



UNIVERSIDAD VERACRUZANA

UNIVERSIDAD VERACRUZANA
INSTITUTO DE CIENCIAS MARINAS Y PESQUERÍAS
DOCTORADO EN ECOLOGÍA Y PESQUERÍAS

“Evaluación de la vulnerabilidad de las playas ante los efectos no deseados por la construcción de obras de protección costera en la Zona Metropolitana de Veracruz”.

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

Doctora en Ciencias Marinas y Pesquerías

PRESENTA:

M. en C. Verónica Valadez Rocha

COMITÉ TUTORAL:

Director de Tesis

Dr. Leonardo Dagoberto Ortiz Lozano

Tutores

Dra. Ileana Espejel Carbajal

Dr. David Salas Monreal

Dr. Alejandro Granados Barba

Dr. Horacio Pérez España

Boca del Río, Veracruz

Septiembre 2013



Universidad Veracruzana
Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías
Posgrado en Ecología y Pesquerías

C. M. en C. VERONICA VALADEZ ROCHA
ESTUDIANTE DEL DOCTORADO EN ECOLOGÍA Y PESQUERÍAS
UNIVERSIDAD VERACRUZANA
P R E S E N T E

Calle Independencia
No. 30 (antes 38)
Piso 1 y 2
Colonia Centro,
CP 94290,
Boca del Río,
Veracruz,
México

Teléfono
(229) 202 28 28

Habiendo sido debidamente revisado y aceptado el trabajo escrito de su tesis denominada "Evaluación de la vulnerabilidad de las playas ante los efectos no deseados por la construcción de obras de protección costera en la Zona Metropolitana de Veracruz" por los integrantes de su comité tutorial y estando todos ellos de acuerdo que tanto el contenido como el formato de este trabajo es satisfactorio como prueba escrita para sustentar su examen final de posgrado del DOCTORADO EN ECOLOGÍA Y PESQUERÍAS, se le autoriza a usted proceda a su impresión.

Sin otro particular, me es grato reiterarle la seguridad de mi más distinguida consideración.

ATENTAMENTE
"LIS DE VERACRUZ: ARTE, CIENCIA, LUZ"
Boca del Río, Ver. Septiembre 5 del 2013

Dra. María de Lourdes Jiménez Badillo
Directora

INSTITUTO DE
CIENCIAS MARINAS
Y PESQUERÍAS
BOCA DEL RÍO, VER.



UNIVERSIDAD VERACRUZANA
COORDINACIÓN DEL
POSGRADO EN
ECOLOGÍA Y PESQUERÍAS

DEDICATORIA

Para Guana, Iara, Maia y Niza

La hermosa familiaguana

AGRADECIMIENTOS

Mi agradecimiento al programa de posgrado del Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías por el apoyo brindado al desarrollo de esta tesis a través del proyecto institucional 327202010176 DGI-ICMP-UV “Influencia Histórica de la Ciudad y Puerto de Veracruz sobre el Sistema Arrecifal Veracruzano”

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por haberme otorgar la beca doctoral 161812. Este estudio se hizo con el apoyo del proyecto CONACyT/89526 y del proyecto “Bases para el Análisis y Síntesis de los Sistemas Costeros de Veracruz” de la Red para el Análisis y Síntesis de la Zona Costera Veracruzana, Golfo de México (RASZ-COV).

Al doctor Leonardo Ortiz Lozano por guiarme este proceso de manera crítica y por enriquecer este trabajo con todos sus comentarios. También por brindarme su amistad durante un ya largo tiempo.

A la Doctora Ileana Espejel Carbajal cuya amplia experiencia en manejo de ecosistemas costeros fue fundamental para el desarrollo de esta tesis. Asimismo, por su apoyo económico y logístico para la realización de mis estancias de investigación.

A los doctores David Salas Monreal, Alejandro Granados Barba y Horacio Pérez España por contribuir, en diversas fases al desarrollo de esta tesis.

A Mochoguana, mi compañero, por ser mi apoyo, por el bello proyecto de vida y la hermosa familia que hemos armado.

A mis pequeñas Iara, Maia y Niza por ser mi alegría, mi orgullo y mi pasión.

A mis papás Erén y Ricardo por que es seguro que el amor por la ciencia y la naturaleza surgió desde la infancia gracias a ustedes. También por todo su amor y todo el apoyo moral y logístico durante este proceso.

A mi hermana Violeta por todo el cariño y por su apoyo incondicional.

A mis suegros Alfonso y Catalina por adoptarme en su familia con tanto amor y por todo su apoyo moral y logístico.

