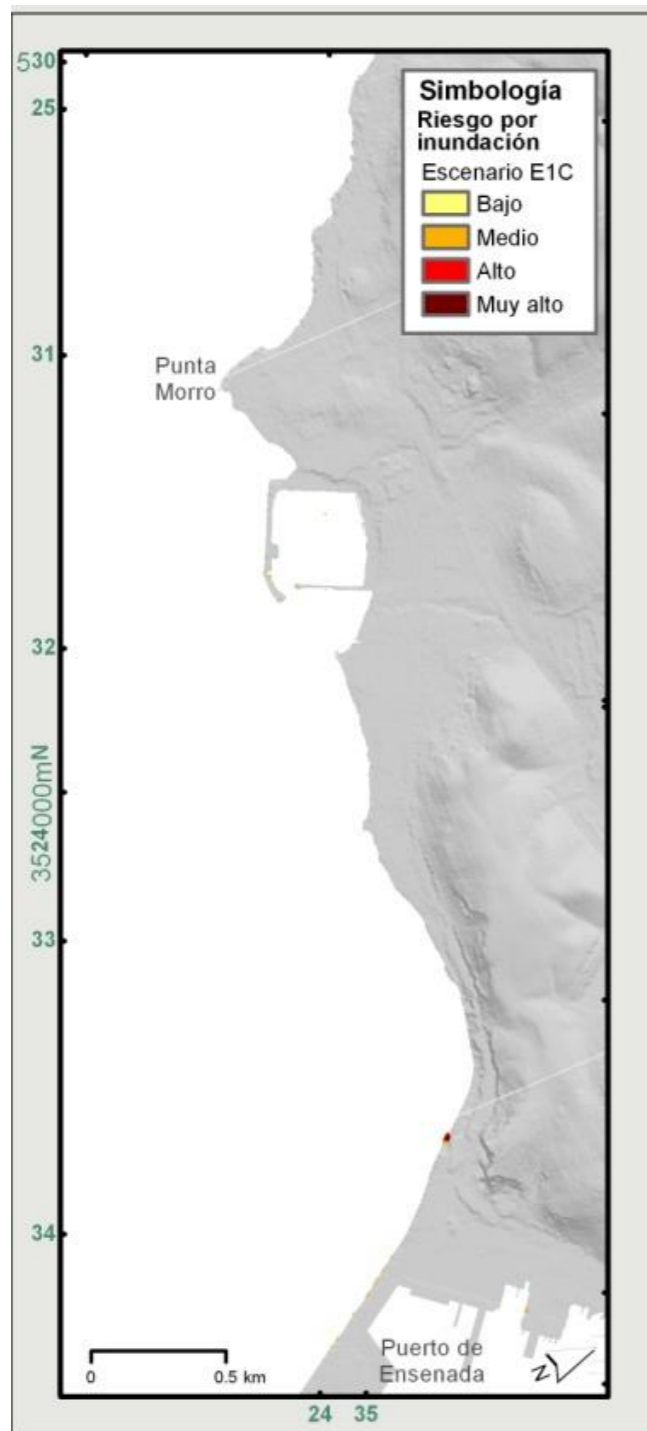


Figura 45. Mapas de riesgo de inundación(escenarios E1) en la Zona 3.

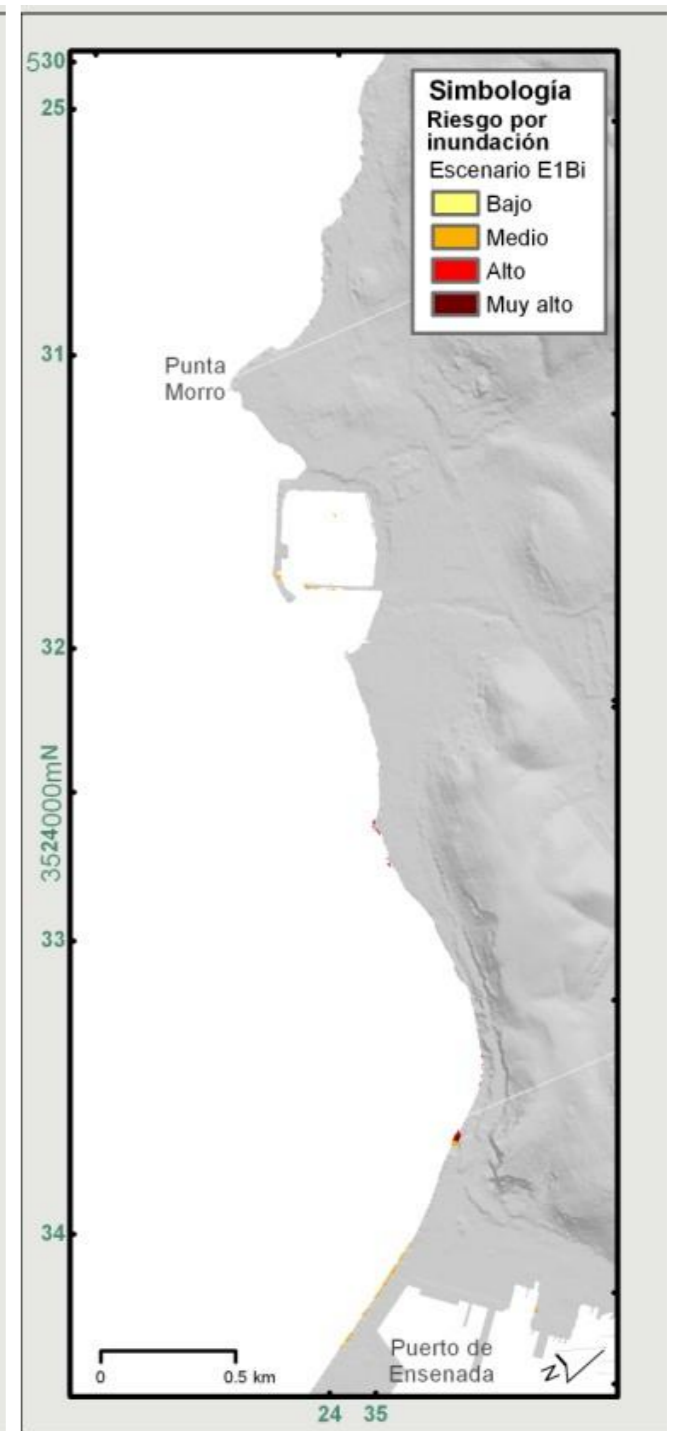
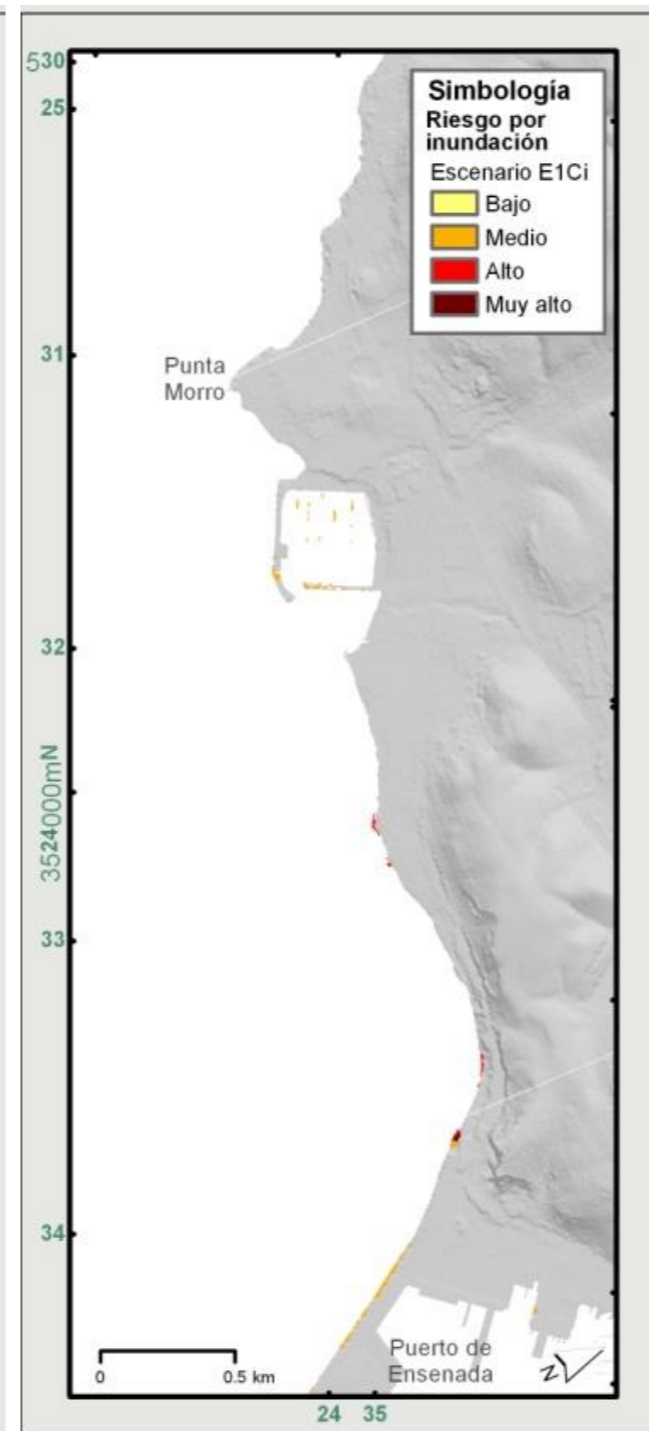
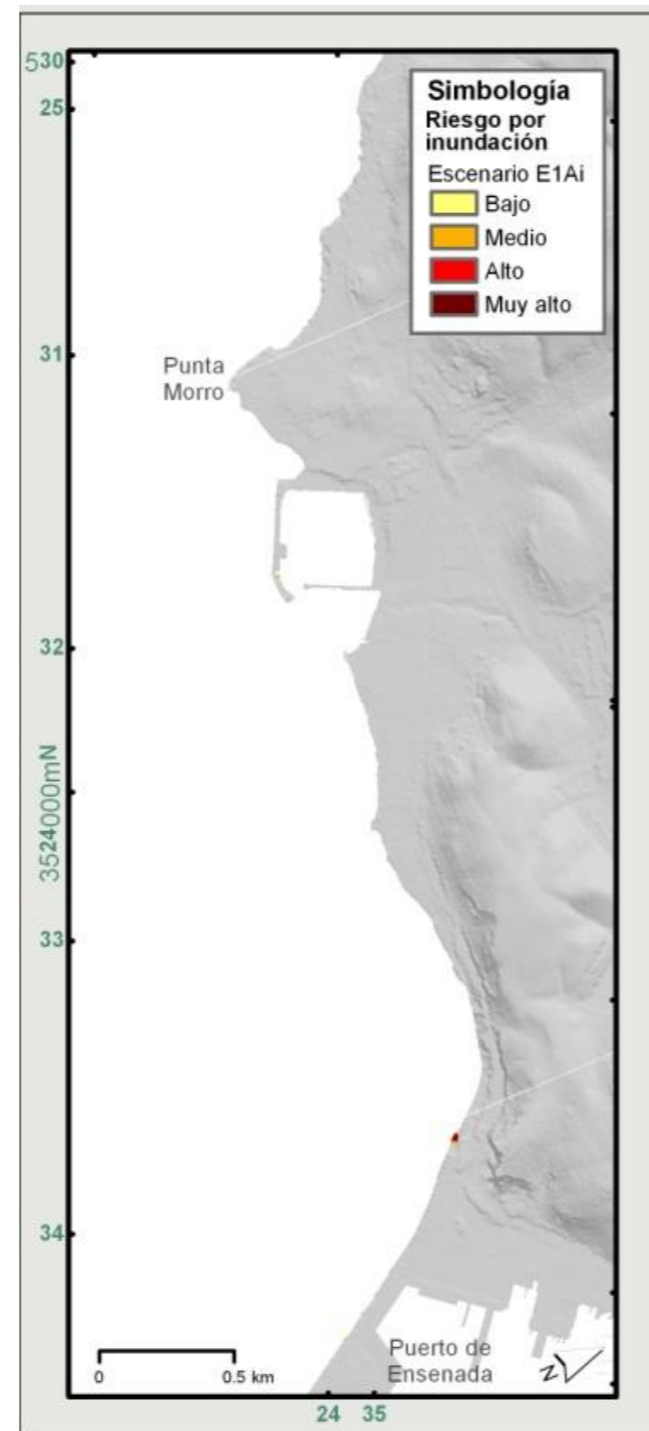


Figura 46. Mapas de riesgo de inundación en la Zona 3, tomando en cuenta la incertidumbre asociada a la amenaza (escenarios E1+i).

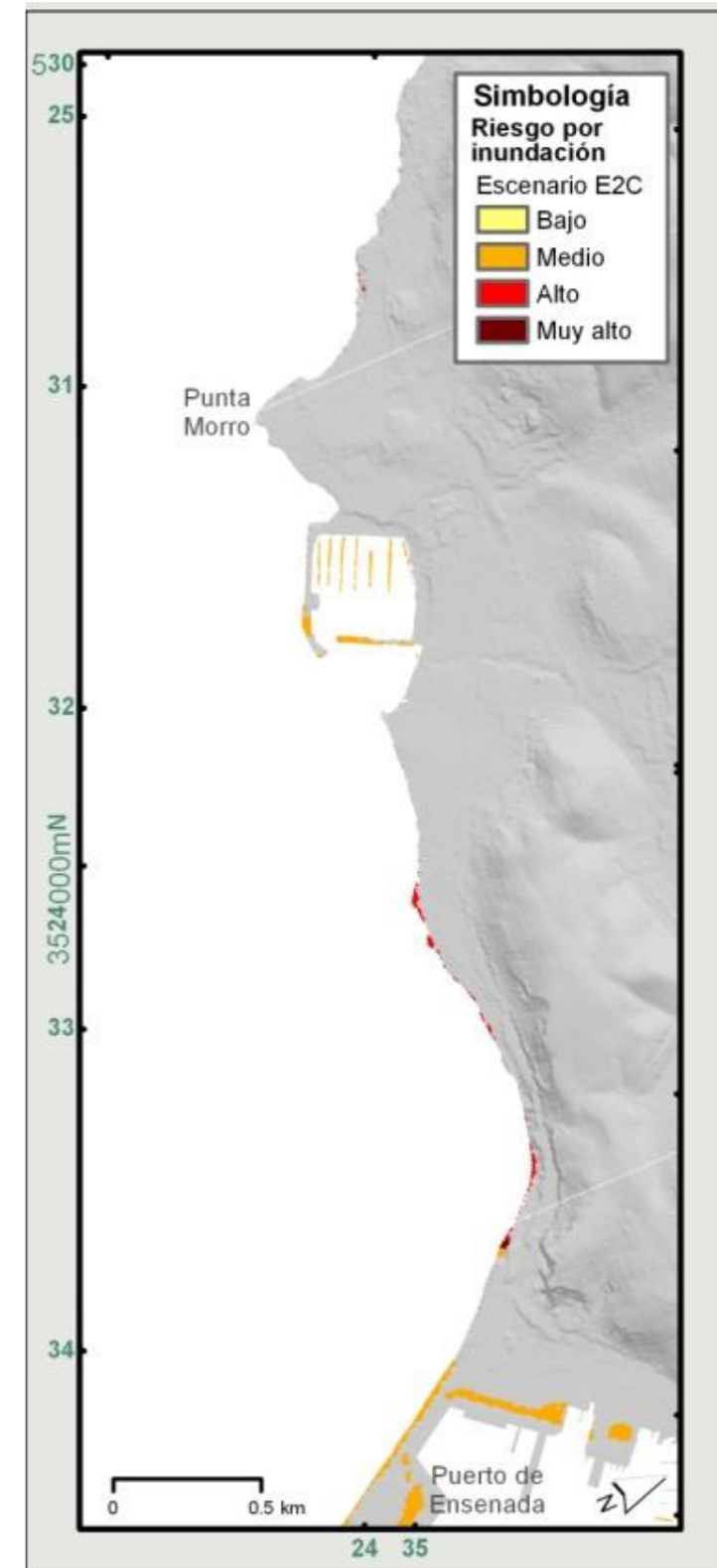
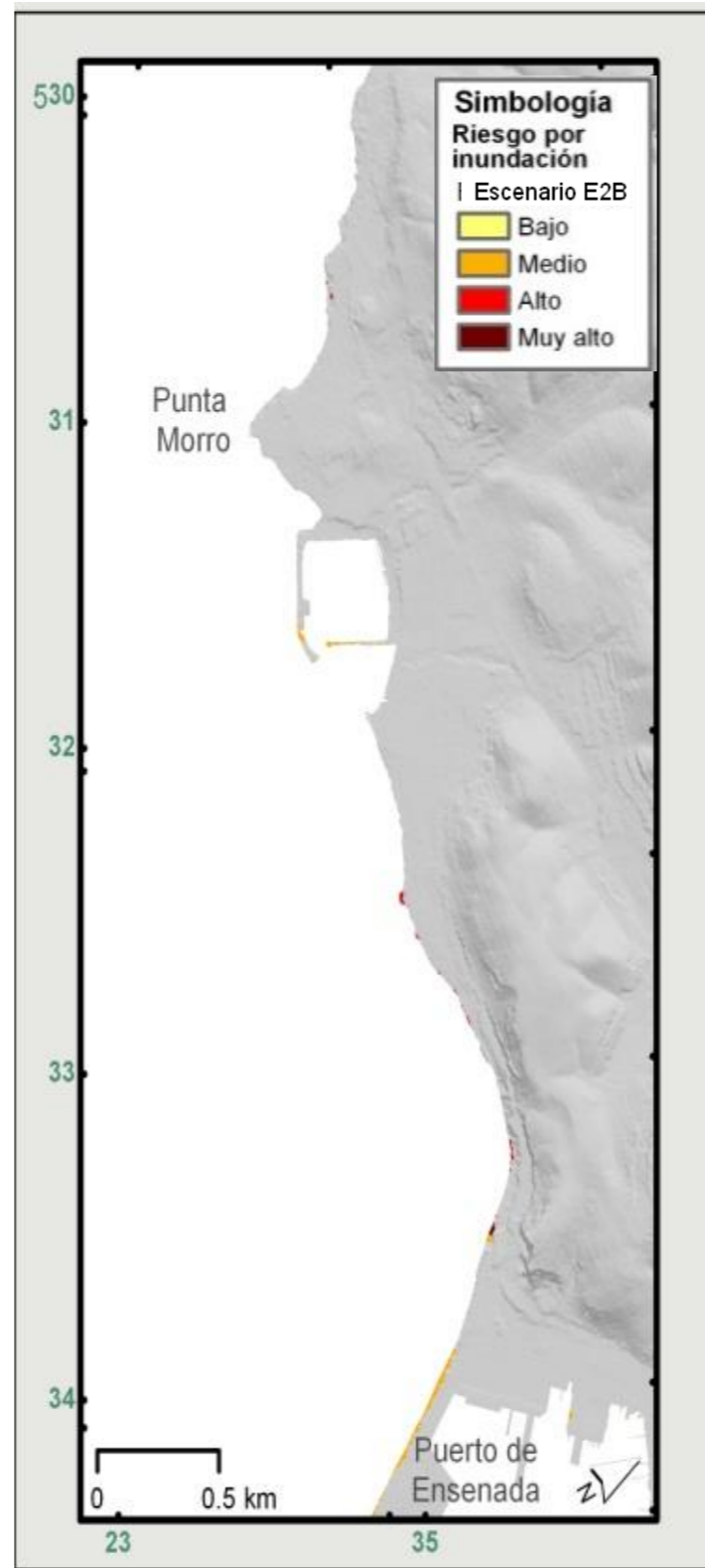
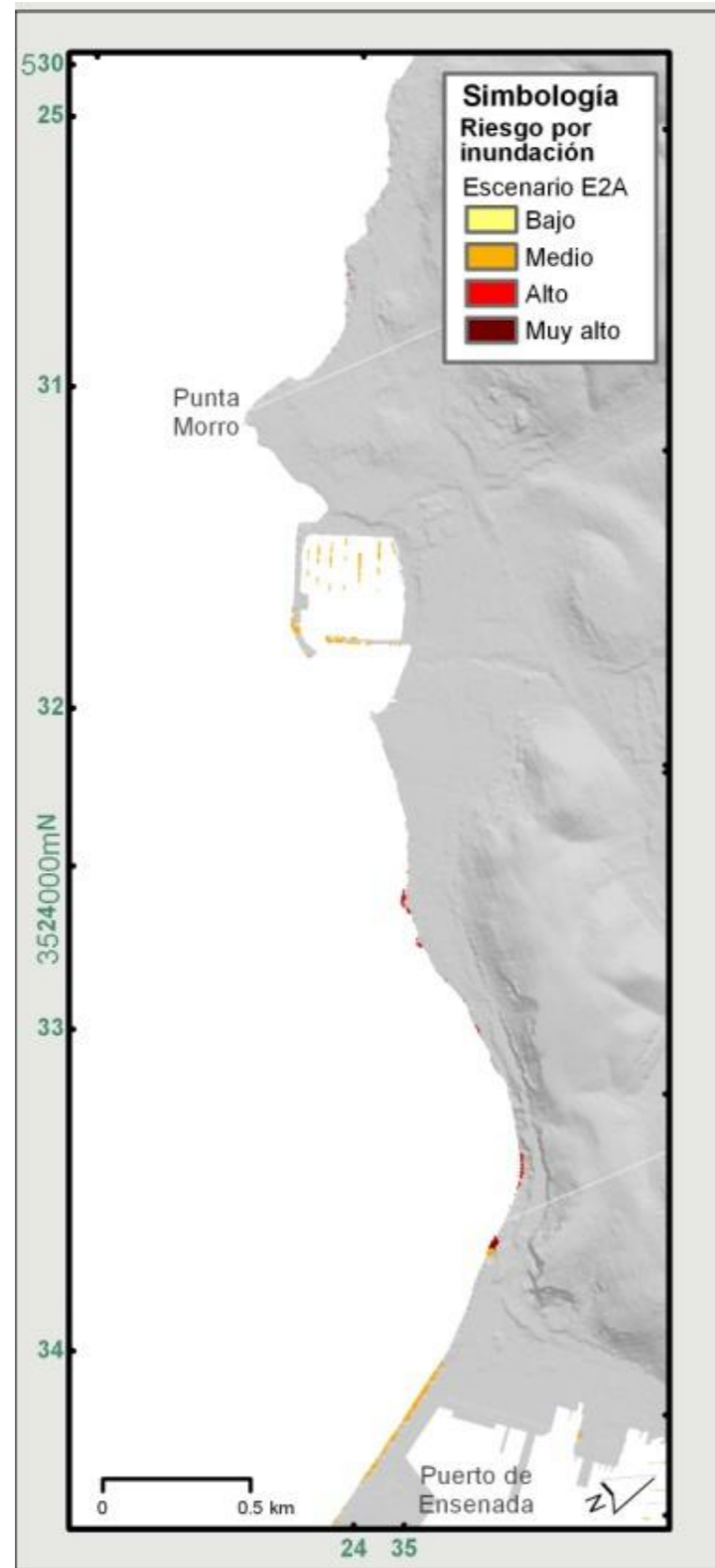


Figura 47. Mapas de riesgo de inundación (escenarios E2) en la Zona 3.

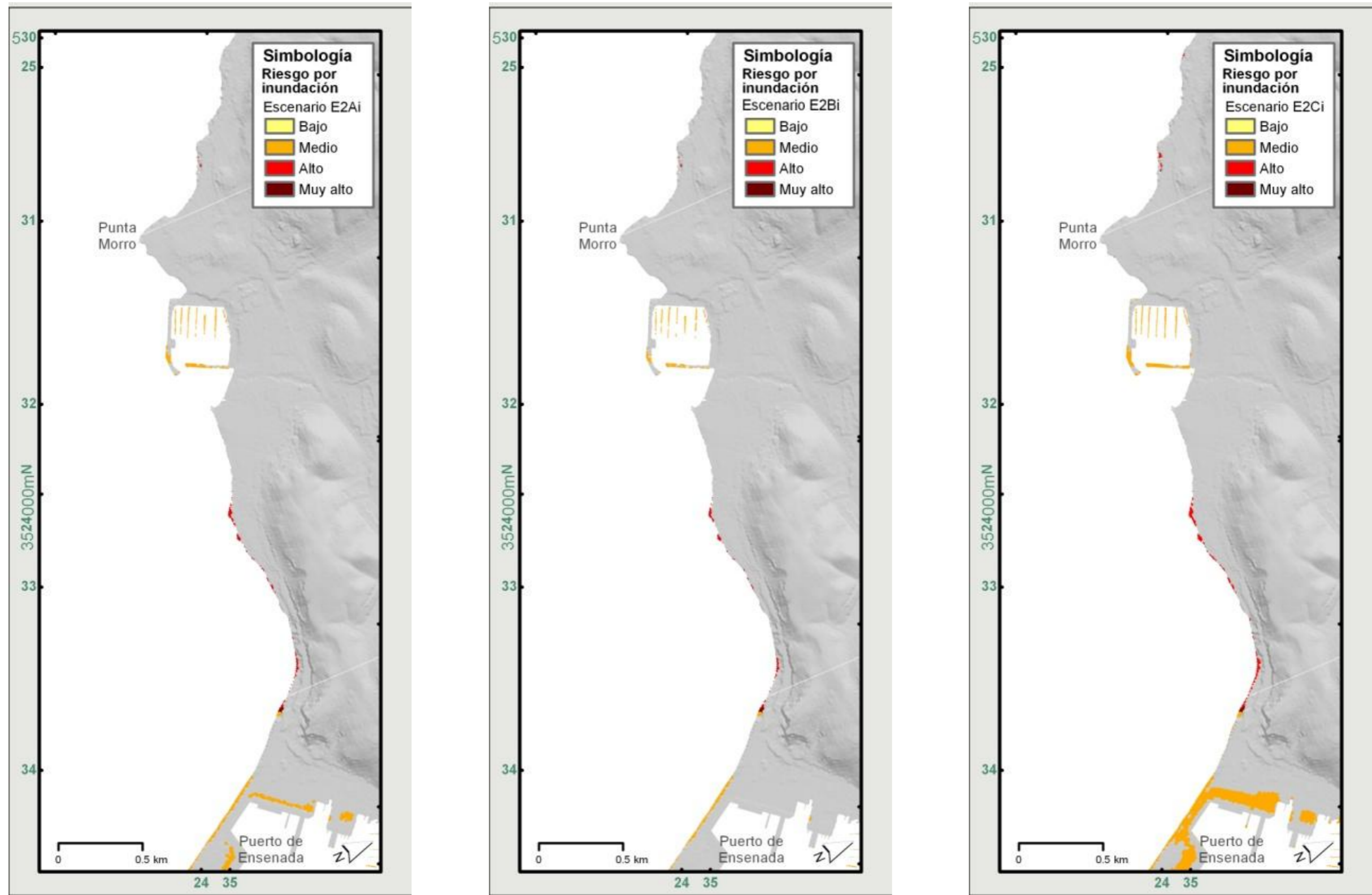


Figura 48. Mapas de riesgo de inundación en la Zona 3, tomando en cuenta la incertidumbre asociada a la amenaza (escenarios E2+i).

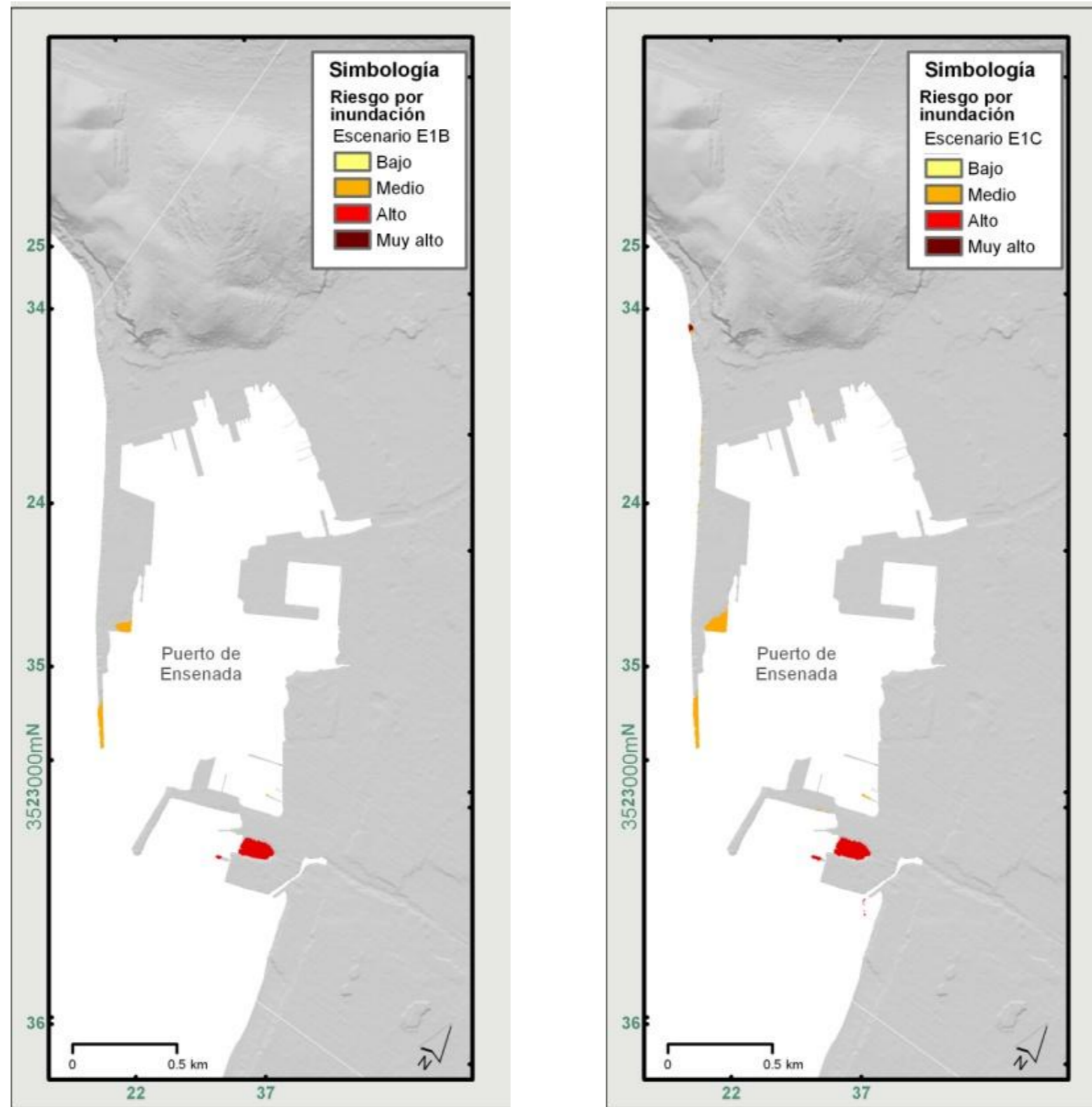


Figura 49. Mapas de riesgo de inundación (escenarios E1) en la Zona 4.

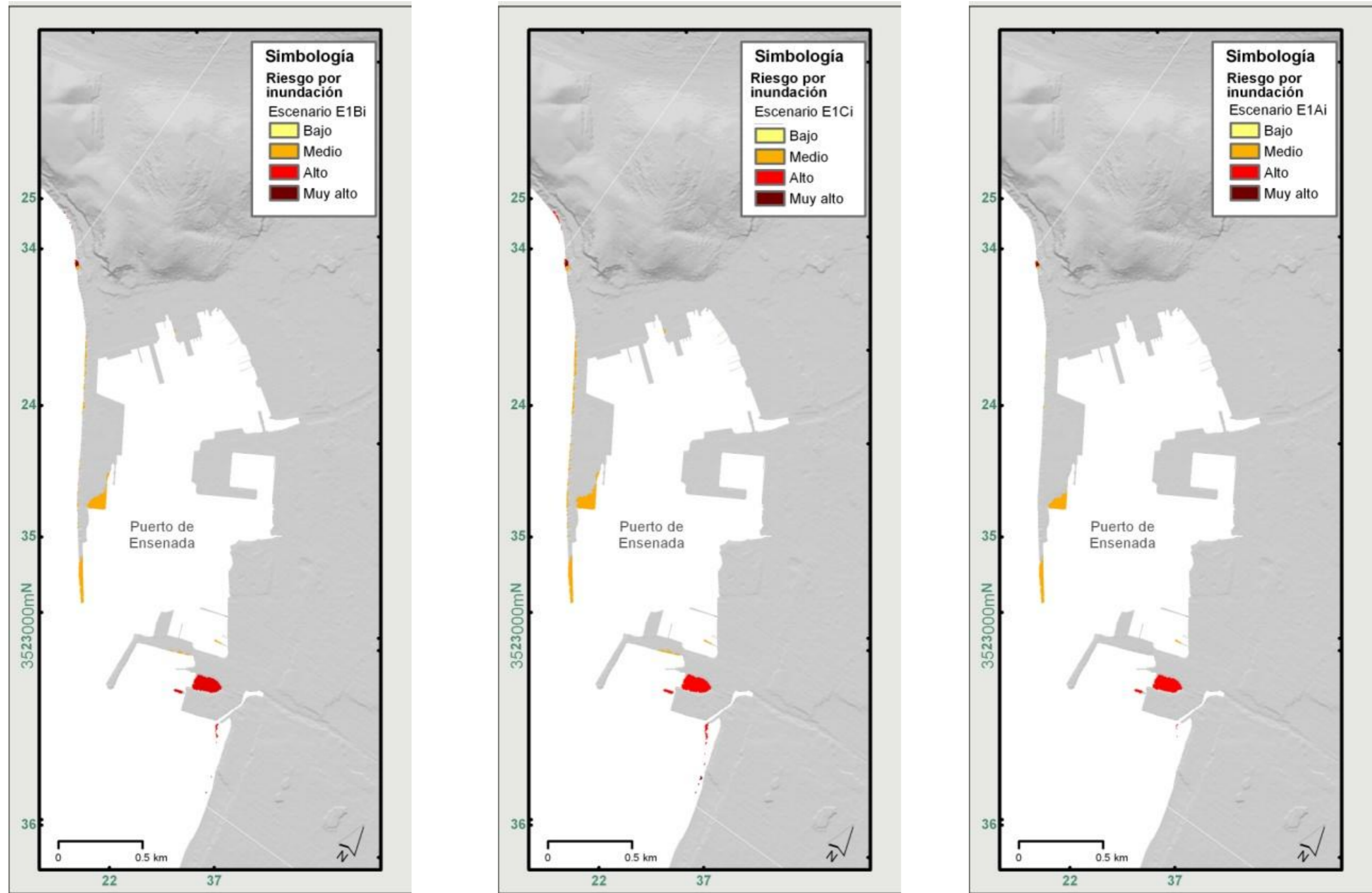


Figura 50. Mapas de riesgo de inundación en la Zona 4, tomando en cuenta la incertidumbre asociada a la amenaza (escenarios E1+i).