A Pale mi abuelo, mi primer fan, mi sabio particular, mi gran gurú, mi escritor favorito. También a toda la familia Rocha, mis tíos y primos que son muchos para nombrarlos pero que siempre tengo presentes.

A mis amigas Carla, Yuri y Niza por que la geografía y el tiempo no pueden nada contra nuestra amistad.

A todos los que formaron parte de este proceso

TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE CONTENIDO5
RESUMEN	12
1. INTRODUCCIÓN.....	13
2. ANTECEDENTES	18
2.1. ENFOQUES PARA EL ESTUDIO DE VULNERABILIDAD DE PLAYAS	18
2.2. ÁREA DE ESTUDIO.....	20
2.3. PLAYAS Y OBRAS DE PROTECCIÓN COSTERA	21
2.4. CIRCULACIÓN LITORAL LOCAL	22
3. HIPOTESIS	24
4. OBJETIVOS	25
4.1. OBJETIVO GENERAL	25
4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	25
5. MARCO TEÓRICO	26
5.1. PLAYAS Y CELDAS LITORALES	26
5.2. HETEROGENEIDAD AMBIENTAL Y ESCALAS ESPACIALES DE LOS PROCESOS EN PLAYAS	32
5.3. CONFLICTOS Y MANEJO DE PLAYAS.....	33
6. MODELO TEÓRICO, CONCEPTUAL Y METODOLÓGICO PARA EVALUAR LA VULNERABILIDAD DE PLAYAS ANTE LOS EFECTOS POR LA CONSTRUCCIÓN DE OBRAS DE PROTECCIÓN COSTERA.	36
6. 1. ANTECEDENTES DE LOS ESTUDIOS DE VULNERABILIDAD.	36
6.2 MODELO CONCEPTUAL PARA EVALUAR LA VULNERABILIDAD DE PLAYAS	38
6.2.1 <i>Definición de Vulnerabilidad</i>	38
6.2.2 <i>Insumos teóricos</i>	38
6.2.3 <i>Enfoque teórico para evaluar la vulnerabilidad de playas por la construcción de obras de protección costera</i>	42
6.4 METODOLOGÍA	43
6.4.1 <i>FASE 1. Análisis espacial.</i>	44
Generación de mosaicos de foto aérea histórica	44
Análisis de cambio de uso de suelo en las celdas sedimentarias.....	47
6.4.2 <i>FASE 2. Indicadores de vulnerabilidad de playas.</i>	49
Delimitación de playas.....	50
Ancho de Playa (AP).....	50
Conectividad con duna adyacente (D)	53
Índice de Obras de Protección Costera (IOPC).....	54
Tasa de cambio de línea de costa (TC)	56
6.4.3 <i>Evaluación de la vulnerabilidad de playas (IVp)</i>	58
6.4.4 <i>Problemas opc-playa-usuarios.</i>	61
7. RESULTADOS	62
7.1 ANÁLISIS ESPACIAL.....	62
7.1.1 <i>Georreferenciación de mosaicos</i>	62
7.1.2 <i>Identificación de caldas litorales y análisis de cambio de uso de suelo.</i>	62
Celda I.....	64
Celda II	68
Celda III	69
7.2. OBRAS DE PROTECCIÓN COSTERA A TRAVÉS DEL TIEMPO.....	70
7.3 INDICADORES DE VULNERABILIDAD DE PLAYAS	71
7.3.1 <i>Delimitación de playas</i>	71
7.3.2 <i>Ancho de playa</i>	73
Celda I.....	73
Celda II	76