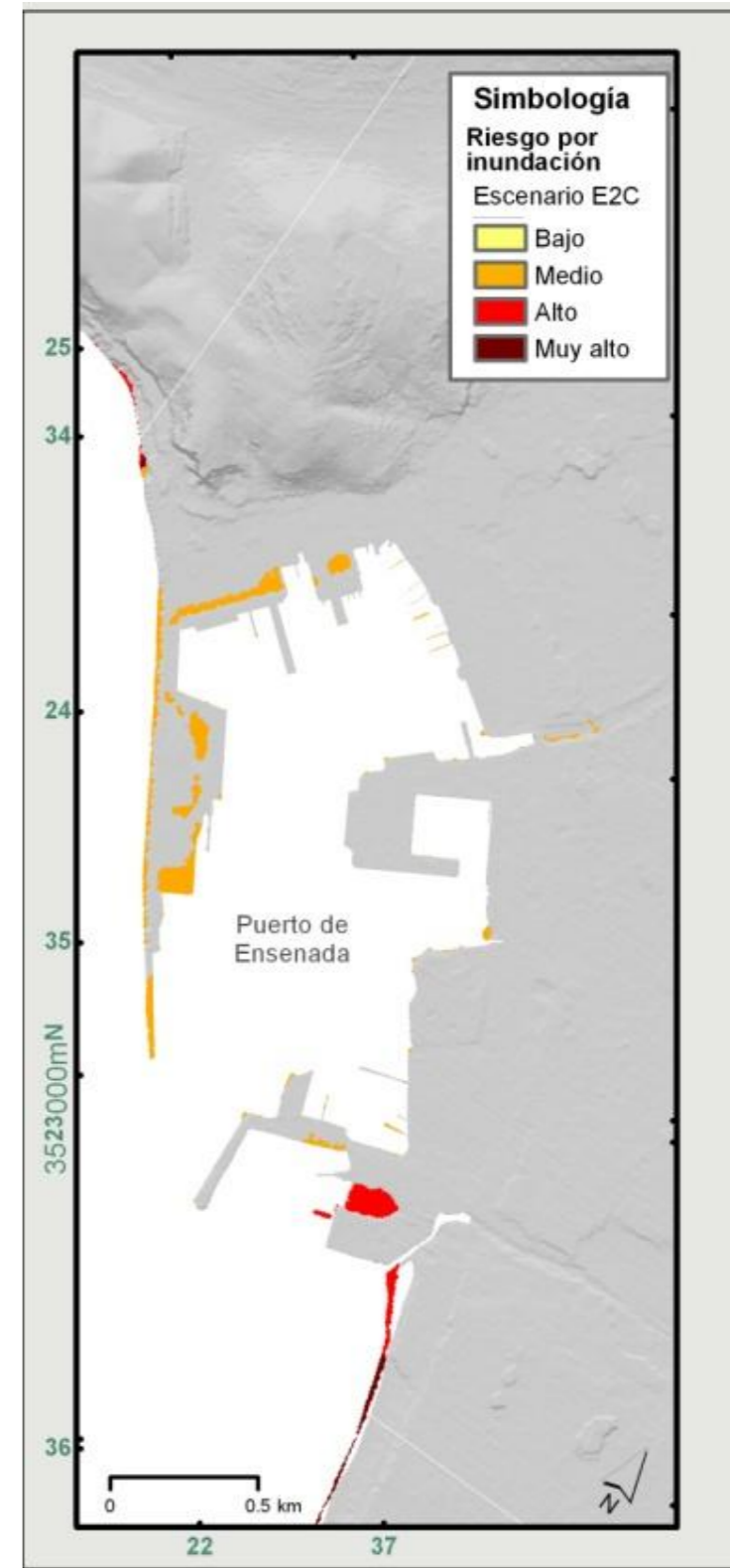
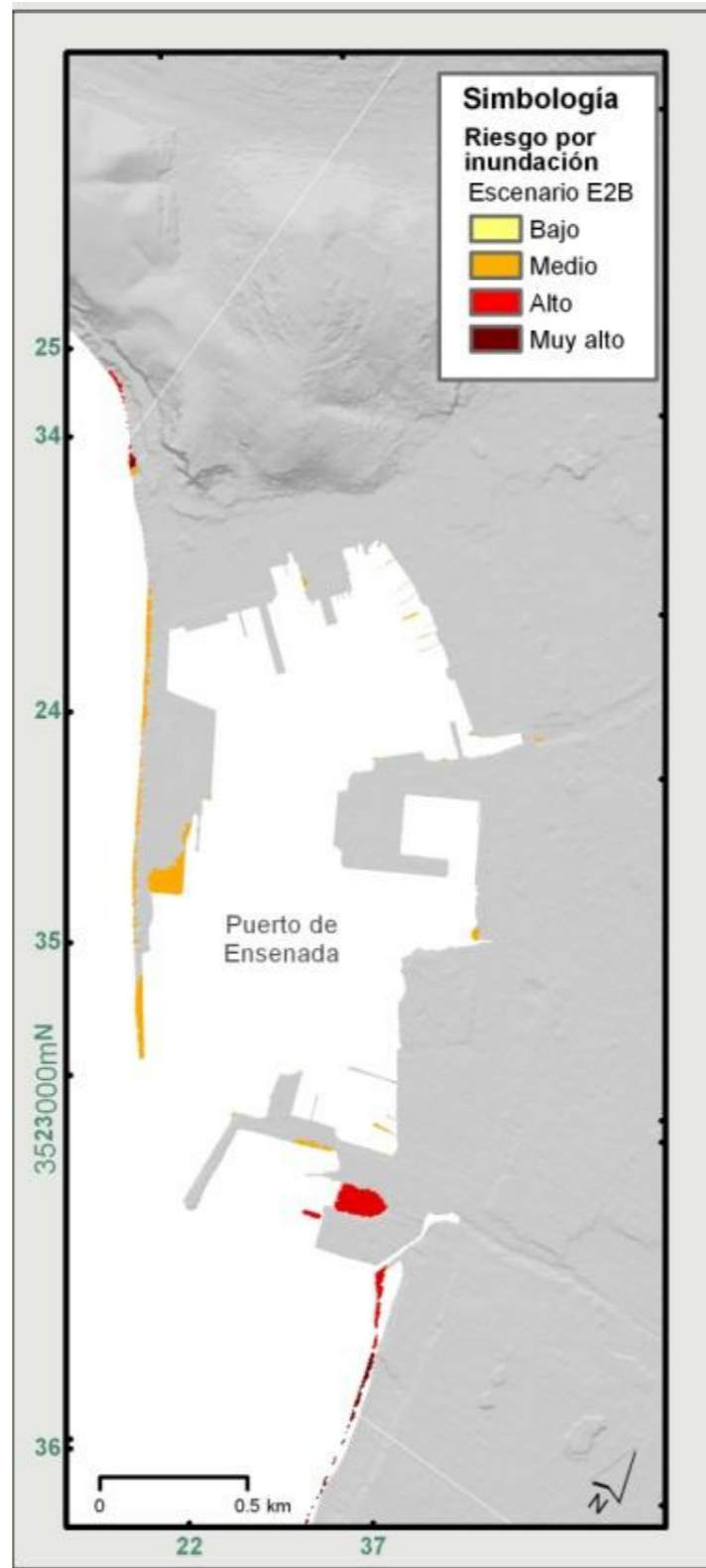
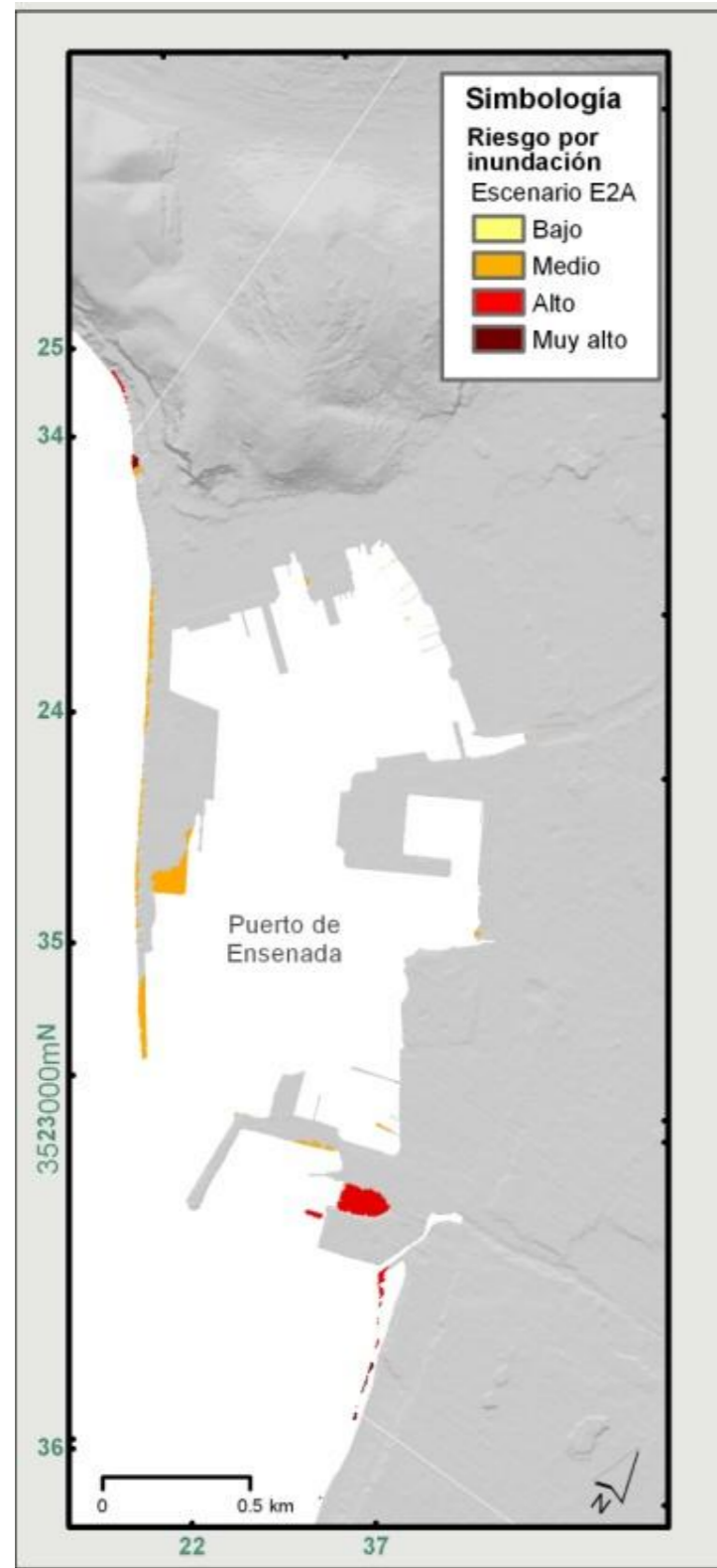


Figura 51. Mapas de riesgo de inundación (escenarios E1) en la Zona 4.

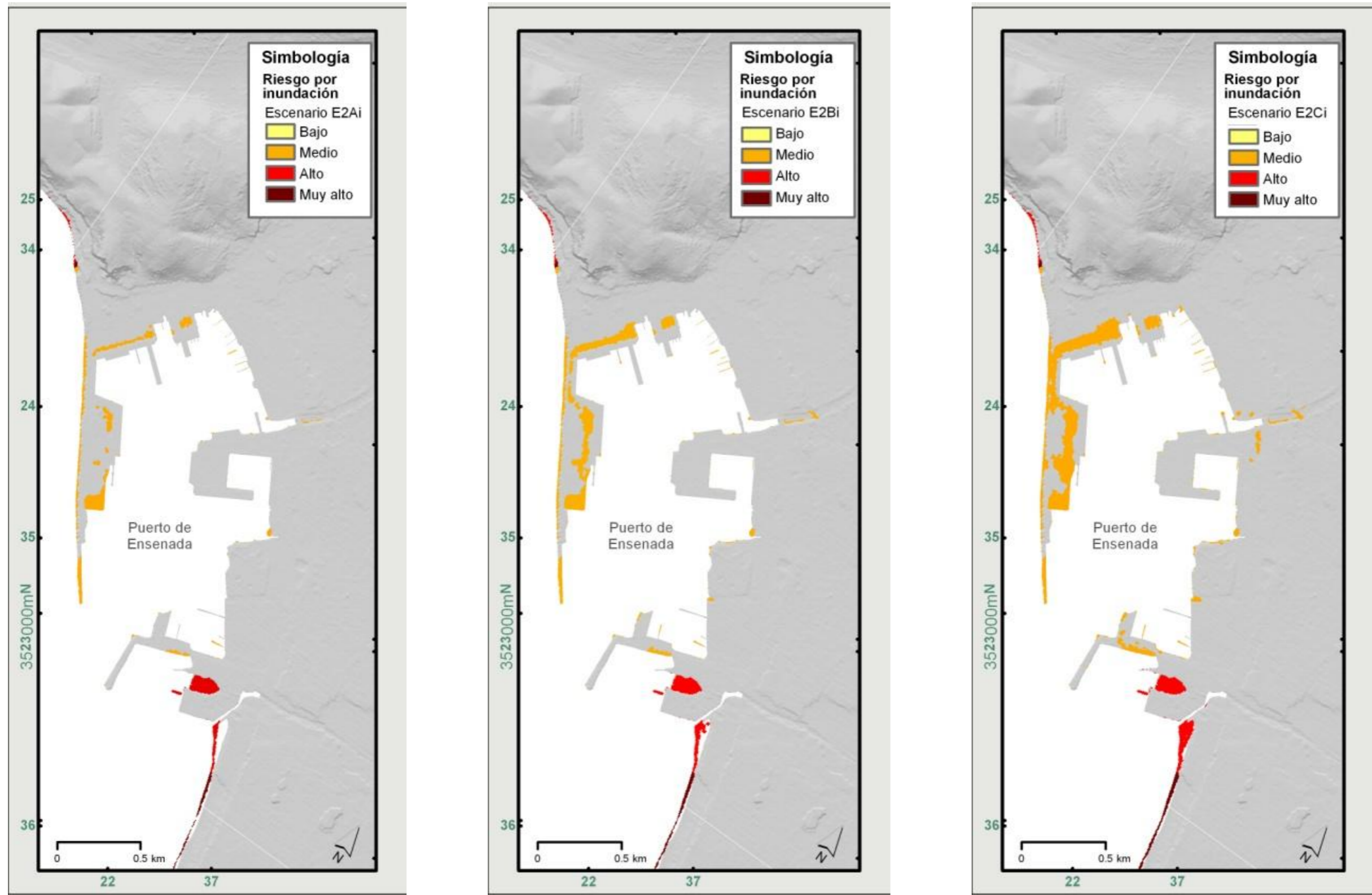


Figura 52. Mapas de riesgo de inundación en la Zona 4, tomando en cuenta la incertidumbre asociada a la amenaza (escenarios E2+i).

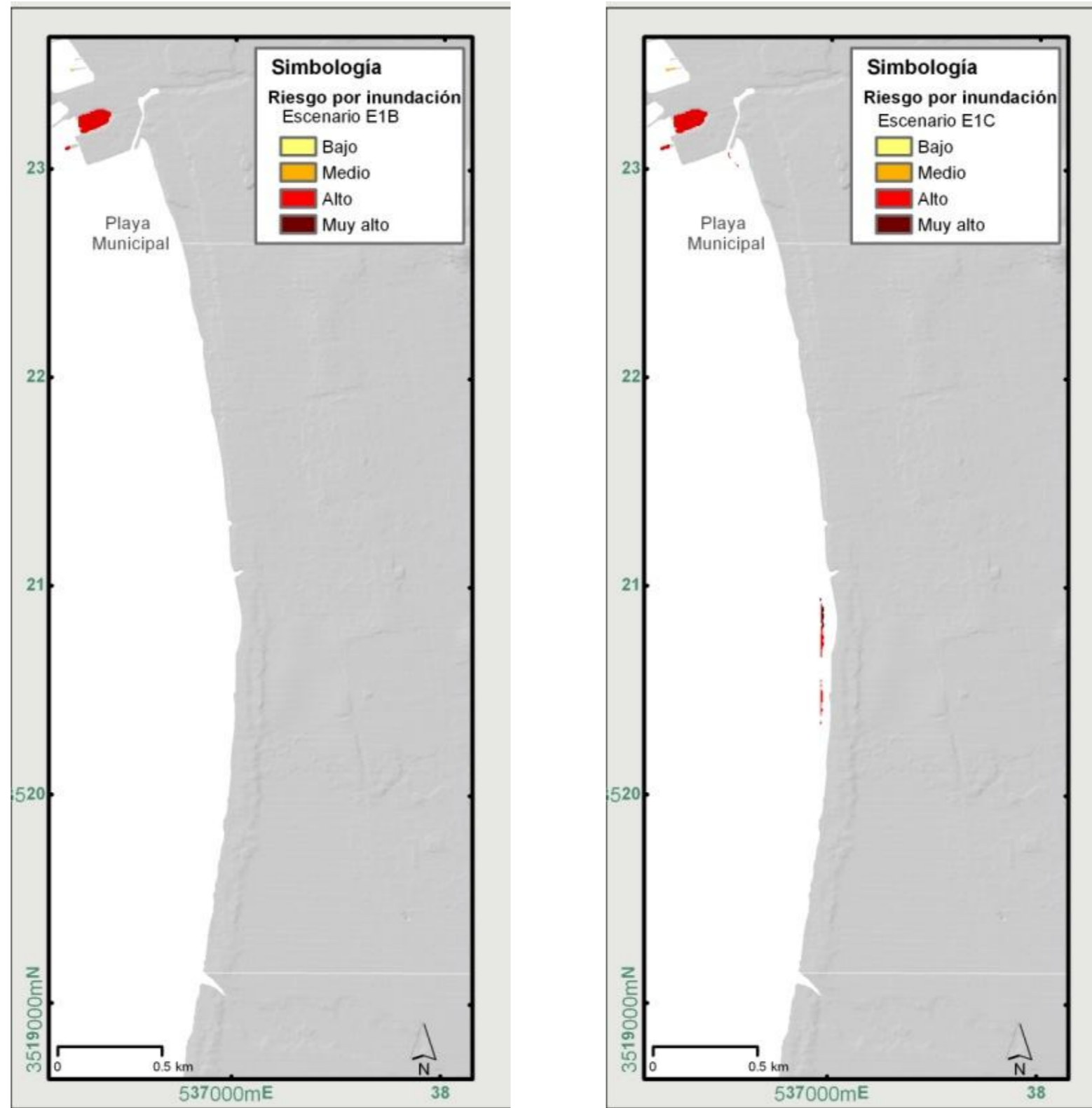


Figura 53. Mapas de riesgo de inundación (escenarios E1) en la Zona 5.

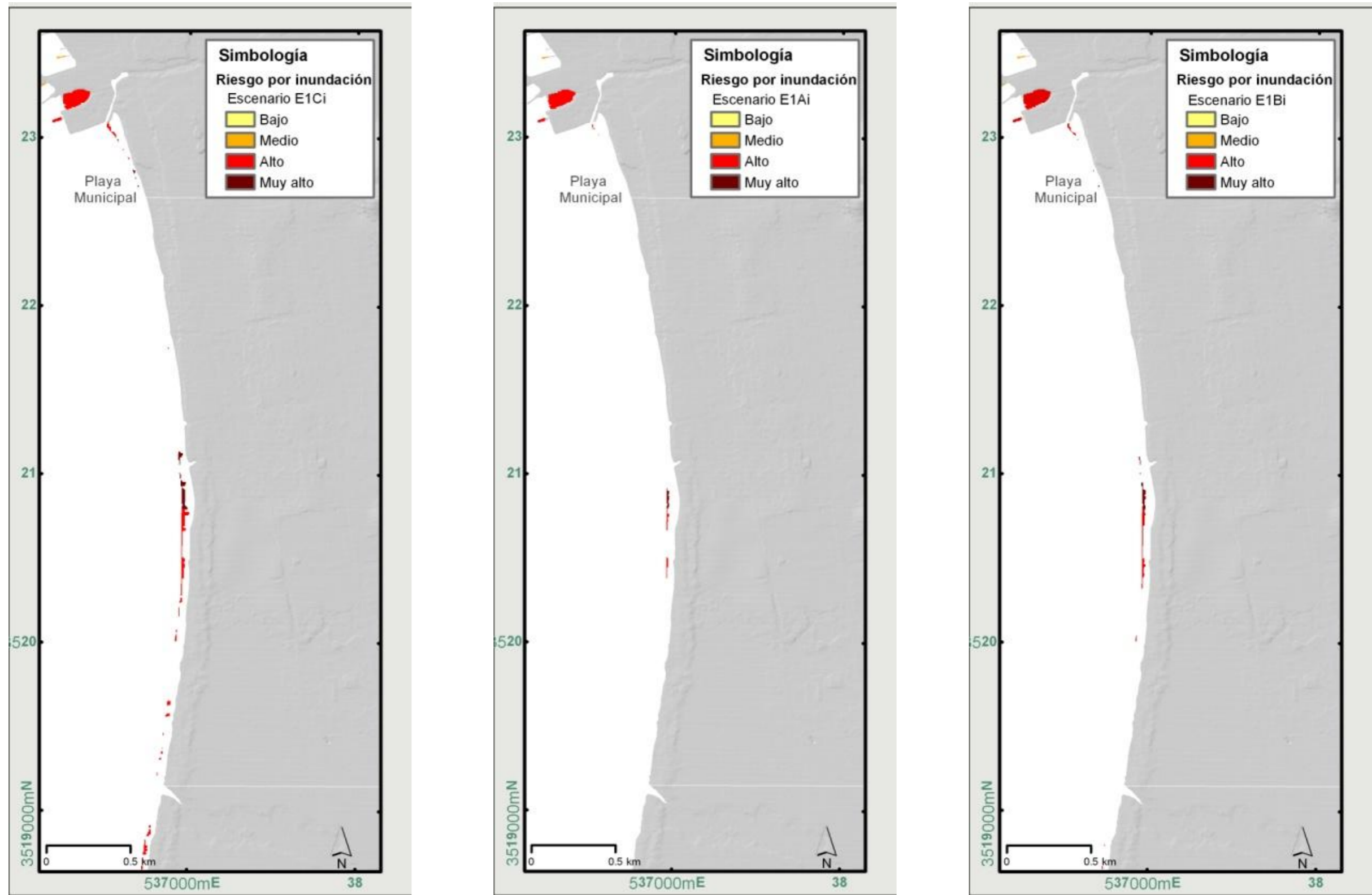


Figura 54. Mapas de riesgo de inundación en la Zona 5, tomando en cuenta la incertidumbre asociada a la amenaza (escenarios E1+i).

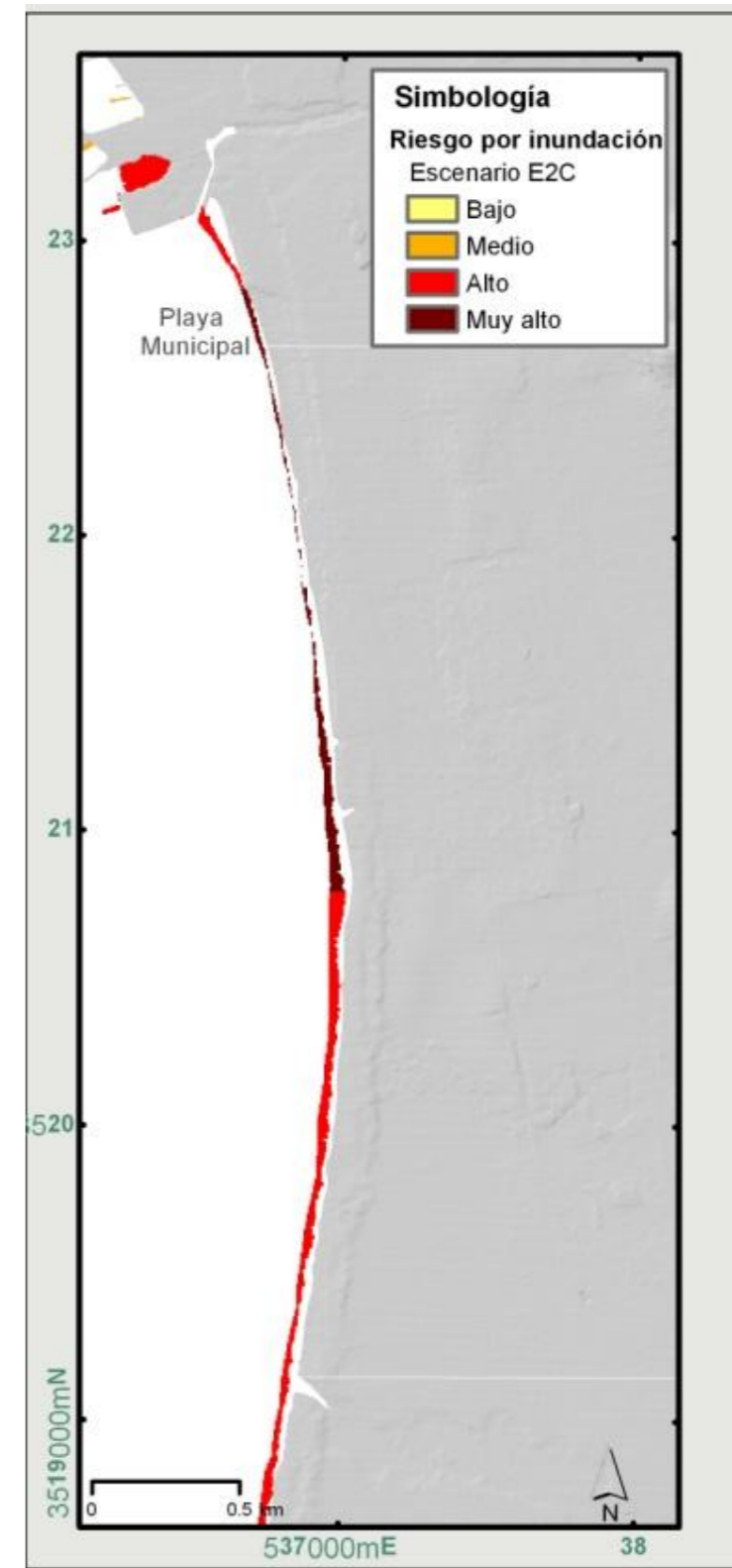
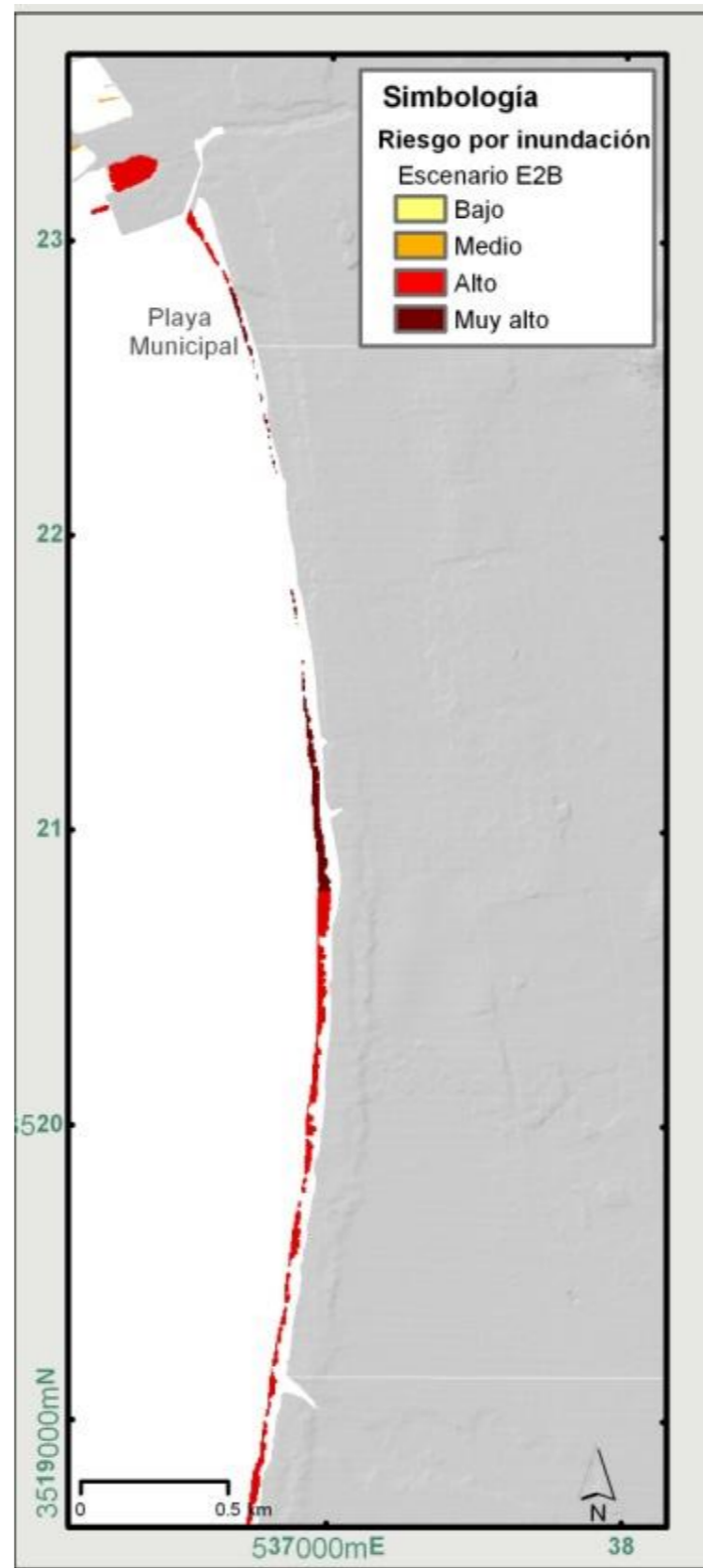
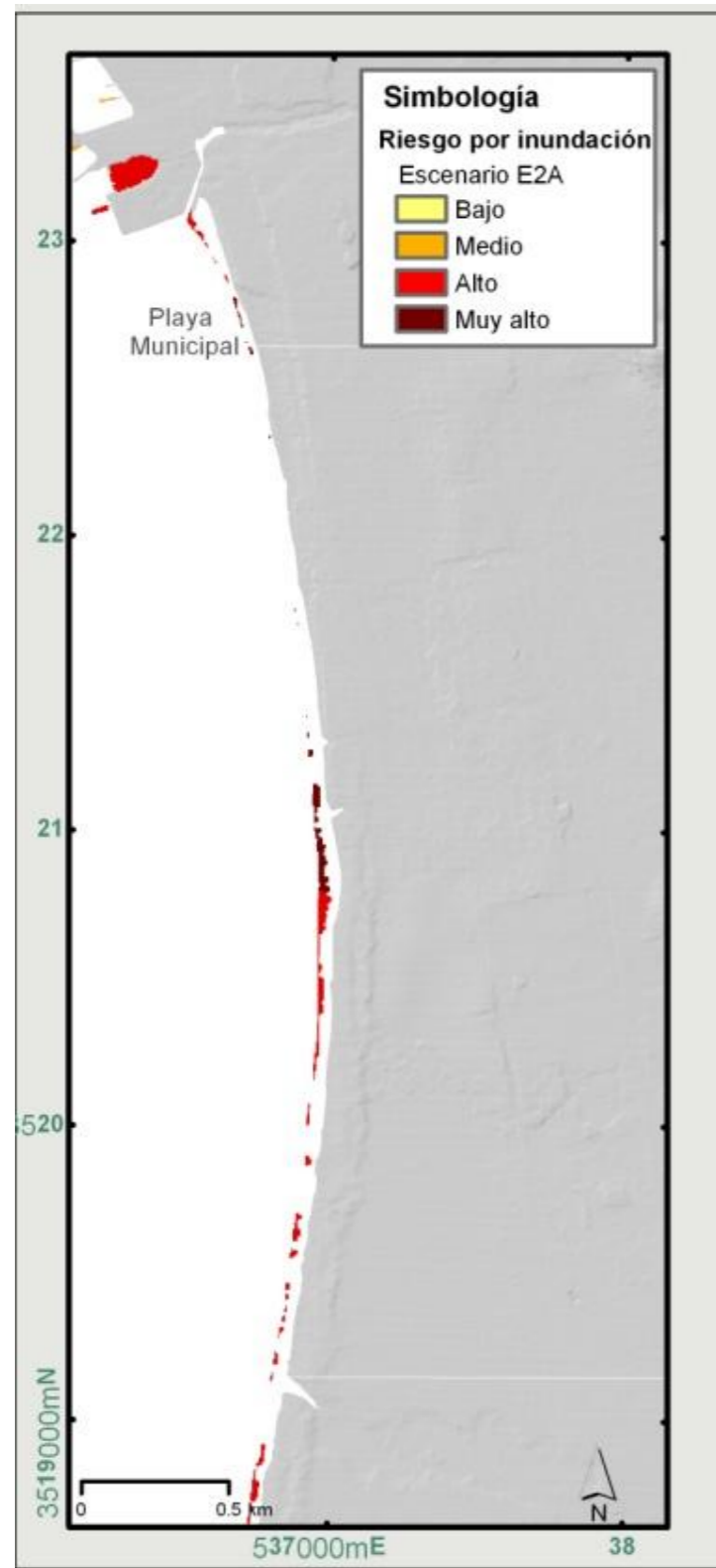


Figura 55. Mapas de riesgo de inundación (escenarios E2) en la Zona 5.