Celda III	79
7.3.3 Conectividad con duna adyacente (D)	83
Celda I	83
Celda II	84
Celda III	85
7.4 INDICADOR DE OBRAS DE PROTECCIÓN COSTERA (IOPC).....	89
7.4.1 Longitud de Obras de Protección Costera.....	89
Celda I	89
Celda II	90
Celda III	90
7.4.2. Cálculo del Índice de presión por Obras de Protección Costera (IOPC)	91
7.5 TASA DE CAMBIO DE LÍNEA DE COSTA.....	94
7.5.1 Celda I	94
Playa Norte (Figura 25)	94
Regatas (Figura 26)	95
7.5.2 Celda II	96
Villa del Mar (Figura 27)	96
José Martí (Figura 28)	97
Costa de Oro (Figura 29)	98
7.5.3 Celda III	100
Mocambo (Figura 30)	100
Santa Ana (Figura 31).....	101
El Estero (Figura 32)	102
7.6 ÍNDICE COMPUESTO DE VULNERABILIDAD DE PLAYAS (IVP).....	103
7.6.1. Celda I	103
Playa Norte	103
Playa Regatas.....	105
7.6.2 Celda II.	106
Playa Villa del Mar	106
Playa José Martí.....	107
Costa de Oro	108
7.6.3 Celda III	111
Mocambo	111
Santa Ana.....	112
El Estero	114
7.7. ANÁLISIS DE CONFLICTOS.....	115
7.7.1 Celda I	121
Playa Norte	121
Playa Regatas.....	121
7.7.2. Celda II	122
Playa Villa del Mar.....	122
Playa José Martí.....	122
Playa Costa de Oro.....	123
7.7.3 Celda III	123
Playa Mocambo	123
Playa Santa Ana	123
Playa El Estero.....	124
8.- DISCUSIÓN	125
8.1 ANÁLISIS ESPACIAL	127
8.1.2 Análisis de cambio de uso de suelo en las celdas litorales.	128
8.2 EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DE PLAYAS MEDIANTE EL USO DE INDICADORES COMPUESTOS.....	130
8.2.1 Cambios en el grado de vulnerabilidad en las playas de Veracruz.....	135
8.3 MANEJO DE PLAYAS EN EL PRESENTE Y PLANEACIÓN.....	140
8.3.1 Estrategia basada en alternativas de planeación.....	146
9.- CONCLUSIÓN	151

10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	153
ANEXO	168

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. NIVELES DE SÍNTESIS DE INFORMACIÓN DE UN PROBLEMA DE MANEJO AMBIENTAL Y EL PÚBLICO AL CUAL ESTÁ DIRIGIDO	17
FIGURA 2. ÁREA DE ESTUDIO	21
FIGURA 3. EJEMPLO DE OBRAS DE PROTECCIÓN COSTERA EN EL ÁREA DE ESTUDIO.	22
FIGURA 4. MORFOLOGÍA Y PROCESOS HIDRODINÁMICOS EN PLAYAS Y DIVISIÓN DE LA ZONA LITORAL ACTIVA.....	27
FIGURA 5. LÍMITES DE LA PLAYA PARA ESTE ESTUDIO.....	28
FIGURA 6. MECANISMOS DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS DE LAS PLAYAS EN UNA CELDA LITORAL TÍPICA.	29
FIGURA 7. ESCALAS ESPACIALES Y TEMPORALES PARA EL ESTUDIO DE LOS PROCESOS EN PLAYAS	33
FIGURA 8. MARCOS TEÓRICOS UTILIZADOS E INTEGRACIÓN PARA EVALUAR LOCALMENTE LA VULNERABILIDAD DE PLAYAS A LA CONSTRUCCIÓN DE OBRAS DE PROTECCIÓN COSTERA.....	41
FIGURA 9. DIGITALIZACIÓN DE LA LÍNEA DE COSTA SOBRE ORTOFOTO	46
FIGURA 10 .MÉTODO PARA CALCULAR EL ANCHO DE PLAYA EN TRANSECTOS EQUIDISTANTES UTILIZANDO LA HERRAMIENTA DSAS 4.1.....	52
FIGURA 11. MÉTODO PARA DETERMINAR LA TASA DE CAMBIO DE LA LÍNEA DE COSTA	57
FIGURA 12. LÍMITES DE LAS CELDAS LITORALES	63
FIGURA 13. POLÍGONOS QUE REPRESENTAN LOS MOSAICOS DE FOTO AÉREA DISPONIBLES (1946, 1961, 1975 Y 2007)....	64
FIGURA 14. PLAYAS EN LA CELDA I.....	71
FIGURA 15. PLAYAS EN LA CELDA II.....	72
FIGURA 16. PLAYAS EN LA CELDA III.....	73
FIGURA 17. PLAYA NORTE. ANCHO DE PLAYA POR TRANSECTOR.....	74
FIGURA 18.PLAYA REGATAS. ANCHO DE PLAYA POR TRANSECTOR.	74
FIGURA 19.PLAYA VILLA DEL MAR. ANCHO DE PLAYA POR TRANSECTOR.	77
FIGURA 20. PLAYA JOSÉ MARTÍ. ANCHO DE PLAYA POR TRANSECTOR.	77
FIGURA 21. PLAYA COSTA DE ORO. ANCHO DE PLAYA POR TRANSECTOR.	79
FIGURA 22. PLAYA .MOCAMBO. ANCHO DE PLAYA POR TRANSECTOR.	81
FIGURA 23. PLAYA SANTA ANA. ANCHO DE PLAYA POR TRANSECTOR.....	81
FIGURA 24. PLAYA EL ESTERO. ANCHO DE PLAYA POR TRANSECTOR.	82
FIGURA 25PLAYA NORTE. TASAS DE CAMBIO DE LA LÍNEA DE COSTA EN TRES PERIODOS.....	95
FIGURA 26. PLAYA REGATAS. TASAS DE EROSIÓN-ACRECIÓN EN TRES PERÍODOS.....	96
FIGURA 27. PLAYA VILLA DEL MAR. TASAS DE EROSIÓN-ACRECIÓN EN TRES PERÍODOS.....	97
FIGURA 28. PLAYA JOSÉ MARTÍ. TASAS DE EROSIÓN-ACRECIÓN EN TRES PERÍODOS.	98
FIGURA 29. PLAYA COSTA DE ORO. TASAS DE EROSIÓN-ACRECIÓN EN TRES PERIODOS.....	99
FIGURA 30. PLAYA MOCAMBO. TASAS DE EROSIÓN-ACRECIÓN EN TRES PERIODOS.	101
FIGURA 31. PLAYA SANTA ANA. TASAS DE EROSIÓN-ACRECIÓN EN TRES PERÍODOS.....	102