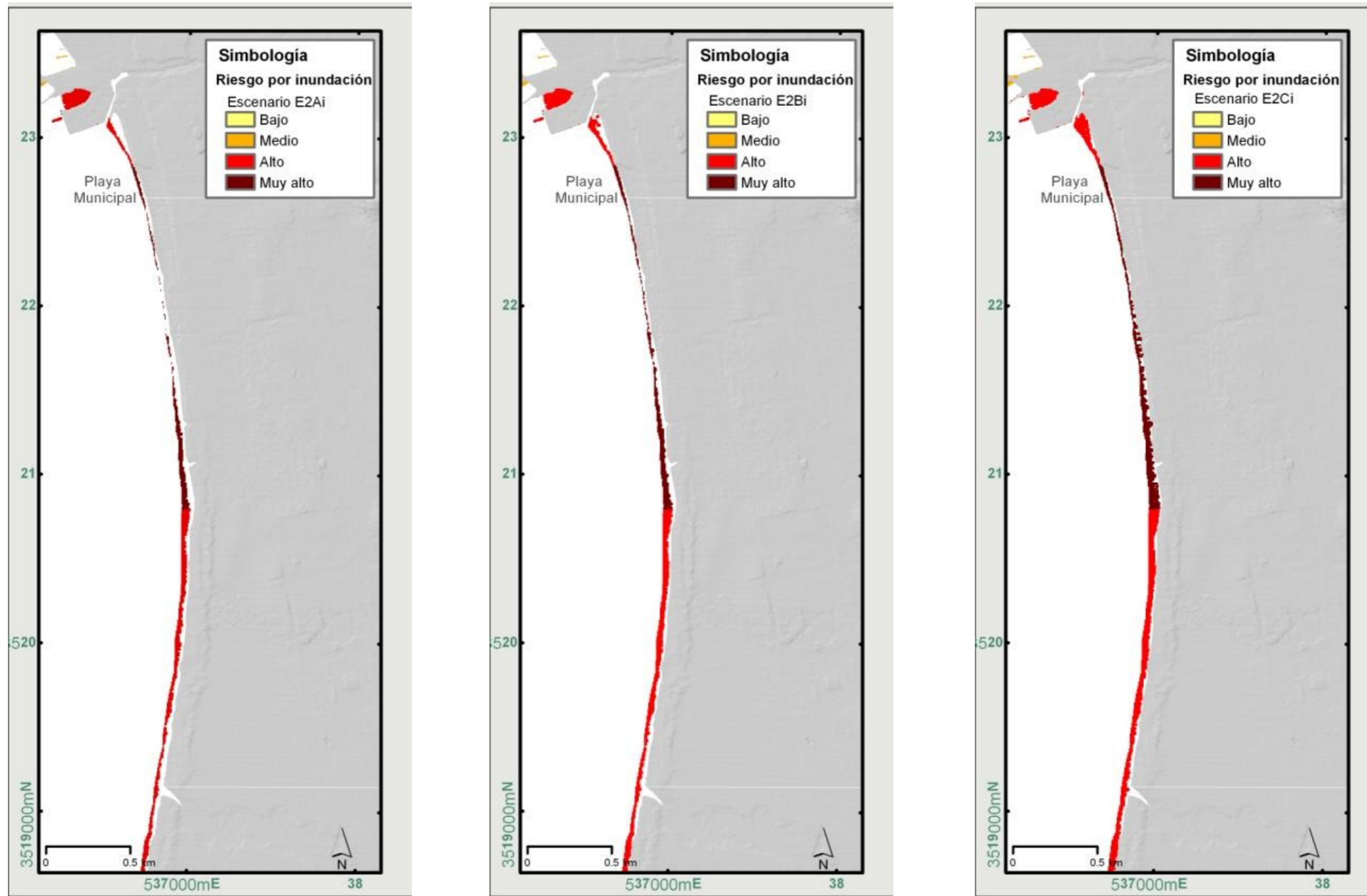


Figura 56. Mapas de riesgo de inundación en la Zona 5, tomando en cuenta la incertidumbre asociada a la amenaza (escenarios E2+i).

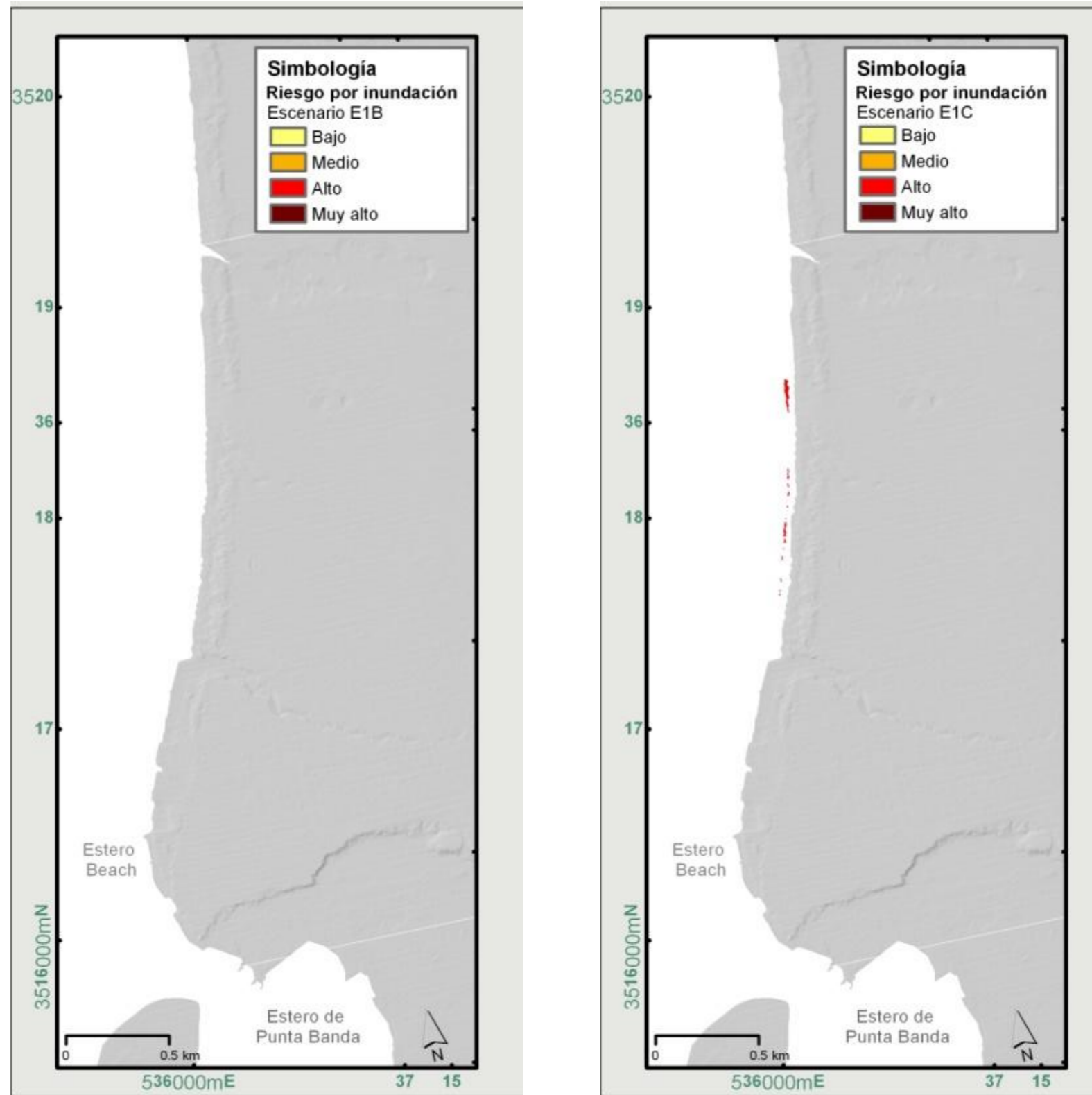


Figura 57. Mapas de riesgo de inundación (escenarios E1) en la Zona 6.

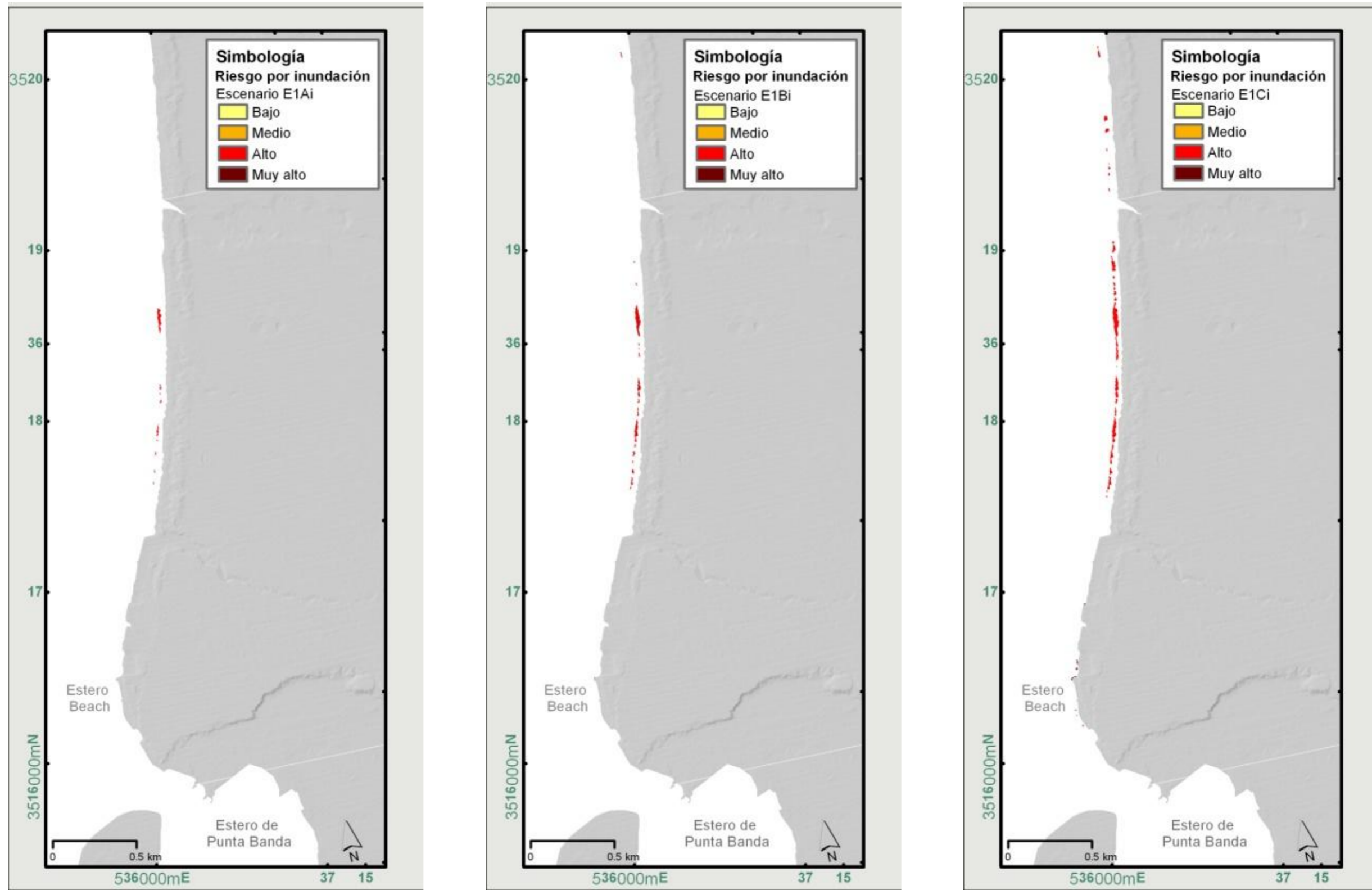


Figura 58. Mapas de riesgo de inundación en la Zona 6, tomando en cuenta la incertidumbre asociada a la amenaza (escenarios E1+i).

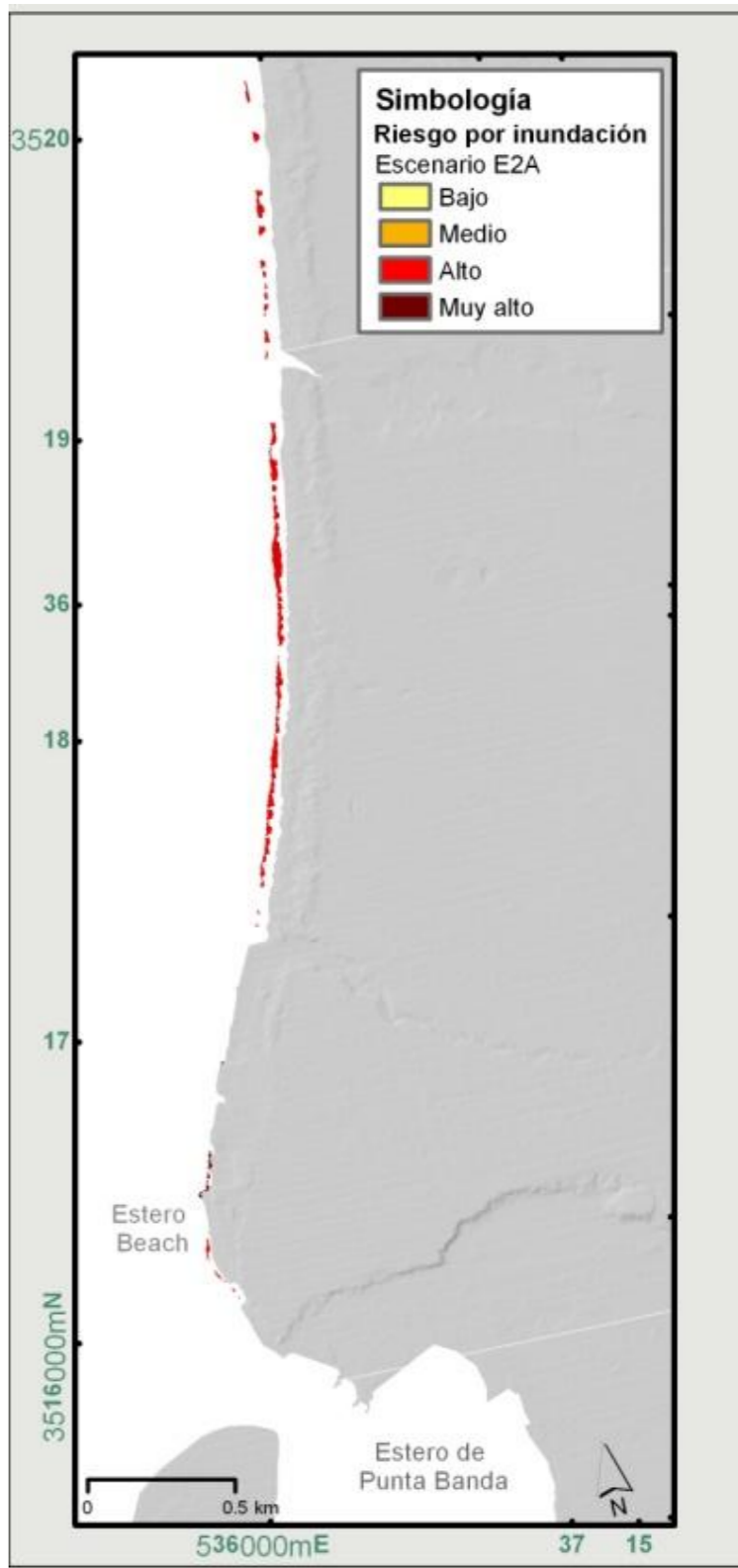
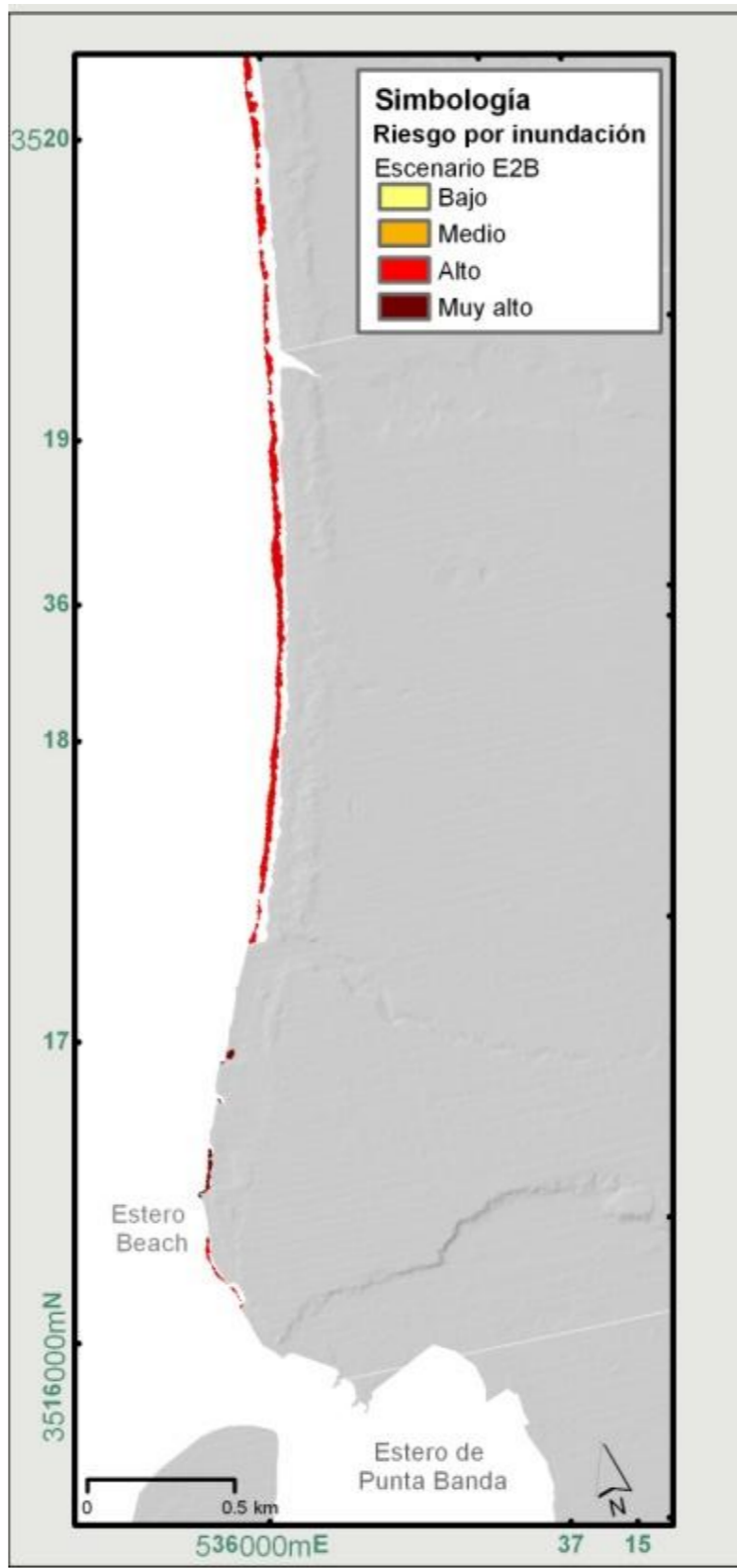
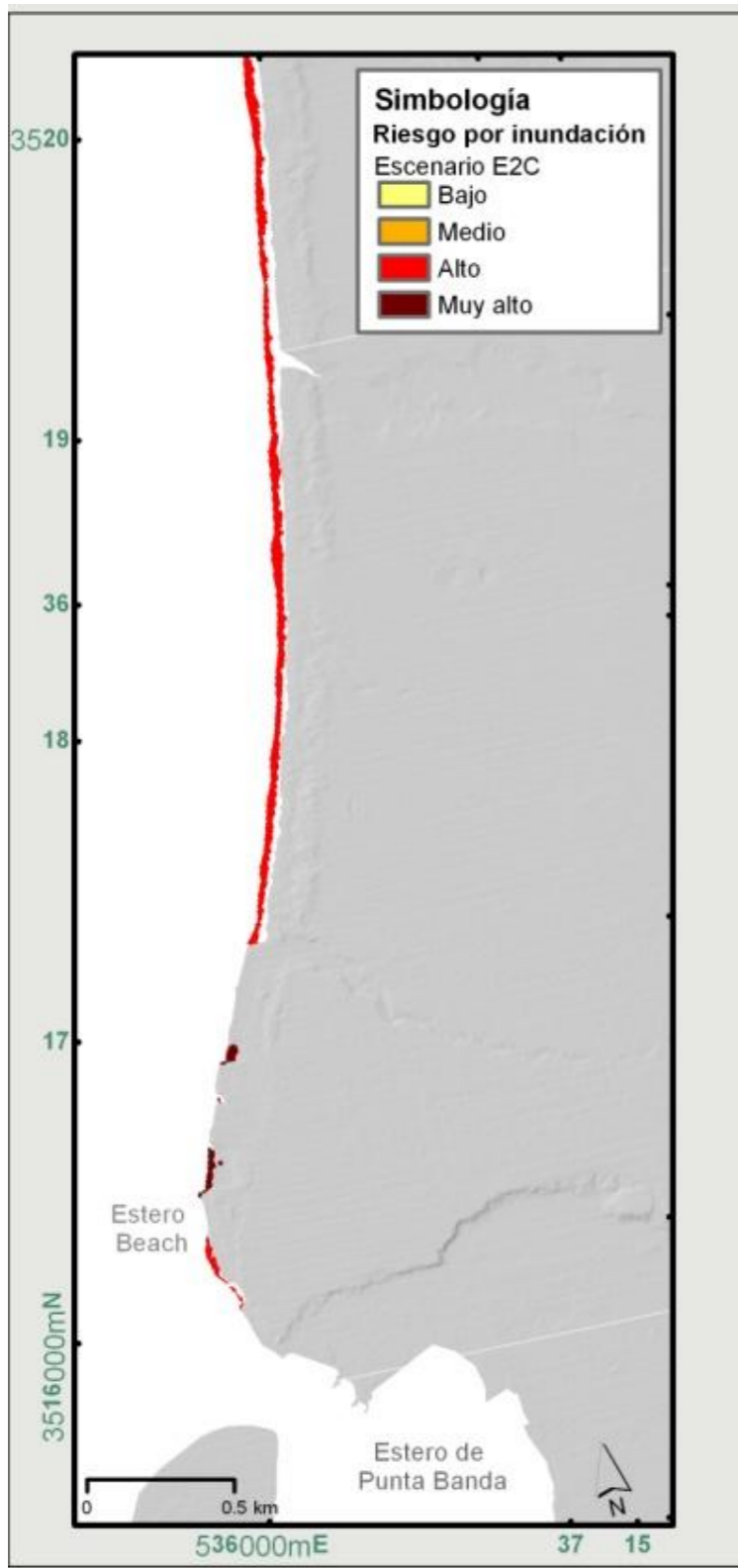


Figura 59. Mapas de riesgo de inundación (escenarios E1) en la Zona 6.

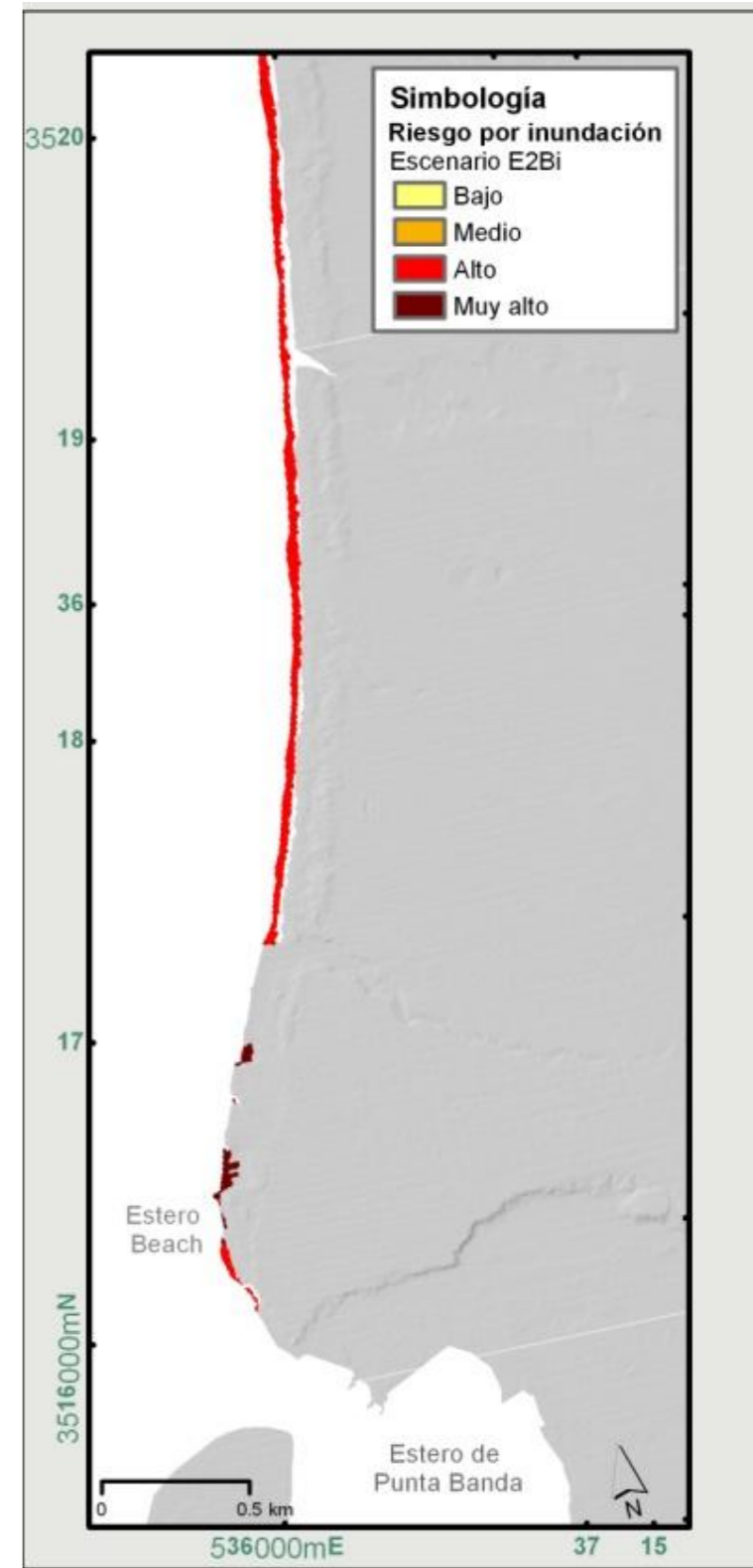
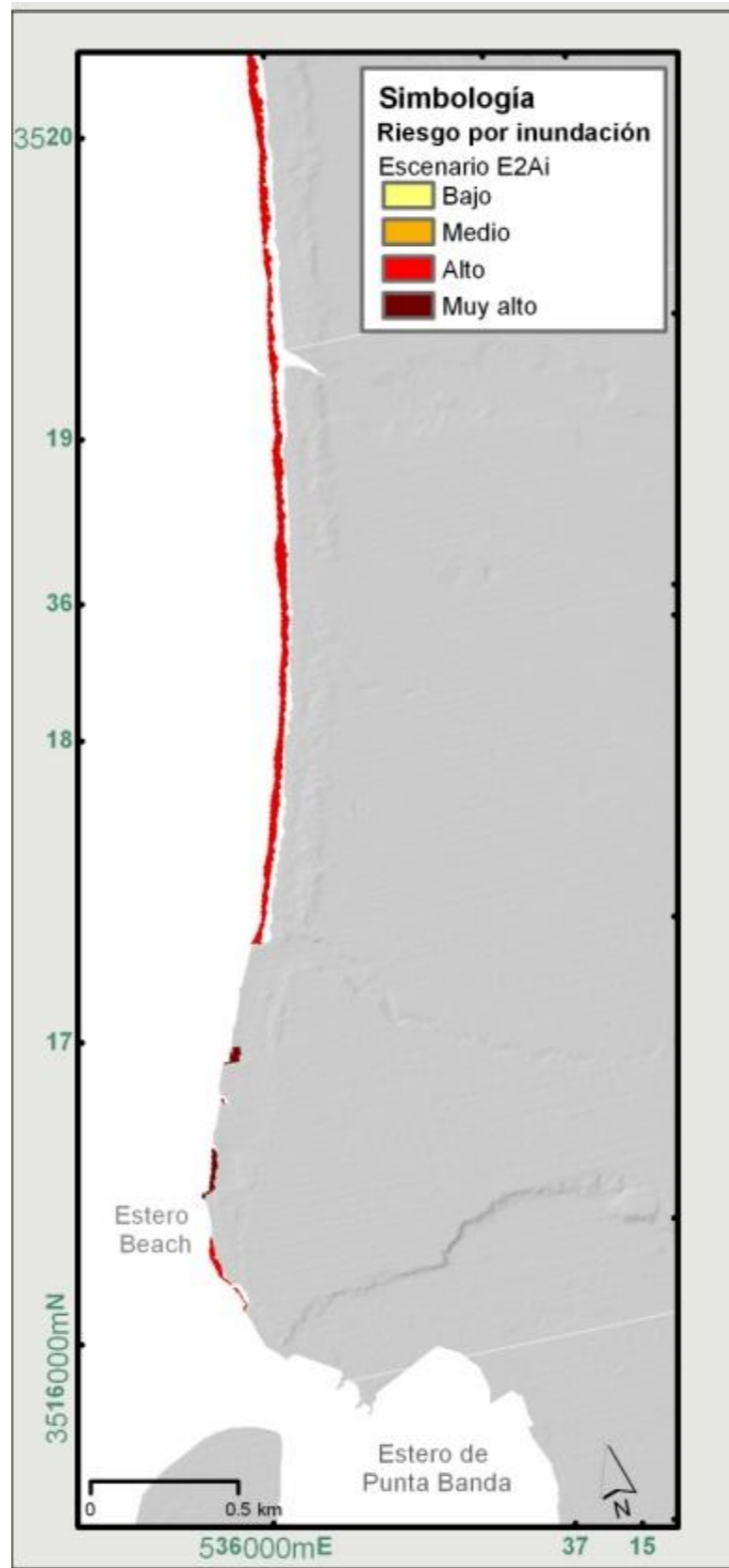
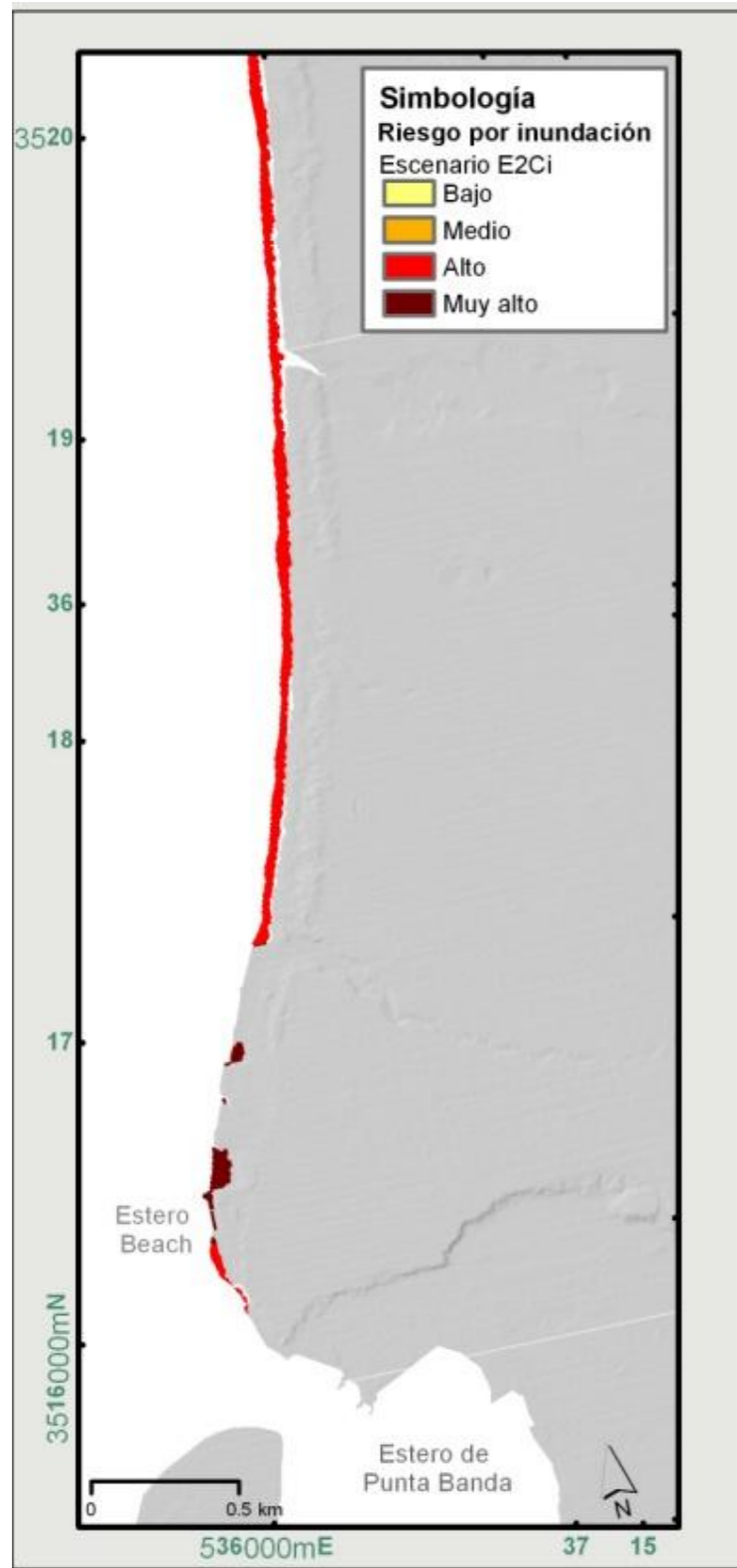


Figura 60. Mapas de riesgo de inundación en la Zona 6, tomando en cuenta la incertidumbre asociada a la amenaza (escenarios E1+i).

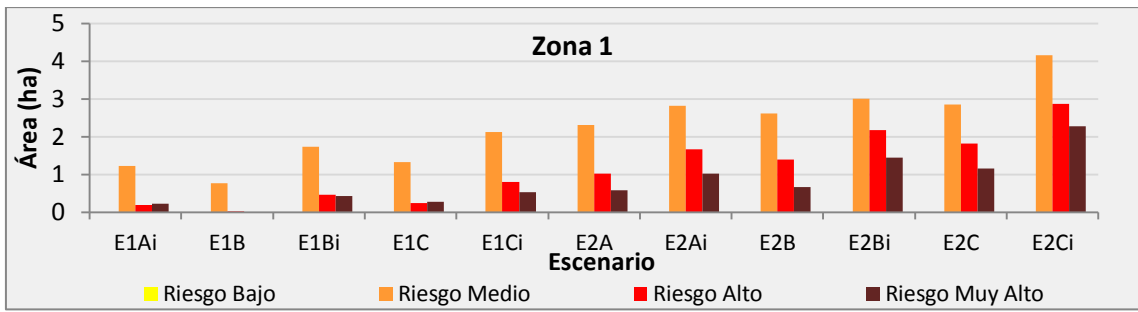


Figura 61. Áreas de riesgo en los diferentes escenarios en la zona 1.

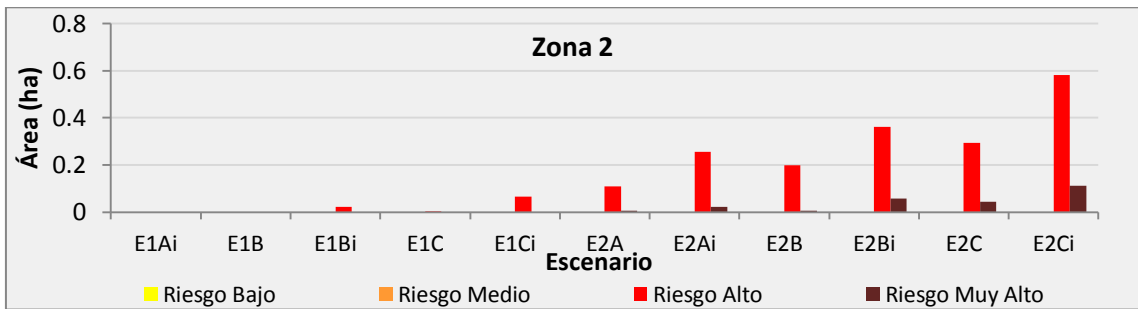


Figura 62. Áreas de riesgo de los diferentes escenarios en la zona 2.