FIGURA 32. EL ESTERO. TASAS DE EROSIÓN ACRECIÓN EN TRES PERÍODOS.....	103
FIGURA 33. CAMBIOS EN EL GRADO DE VULNERABILIDAD EN LOS TRANSECTOS DE PLAYA NORTE.....	105
FIGURA 34. PLAYA JOSÉ MARTÍ EN LOS 60S Y EN EL 2007. PLAYA CONSTRUIDA ARTIFICIALMENTE Y PROTEGIDA CON ESPIGONES.....	108
FIGURA 35. CAMBIOS EN EL GRADO DE VULNERABILIDAD DE LOS TRANSECTOS DE PLAYA COSTA DE ORO.	110
FIGURA 36. CAMBIOS EN EL GRADO DE VULNERABILIDAD. PLAYA SANTA ANA.	114
FIGURA 37. CAUSA EFECTO (OPC-PLAYA) EN LAS PLAYAS DE LA ZONA METROPOLITANA DE VERACRUZ. El E	119
FIGURA 38. TRANSECTOS 14 AL 17 EN LA PLAYA COSTA DE ORO (CELDIA II) EN 2007 CON GRADOS DE VULNERABILIDAD MEDIO	137
FIGURA 39. TRANSECTOS EVALUADOS EN PLAYA NORTE EN 2007.	139
FIGURA 40. PLAYA El ESTERO TRANSECTOS 1 AL 7 EN 2007. BARRA EN LA DÉCADA DE LOS 50S.	140
FIGURA 41. OPCIONES DE MANEJO DE PLAYAS VULNERABLES A LA EROSIÓN POR OPC.	148