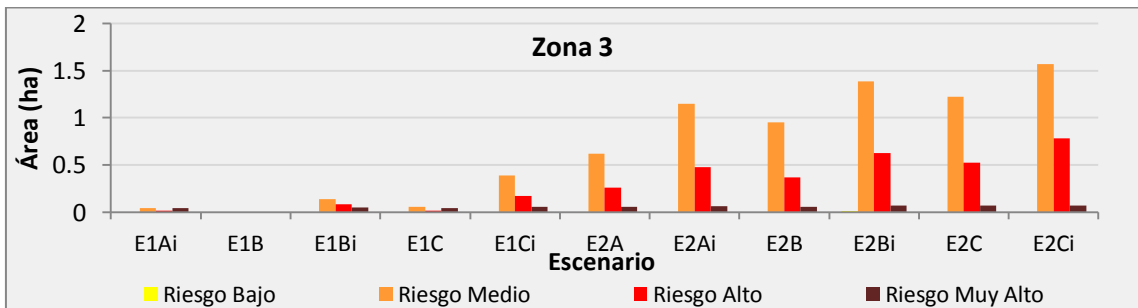


Figura 63. Áreas de riesgo de los diferentes escenarios en la zona 3.

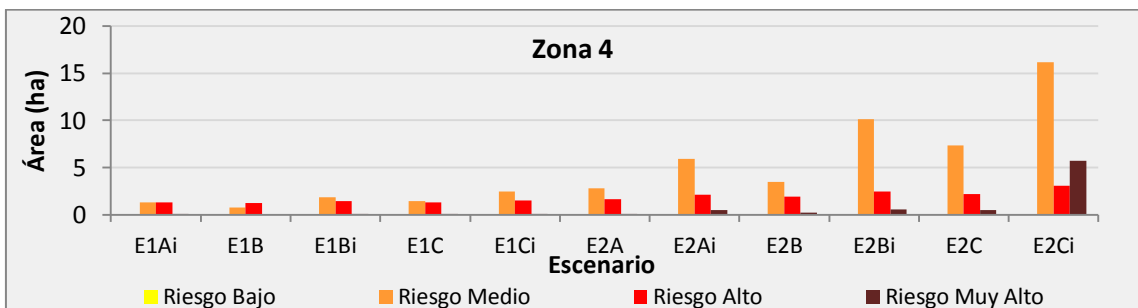


Figura 64. Áreas de riesgo de los diferentes escenarios en la zona 4.

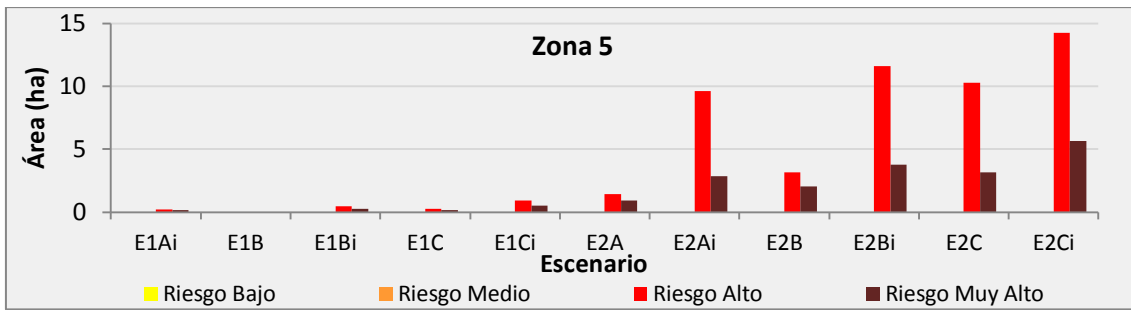


Figura 65. Áreas de riesgo de los diferentes escenarios en la zona 5.

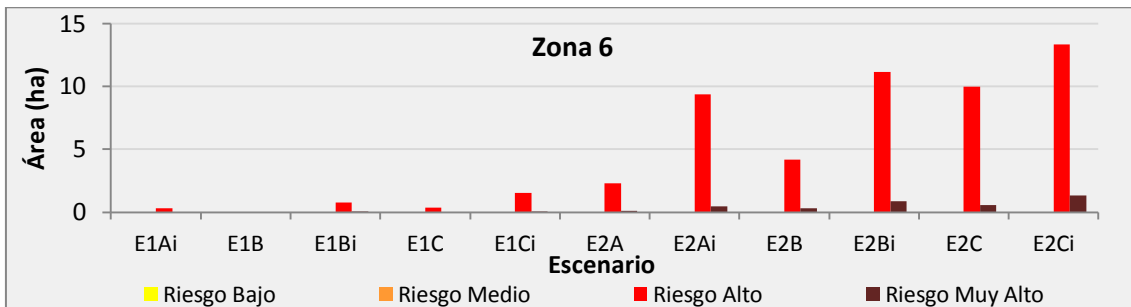


Figura 66. Áreas de riesgo de los diferentes escenarios en la zona 6.

6. Discusión

6.1. Caracterización de la amenaza y la calidad del modelo de elevación digital

Como se observa en los mapas de amenaza presentados en la sección de descripción de los resultados por zona, en algunos casos el nivel del mar proyectado no se traslapa con la línea de costa, esto se debe a que la cota de 0m obtenida a partir del MDE no coincide perfectamente con la línea de costa observada en las imágenes de satélite, a pesar de que la georeferenciación de ambos ha sido corroborada. En este sentido, se detectaron inconsistencias en la información original proveniente del MDE. Las celdas correspondientes al mar, no deberían registrar valores; sin embargo, se detectaron alturas pequeñas o negativas. Esto ocasionó dificultades para definir con exactitud la línea de costa y la cota de 0m. La manera de solucionar este problema fue utilizar de referencia una imagen de satélite como apoyo para deducir dónde podrían existir errores. Si bien el modelo presentó limitaciones para definir la línea de costa, la exactitud se puede mejorar con el apoyo de puntos de control, mientras que la resolución y la precisión son características que solo pueden mejorarse mediante la integración de más fuentes de información, como perfiles de playa.

A pesar de que la resolución vertical original es muy baja (1m) para analizar las variaciones del nivel medio del mar, el modelo puede estimar cuáles serían las zonas críticas en algunos escenarios dado que las pendientes a lo largo de la costa son heterogéneas y parte de la bahía posee pendientes elevadas. En este sentido se detectó que, tomando en cuenta la incertidumbre, se puede determinar que las áreas inundables críticas para un escenario de aumento entre los 1.4m y los 2.5m (condiciones que podrían darse durante una marea alta, bajo el efecto del aumento del nivel del mar) son el Puerto de Ensenada y la zona de la desembocadura del Arroyo San Miguel, mientras que las zonas que podrían tener menor inundación serían las zonas 2 (al sur del Puerto del Sauzal) y 6 al sur del Ciprés. Por el contrario, el análisis de la incertidumbre arroja que no es posible modelar proyecciones menores a 0.9m, como lo demuestra la Figura 5, donde se observa que en el escenario E1B, el área de incertidumbre es mayor al área proyectada; se asume que podría ser el mismo caso para el escenario E1A, el cual no pudo modelarse debido a las limitaciones del MDE. A su vez, esta incertidumbre podría ser el resultado tanto de la magnitud de la amenaza como de la topografía de la zona; es decir, al aumentar el nivel del mar, éste puede encontrarse con barreras topográficas o bien, rebasarlas, como pudo haber sucedido al sumar la RECM al escenario E1B.

Mediante la adaptación a la regla de Bruun, Montoya Turrillas (1991) predice un retroceso en la línea de costa asociado al aumento del nivel del mar directamente provocado por procesos erosivos, y señala como crítica toda la franja de playa frente al Ciprés hasta Estero Beach. Cerca de esta zona, en la boca del Estero de Punta Banda, Peynador y Méndez (2010) señala importantes cambios en la línea de costa debido a la erosión.

En el presente estudio, el retroceso de la línea de costa se estima tomando en cuenta solamente las áreas inundables en las zonas cuyas alturas estén por debajo de las proyecciones del nivel medio del mar, mediante éste método, los cambios mostrados en la zona de playas antes mencionada, no son tan importantes como lo señalan dichos autores.

En cuanto a los procesos erosivos, el presente estudio no estima su magnitud ni se modela su dinámica, pero se toma en cuenta como un criterio de evaluación; las zonas que presentan procesos erosivos generan una exposición mayor a las que no la presentan o en el caso contrario, las zonas que se encuentran bajo procesos de acreción no ocasionan exposición.

Dentro de la modelación de la amenaza, cabe señalar que los resultados obtenidos identifican las áreas inundables bajo escenarios que no toman en cuenta el efecto de los eventos de tormenta.

En futuros análisis es necesario realizar una modelación de alturas en donde se tomen en cuenta los factores que pueden ocasionar grandes variaciones en el nivel del mar, como la presión atmosférica y el forzamiento del viento derivados de procesos climáticos (p.e. El Niño), tal como lo plantea Cayan *et al* (2008) en su análisis de alturas extremas en el nivel del mar en la región de California. Se espera que una vez incluidos los procesos climáticos, las alturas del nivel del mar sean mucho mayores durante ciertos eventos de tormenta y en consecuencia, las áreas inundables serían más extensas.

6.2. Vulnerabilidad, vulnerabilidad física y exposición.

Vulnerabilidad física

Si bien la encuesta de ponderación hecha al grupo de expertos, se hizo con la intención de valorar los usos de suelo desde un punto de vista socioeconómico, los resultados indican que quizá también se incluyó un punto de vista funcional, ya que se asignó la máxima importancia a los servicios públicos y autoridades (vitales en situaciones de contingencia), seguido por los industriales y comerciales, y posteriormente usos mixtos y residenciales.

A lo largo de toda la franja costera se observan usos de suelo diversos, sin embargo los usos predominantes son el comercial-residencial en la parte norte de la ciudad (Zonas 1, 2 y 3), el turístico-recreativo (Zonas, 5 y 6) y el comercial del sector turístico en la parte sur (Zona 6) y los de infraestructura técnica debido a los puertos y la marina del Hotel Coral. Tomando en cuenta la ponderación, las zonas con mayor vulnerabilidad física serían entonces Punta Morro, la zona comercial al norte del Puerto del Sauzal y el área de Estero Beach.

De acuerdo con el Instituto Municipal de Investigación y Planeación (IMIP), los usos de suelo que tuvieron más demanda en el periodo entre 2002 y 2007 son el industrial y el comercial (IMIP, 2009); por lo tanto es necesario prestar especial atención a las zonas costeras con este tipo de uso. Por otra parte, aunque no se realizó un estudio sobre el valor económico del suelo, el IMIP indica también que debido a la especialización del comercio hacia el sector turístico y la expectativa de desarrollar proyectos en lotes con frente de mar, en la ciudad han crecido tanto la especulación como el valor del suelo. Lo anterior implicaría por lo tanto, grandes pérdidas económicas si las tierras con estos usos se vieran afectadas por el aumento del nivel del mar.

Por otra parte, se debe señalar que el presente análisis del uso de suelo no contempla una proyección del mismo; es decir, no se proyectaron cambios de uso de suelo para los próximos 100 años. Lo anterior implica realizar proyecciones económicas y demográficas que están fuera de los alcances del presente estudio.

Sin embargo, la ponderación del uso de suelo resultó un indicador factible para la evaluación de la vulnerabilidad, pues refleja las actividades más importantes dentro del contexto de la ciudad; además, el uso de suelo *per se* posee una descripción geográfica, lo cual facilita su análisis espacial.

Exposición

En general, la ciudad presenta amplias secciones con alto grado de exposición, ya que éstas presentan algún grado de erosión y no todas cuentan con estructuras de protección costera, como el caso del área del Arroyo San Miguel en la Zona 1, las áreas aledañas al Puerto de Ensenada y toda la franja de playa arenosa al sur de la ciudad (Zonas 5 y 6). Esto es evidencia de que el modelo responde a los criterios de evaluación, ya que es marcada la diferencia entre las unidades con y sin estructuras de protección costera, como en las áreas de puertos y la marina del Hotel Coral y en la Zona 2, en donde hay presencia intermitente de enrocamientos y muros.

En cuanto a la zona sur del área de estudio, se reafirma lo planteado por Montoya Turrillas (1991), al calificarla (y a la zona de posplaya) como sensible al aumento del nivel medio del mar. En este sentido, un estudio más detallado acerca de los procesos erosivos se lograría creando un modelo dinámico, el cual podría arrojar resultados diferentes al desarrollarse los procesos litorales bajo la influencia del aumento del nivel del mar, como lo indica Montoya Turrillas (1991), en especial en el extremo sur, donde históricamente se han registrado importantes cambios en la boca del Estero de Punta Banda (Peynador y Méndez, 2010 y Delgado González *et al*, 2003). Mediante un modelo dinámico, podría también esclarecerse el efecto de las estructuras de protección costera sobre el transporte litoral, pues de ésta manera no solo se tomarían en cuenta los procesos erosivos naturales si no aquellos que podrían intensificarse o bien, atenuarse con la construcción de nuevas estructuras de protección.

Otro aspecto que se aprecia en toda el área de estudio es una franja de color más intenso (representando mayor grado de exposición) que se dibuja a todo lo largo de la costa y que corresponde a las zonas más bajas, sin embargo, éste resultado debe tomarse a consideración debido a que, como ya se mencionó anteriormente, pudiera asociarse con las limitaciones provenientes del MDE.

Por otra parte, la ecuación elegida para evaluar la exposición (Ec. 1) supone que los procesos erosivos en zonas que se encuentran desprotegidas presentan exposición, la cual se encuentra sujeta a la topografía. El criterio de topografía se integra debido a que conforme aumenta la misma, disminuye la vulnerabilidad de los elementos de interés, en el contexto del riesgo por inundación.

El factor denominado “Presencia de estructuras de protección costera” o PC, conserva una relación inversa con la exposición, ya que cuando se presentan (en cuyo caso el factor tomaría el valor de 2) protegen la costa contra los distintos procesos costeros naturales, disminuyendo así la exposición.

En caso contrario, si no hay presencia de estructuras de protección, el factor PC toma el valor de 1, de tal manera que no influye en la exposición y ésta se define solo por el riesgo de erosión y la altura topográfica.

Vulnerabilidad

Por la manera en que se planteó la vulnerabilidad física (con el uso de suelo como único factor social) y la exposición, al hablar de vulnerabilidad en el modelo se hace referencia a condiciones estáticas, correspondientes a la situación actual. De manera que el escenario social y de exposición física ante las variaciones del nivel del mar proyectadas al año 2100 que se presentan, corresponden a un caso en el que no se tomen medidas de mitigación o de prevención. En este contexto, se espera que algunos de los sitios de relevancia para la ciudad, como es el caso de algunas zonas de uso comercial (con creciente demanda según el IMIP, 2009) y residencial se vean expuestas a las variaciones del nivel del mar; tal es la situación de la zona residencial aledaña al Arroyo San Miguel, las playas de uso turístico-recreativo y las áreas de comercio turístico al centro y sur de la ciudad.

Tal como lo sugiere el marco teórico planteado en el primer capítulo de éste trabajo, es necesario agregar otros factores sociales que alimenten la vulnerabilidad. Por ejemplo, el costo de los suelos que podrían perderse, la existencia de estrategias y/o programas para el manejo del riesgo, el nivel de concientización de la población acerca del problema, la capacidad de respuesta ante alguna contingencia, entre otros, y proyectar cada factor a un periodo viable de tiempo (el IPCC, 1992, sugiere hacer proyecciones a un periodo máximo de 30 años).

6.3. Riesgo

Los mapas de riesgo que se presentan arrojan áreas con riesgo relativamente pequeñas comparadas con las áreas inundables y con la extensión de los resultados en cuanto a vulnerabilidad física y exposición. Lo anterior se debe a que la amenaza (y por lo tanto el MDE) no se traslapa totalmente con las áreas registradas en la vulnerabilidad física a través del uso de suelo. Esto se asocia a lo ya mencionado, sobre la localización de la cota 0m definida por el MDE, pues no coincide perfectamente con la línea de costa detectada en las imágenes de satélite ni con la línea de costa que define las playas en el caso del uso de suelo; por lo tanto el traslape ocurre solo en aquellos sitios en los que existe un área inundable significativa y/o que el uso de suelo se encuentra cerca de la cota 0m.

Tales sitios ocurrieron en los puertos y la marina del Hotel Coral (presentando riesgo medio), en la desembocadura del Arroyo San Miguel (con riesgo alto y muy alto), las zonas aledañas a ambos puertos (con riesgo alto), y en los escenarios E2, toda la franja de playa arenosa al centro y sur de la ciudad (con riesgo alto y muy alto).

Se observa que no existen áreas clasificadas con un riesgo bajo; esto lo explica el hecho de que no se encontró un traslape de amenaza con áreas cuya vulnerabilidad fuera baja (por ejemplo, los lotes baldíos al norte del Puerto del Sauzal). Sin embargo, se decidió dejar la misma clasificación del riesgo para todas las zonas y para todos los escenarios, pues de esta manera se mantiene la relación de valores que permite hacer comparaciones entre zonas y entre escenarios.

En cuanto a los valores de riesgo, cabe destacar que a pesar de que la amenaza y la vulnerabilidad tienen el mismo peso dentro de la ecuación de riesgo, es la vulnerabilidad quien define el rango de valores entre 1 y 2, puesto que la amenaza solamente adquiere valores de 0 y 1 (sin inundación y con inundación respectivamente), definiendo únicamente las zonas inundables. En otras palabras, la vulnerabilidad determina el grado de riesgo que puede existir, mientras que la amenaza define las zonas en las cuales puede ocurrir tal riesgo.

Planteando nuevamente la idea de crear un modelo dinámico que desarrolle los procesos litorales y sociales a través del tiempo, son interesantes las implicaciones que tendrían en el modelo conceptual que se propone. Por ejemplo, los procesos litorales son un factor que modifica la línea de costa y por lo tanto también la topografía de la misma; lo anterior implicaría un cambio en las condiciones iniciales de la amenaza, pues la cota 0m probablemente cambie de lugar de un tiempo a otro. Esto significa que la exposición no solo tiene influencia sobre la vulnerabilidad como se planteó originalmente, sino que también podría tener influencia sobre la amenaza.

Retomando las recomendaciones antes planteadas para la modelación de la amenaza, las implicaciones de modelar eventos de tormenta que generen mayores alturas en el nivel del mar, incluyen también efectos sobre los cauces de ríos y arroyos. Tales efectos son provocados por la acumulación del volumen de agua proveniente de las precipitaciones más el volumen de agua de mar (el cual avanza río arriba en función del aumento del nivel del mar). Es importante determinar el riesgo de éstas áreas especialmente en zonas urbanas, donde generalmente existen asentamientos humanos muy cerca de los cauces de ríos y arroyos.

7. Conclusiones

La modelación de la amenaza a través de la técnica de *bathtub* funciona para encontrar zonas críticas que podrían resultar inundadas bajo ciertos escenarios de aumento del nivel del mar, sin embargo, debe tomarse en cuenta la incertidumbre asociada a la topografía base y algunos criterios asociados al componente de exposición (como los procesos litorales) planteado por el mismo modelo conceptual. En el caso de estudio, los escenarios de amenaza demostraron que las zonas críticas en la ciudad de Ensenada son la desembocadura del Arroyo San Miguel y el Puerto de Ensenada.

La cuantificación de los componentes de la vulnerabilidad debe hacerse de manera que no se preste a ambigüedades, por otra parte, se debe tomar en cuenta que dichos componentes deben proyectarse a un futuro, para que puedan evaluarse diferentes escenarios, como en el caso de la amenaza. En el área de estudio se encontró que las zonas cuya vulnerabilidad física es mayor son Punta Morro, la zona comercial al norte del Puerto del Sauzal y el área de Estero Beach.

Los criterios elegidos para evaluar la exposición (erosión, presencia de estructuras de protección costera y topografía) mostraron ser capaces de responder a las características actuales del área de estudio, sin embargo, también es necesario modelar de manera dinámica los procesos litorales que constantemente provocan cambios en las condiciones de la línea de costa. En la ciudad de Ensenada las zonas más expuestas según el modelo son la desembocadura del Arroyo San Miguel, las zonas aledañas al Puerto de Ensenada y toda la franja de playa arenosa al sur de la ciudad.

Los resultados de la evaluación del riesgo se encuentran sujetos a una intensidad determinada por la vulnerabilidad, mientras que los sitios que presentan riesgo están definidos por la amenaza. En el área de estudio los puertos y la marina del Hotel Coral presentan riesgo medio, la desembocadura del Arroyo San Miguel riesgo alto y muy alto, las zonas aledañas a ambos puertos presentan riesgo alto y toda la franja costera de la playa arenosa al centro y sur de la ciudad poseen un riesgo alto y muy alto en los escenarios en los cuales se modela la marea bajo la influencia del aumento del nivel medio del mar.

Es necesaria la conversión del modelo conceptual a un modelo dinámico que permita detectar los cambios en la línea de costa a través del tiempo (provocados por factores naturales y antropogénicos) y que podrían modificar también algunos aspectos del modelo conceptual.

8. Referencias

Afanador, F., y Ruiz, A. (2009). Inundación por ascenso del nivel medio del mar mediante fotografía aérea y datos Lidar. En J. Alcántara Carrió, I. D. Correa Arango, F. I. Isla Mendy, M. Alvarado Ortega, A. H. F. Klein, A. Cabrera Hernández, y R. Sandoval Barlow (Eds.), *Métodos en teledetección aplicada a la prevención de riesgos naturales en el litoral* (pp. 79-99). España: Servicio de Publicaciones del Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo.

Cayan, D. R., Bromirski, P. D., Hayhoe, K., Tyree, M., Dettinger, M., y Flick, R. (2008). Climate change projections of sea level extremes along the California coast. *Climate Change*, 87(1), 57-73.

Delgado González, O., Lizárraga Arciénega, R., Martínez Díaz de León, A., Galindo Bect, L., Fermán Almada, J. L., Sánchez Arcilla, A., Mosso, C., Pérez Higuera, R., Cruz Varela, A. (2005). Beach-line changes at the mouth of Punta Banda Estuary , Baja California , during 1972 – 2003. *Ciencias Marinas*, 31(4), 707–717.

European Comission. (1993). Classification for Land Use Statistics: Eurostat Remote Sensing Programme. Disponible en internet:
[http://ec.europa.eu/eurostat/ramon/nomenclatures/index.cfm?TargetUrl=LST_NOM_DTL&StrNom=CLUSTERS93&StrLanguageCode=EN&IntPcKey=&StrLayoutCode=HIERARCHIC]. Fecha de consulta: 22 de Septiembre de 2011.

García Gastélum, A. (1997). Clasificación integral del litoral costero de la Bahía de Todos Santos, B. C., México. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Baja California.

González Turrubiates, D. M. (2010). Valoración y gestión del riesgo por inundaciones en municipios costeros (Una aproximación con base en indicadores). En Evelia Rivera Arriaga, I. A. Azuz Adeath, L. Alpuche Gual, y G. J. Villalobos Zapara (Eds.), *Cambio Climático En Mexico: un enfoque costero y marino* (pp. 591 – 606). Universidad Autónoma de Campeche, SEMARNAT, CETYS-Universidad, Universidad de Quintana Roo.

IMIP. (2009). Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población de Ensenada 2030. *Diario Oficial del Estado de Baja California*, p. 117. Mexicali.

IPCC (1992) A common methodology for assessing vulnerability to sea-level rise - second revision, *Response Strategies Working Group of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.

León, C. (2004). Piezas de un rompecabezas: dimensión socioeconómica de las costas de México. En Evelia Rivera Arriaga, G. J. Villalobos Zapara, I. A. Azuz Adeath, y F. Rosado May (Eds.), *El Manejo Costero en México* (pp. 5–26). Universidad Autónoma de Campeche, SEMARNAT, CETYS-Universidad, Universidad de Quintana Roo.

Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J., y Rhind, D. W. (2005). *Geographic Information Systems and Science*. (John Wiley & Sons, Ed.). *Management* (2da Edición., p. 515).

Mansilla, E. (1996). Prevención y atención de desastres en México. In A. Lavell y E. Franco (Eds.), *Estado, sociedad y gestión de los desastres en América Latina* (pp. 3–33). Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina. Disponible en internet: [www.desenredado.org]. Fecha de Consulta 20 de Agosto de 2011.

Montoya Turrillas, F. J., y Gómez-Morín Fuentes, L. (1991). Definición de zonas de riesgo por erosión e inundación en la Bahía de Todos Santos, Baja California, México. *Ciencias Marinas*, 17(2), 25–36.

Ortiz Figueroa, M., y González Navarro, J. I. (2008). El nivel del mar como indicador del cambio climático global: historia, tendencias regionales y perspectivas en México. En P. F. Martínez Austria y A. Aguilar Chávez (Eds.), *Efectos del cambio climático en los recursos hídricos de México* (pp. 59 – 71). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

Ortiz Pérez, M. A., y Méndez Linares, A. P. (2004). Vulnerabilidad del ascenso del nivel del mar y sus implicaciones en las costas Bajas del Golfo de México y Mar Caribe. In Evelia Rivera Arriaga, G. J. Villalobos Zapara, I. A. Azuz Adeath, y F. Rosado May (Eds.), *El Manejo Costero en México* (pp. 308 – 320). Universidad Autónoma de Campeche, SEMARNAT, CETYS-Universidad, Universidad de Quintana Roo.

Peynador, C., y Méndez-Sánchez, F. (2010). Managing coastal erosion: A management proposal for a littoral cell in Todos Santos Bay, Ensenada, Baja California, Mexico. *Ocean & Coastal Management*, 53, 350–357.

Rivera Arriaga, E., Azuz Adeath, I. A., Alpuche Gual, L., y Villalobos Zapara, G. J. (2010). *Cambio climático en México: un enfoque costero y marino*. Universidad Autónoma de Campeche, SEMARNAT, CETYS-Universidad, Universidad de Quintana Roo.

Schwartz, M. L. (2005). *Encyclopedia of coastal science*. Springer. Netherlands.

U.S. Army Corps of Engineers (1995). *Coastal Geology*. Engineer Manual. Washington, D. C.

5. CONCLUSIONES

Aunque existen diversas aproximaciones sociales y naturales para el estudio del riesgo, no existe un marco conceptual que sirva para generar modelos de evaluación para cualquier tipo de riesgo; por el contrario, cada caso de estudio utiliza los términos y métodos que se ajusten su contexto.

Dado que las variaciones del nivel del mar representan una amenaza latente para las poblaciones costeras, es necesario abordar esta problemática desde los marcos teóricos del estudio del riesgo y desarrollar un marco conceptual que pueda aplicarse a distintas regiones, de manera que permita comparar los distintos estudios de caso y proporcionar la información adecuada durante el proceso de toma de decisiones sobre el manejo de riesgo.

Aunque no hay consenso en cuanto a un marco conceptual, existen propuestas que podrían explicar la relación entre los factores tanto sociales como naturales que componen al riesgo. A partir de una de estas propuestas se construyó un marco conceptual en el cual se definen cada uno de los componentes del riesgo asociado a las variaciones del nivel del mar.

El marco conceptual que se propone, distingue entre los factores sociales (incluidos en el concepto de vulnerabilidad) y los factores naturales (comprendidos en el concepto de amenaza).y también permite discernir entre aquellos factores que pueden manejarse (vulnerabilidad y exposición) y los que no (amenaza). Dicho modelo se aplicó a la ciudad costera de Ensenada, Baja California, para analizar su funcionalidad y la manera en que puede integrarse en los sistemas de información geográfica para realizar el análisis espacial correspondiente.

A pesar de las limitaciones provenientes de las bases de datos utilizadas para cuantificar cada uno de los componentes, se obtuvieron mapas de vulnerabilidad física, exposición, amenaza y riesgo, los cuales indican que las zonas más críticas son las áreas de los puertos, la desembocadura del Arroyo San Miguel y la franja de playa arenosa al sur de la ciudad.

Por la forma en la que se cuantificaron los componentes, el riesgo está sujeto a una intensidad que está determinada por la vulnerabilidad, mientras que los sitios en los que se presenta el riesgo están definidos por la amenaza (puesto que establece las áreas inundables).

Por último, la evaluación del componente de vulnerabilidad se hizo bajo el supuesto de que las condiciones físicas y socio-culturales de la ciudad permanecerían sin cambios en el periodo analizado (de 2012 a 2100) por lo que es necesario convertir el modelo que se propone a un modelo dinámico, que represente la evolución que pudiera tener la ciudad en ese lapso de tiempo. Lo anterior podría implicar la modificación de algunos aspectos del modelo conceptual, como una relación directa entre la exposición y la amenaza, dado que ambos se refieren a aspectos físicos de la línea de costa.

ANEXOS

Tabla I. Puntos de control de la ciudad de Ensenada, B. C.

Punto	Latitud	Longitud	Ubicación	Altura elipsoidal h (m)	Altura geoidal N (m)	Altura ortométrica H (m)	Altura ortométrica LIDAR (m)	Error	Altura ortométrica ajustada (m)
1	31° 54' 00.34321" N	116° 42' 18.16036" W	Glorieta Carretera Ensenada-Tecate	-21.712	-35.58	13.868	13.14	-0.728	13.513
2	31° 52' 53.33967" N	116° 41' 01.30160" W	Distribuidora de Pemex (Sauzal)	-22.103	-35.42	13.317	12.41	-0.907	12.783
3	31° 51' 59.23951" N	116° 39' 59.03176" W	Estacionamiento del DIIA (UABC)	-12.053	-35.38	23.327	22.41	-0.917	22.783
4	31° 51' 37.49366" N	116° 38' 21.89176" W	Curva del "Mosquito"	-19.851	-35.26	15.409	15.26	-0.149	15.633
5	31° 51' 30.70118" N	116° 37' 17.70441" W	Puerto de Ensenada y arroyo El Gallo	-31.734	-35.18	3.446	2.88	-0.566	3.253
6	31° 49' 36.61323" N	116° 36' 32.28756" W	Acceso a la playa junto a CONALEP	-32.181	-35.21	3.029	3.86	0.831	4.233
7	31° 48' 30.51189" N	116° 35' 45.82458" W	Centro de gobierno	-19.14	-35.19	16.05	15.62	-0.43	15.993
8	31° 47' 46.46822" N	116° 35' 38.65735" W	Ave. Reforma y Calle E. Zapata	-14.634	-35.21	20.576	20.459	-0.117	20.832
Error Promedio:								-0.372875	0.000
Raíz del Error Cuadrático Medio (RMSE):								1.055	0.538



A quien corresponda:

PRESENTE

Se solicita su apoyo para participar en un proceso consulta a un grupo de expertos en manejo de zona costera, como parte del proyecto de tesis de maestría titulado “Evaluación de riesgo de inundación costera en la zona urbana del municipio de Ensenada, B. C., México, causada por variaciones del nivel del mar”.

Utilizando la tabla II como referencia, seleccione en la tabla III los usos de suelo que considere más importantes en términos socioeconómicos para la ciudad de Ensenada.

Tabla II. Usos de suelo en la ciudad de Ensenada, Baja California.

<p>1. Áreas residenciales. Áreas utilizadas para vivienda.</p> <p>1.1. Densidad alta 1.2. Densidad moderada 1.3. Densidad baja</p>
<p>2. Servicios públicos y autoridades. Áreas ocupadas por instalaciones que brindan servicios administrativos, de seguridad social (hospitales, estaciones de policías y bomberos, instalaciones militares, etc.) o instituciones educativas y de investigación (escuelas, universidades, etc.).</p>
<p>3. Actividades industriales y comerciales. Áreas donde se realizan todo tipo de actividades y servicios industriales y de comercio (tiendas, hoteles, fábricas, servicios turísticos, etc.).</p> <p>3.1. Industria 3.2. Actividades y servicios comerciales y financieros</p>
<p>4. Infraestructura técnica y de transporte. Áreas ocupadas por redes eléctricas, de agua e hidrocarburos, e infraestructura de transporte terrestre y marítimo.</p> <p>4.1. Redes técnicas (de electricidad, telecomunicaciones, de agua, etc.) 4.2. Transporte por carretera 4.3. Transporte marítimo</p>
<p>5. Recreacional. Áreas donde se llevan a cabo actividades de esparcimiento y/o deportivas, y áreas destinadas a la conservación.</p> <p>5.1. Áreas de esparcimiento y/o deportivas 5.2. Áreas verdes o de conservación</p>
<p>6. Mixto. Son áreas utilizadas para más de un uso a la vez, pueden ser comerciales-residenciales o turísticas-recreativas</p> <p>6.1. Turístico - Recreativo 6.2. Comercial - Residencial</p>
<p>7. Agrícola Áreas destinadas para el cultivo.</p>
<p>8. Baldío, sin uso Áreas en las que no se realiza ninguna actividad.</p>



Tabla III. Formato de comparación de usos de suelo.

$1 \quad \frac{1 \quad 1 \quad 1 \quad 1 \quad 1 \quad 1 \quad 1}{2 \quad 3 \quad 4 \quad 5 \quad 6 \quad 7 \quad 8}$	$1.1 \quad \frac{1.1 \quad 1.1}{1.2 \quad 1.3}$
$2 \quad \frac{2 \quad 2 \quad 2 \quad 2 \quad 2 \quad 2}{3 \quad 4 \quad 5 \quad 6 \quad 7 \quad 8}$	$1.2 \quad \frac{1.2}{1.3}$
$3 \quad \frac{3 \quad 3 \quad 3 \quad 3 \quad 3}{4 \quad 5 \quad 6 \quad 7 \quad 8}$	$3.1 \quad \frac{3.1}{3.2}$
$4 \quad \frac{4 \quad 4 \quad 4 \quad 4}{5 \quad 6 \quad 7 \quad 8}$	$4.1 \quad \frac{4.1 \quad 4.1}{4.2 \quad 4.3}$ $4.2 \quad \frac{4.2}{4.3}$
$5 \quad \frac{5 \quad 5 \quad 5}{6 \quad 7 \quad 8}$	$5.1 \quad \frac{5.1}{5.2}$
$6 \quad \frac{6 \quad 6}{7 \quad 8}$	$6.1 \quad \frac{6.1}{6.2}$
$7 \quad \frac{7}{8}$	

Tabla IV. Longitud de la línea de costa en cada Unidad de Exposición

Unidad	Longitud de línea de costa (m)	Toponimia
1	1079.1	Caseta San Miguel
2	333.5	Arroyo San Miguel
3	1061.6	Playas San Miguel
4	632.6	Baldíos Sauzal
5	512.4	Fondeport Norte
6	261.6	Fondeport Sur
7	358.8	Manchuria
8	2228.1	Puerto del Sauzal
9	368.0	Empacadora Sauzal
10	274.4	Stacks
11	384.8	Santorini
12	1078.9	Condominios Entremar
13	1420.0	Estación PEMEX
14	333.2	Curva Las Rosas
15	679.8	Hotel Las Rosas
16	411.5	Z Gas
17	472.9	La Terraza
18	242.1	Hotel Punta Morro
19	477.6	UABC
20	2632.4	Marina Coral
21	188.0	Quintas Papagayo
22	1086.4	Cava L.A. Cetto
23	509.2	Playitas Sur
24	640.2	Curva del mosquito
25	368.0	Cerro El Vigía
26	12878.4	26.Puerto de Ensenada
27	2111.7	Espigón
28	2080.6	CEMEX
29	481.0	Playa Municipal
30	518.1	Playa Hermosa
31	1058.3	CONALEP
32	1768.1	La Lagunita
33	2879.6	El Ciprés
34	742.9	Playa Monalisa
35	458.8	Playa El Faro