INDICE DE TABLAS

TABLA 1. FOTOGRAFÍAS AÉREAS UTILIZADAS PARA EL ANÁLISIS ESPACIAL.....	45
TABLA 2. CRITERIOS PARA CALIFICAR EL ESTADO DE LA DUNA COLINDANTE CON CADA TRANSECTO EVALUADO.....	53
TABLA 3. MATRIZ PARA DETERMINAR EL GRADO DE VULNERABILIDAD DE LOS TRANSECTOS.....	60
TABLA 4. ERROR PROMEDIO DE LOS MOSAICOS GEOREFERIDOS.....	62
TABLA 5. CAMBIOS DE SUPERFICIE POR USO DE SUELO.....	65
TABLA 6. CAMBIO DE USO DE SUELO EN LA CELDA II.....	68
TABLA 7. CAMBIO DE USO DE SUELO. CELDA III.....	69
TABLA 8. TIPO Y NÚMERO DE OBRAS DE PROTECCIÓN COSTERA PERPENDICULARES A LA LÍNEA DE COSTA QUE FUERON OBSERVADAS EN CADA PERÍODO.....	70
TABLA 9. PLAYAS EN LA CELDA I. ANCHO PROMEDIO Y VARIANZA.....	75
TABLA 10. PLAYAS DE LA CELDA II. ANCHO PROMEDIO Y VARIANZA.....	78
TABLA 11. PLAYA DE LA CELDA II. ANCHO PROMEDIO Y VARIANZA.....	80
TABLA 12. CELDA I. GRADO DE CONECTIVIDAD DUNA-PLAYA EN CADA TRANSECTO DE PLAYA.....	83
TABLA 13. CELDA II. GRADO DE CONECTIVIDAD DUNA-PLAYA EN CADA TRANSECTO DE PLAYA.....	87
TABLA 14. CELDA III. GRADO DE CONECTIVIDAD DUNA-PLAYA EN CADA TRANSECTO DE PLAYA	88
TABLA 15. LONGITUD DE LAS OBRAS DE PROTECCIÓN COSTERA EN METROS DESDE LA LÍNEA DE COSTA EN LA CELDA I. <i>R CORRESPONDE A ROMPEOLAS, E A ESPIGONES Y TGM A TERRENOS GANADOS AL MAR.</i>	89
TABLA 16. LONGITUD DE LAS OBRAS DE PROTECCIÓN COSTERA EN METROS DESDE LA LÍNEA DE COSTA EN LA CELDA II. <i>R CORRESPONDE A ROMPEOLAS, E A ESPIGONES Y TGM A TERRENOS GANADOS AL MAR.</i>	90
TABLA 17. LONGITUD DE LAS OBRAS DE PROTECCIÓN COSTERA EN METROS DESDE LA LÍNEA DE COSTA EN LA CELDA III.	91
TABLA 18. ESCALA LINEAL DE ACUERDO AL TAMAÑO DE LA OBRA DE PROTECCIÓN COSTERA POR TIPO.	92
TABLA 19. CELDA I. ESCALA DE LONGITUD DE CADA TIPO DE OPC POR CELDA. GRADO DE IMPACTO POR TIPO DE OPC,.....	93
TABLA 20. CELDA II. ESCALA DE LONGITUD DE CADA TIPO DE OPC POR CELDA. GRADO DE IMPACTO POR TIPO DE OPC.....	93
TABLA 21. CELDA III. ESCALA DE LONGITUD DE CADA TIPO DE OPC POR CELDA. GRADO DE IMPACTO POR TIPO DE OPC.	94
TABLA 22. GRADO DE VULNERABILIDAD. PLAYA NORTE.....	104
TABLA 23. GRADO DE VULNERABILIDAD. PLAYA REGATAS.....	105
TABLA 24. GRADO DE VULNERABILIDAD. PLAYA VILLA DEL MAR.	107
TABLA 25. GRADO DE VULNERABILIDAD. PLAYA JOSÉ MARTÍ.....	108
TABLA 26. GRADO DE VULNERABILIDAD. PLAYA COSTA DE ORO.	109
TABLA 27. GRADO DE VULNERABILIDAD. PLAYA MOCAMBO.	111
TABLA 28. VULNERABILIDAD. PLAYA SANTA ANA.....	113
TABLA 29. VULNERABILIDAD. PLAYA EL ESTERO.	115
TABLA 30. EFECTOS DE LAS OBRAS DE PROTECCIÓN COSTERA EN LAS PLAYAS.	115

TABLA 31. PROBLEMAS ASOCIADOS A LOS EFECTOS DE EROSIÓN Y DESAPARICIÓN DE PLAYA A CAUSA DE OBRAS DE PROTECCIÓN COSTERA.....	116
TABLA 32. CLAVE DE AUTORES CONSULTADOS PARA IDENTIFICAR PROBLEMAS ASOCIADOS A LOS EFECTOS DE EROSIÓN COSTERA Y DESAPARICIÓN DE PLAYA.....	117
TABLA 33. MATRIZ RELACIÓN CAUSA-EFECTO -PROBLEMA EN LAS PLAYAS DE LA ZMV.	120
TABLA 34. COSTOS DE CONSTRUCCIÓN Y MANTENIMIENTO DE OBRAS DE PROTECCIÓN COSTERA.	142

RESUMEN

Las playas son ambientes sedimentarios de alta energía cuya dinámica se da, espacialmente, a escala de celda litoral. Pueden ser más o menos vulnerables a estímulos externos, de origen natural o humano, en función de la naturaleza y magnitud del estímulo y de las características intrínsecas de la playa. En este trabajo se evaluó la vulnerabilidad de las playas de Veracruz ante los efectos adversos de las obras de protección costera a través del planteamiento de una aproximación conceptual que integra varios insumos teóricos en el marco de los indicadores de presión-estado-respuesta que permitió hacer operativa la evaluación de la vulnerabilidad; entendiendo a ésta, como una propiedad abstracta de las playas. Los datos se obtuvieron a partir de ortofotos verticales históricas en cuatro tiempos en un período de 50 años, las cuales se georefirieron para formar mosaicos, se digitalizaron y analizaron a través del uso de las herramientas ArcGIS 9.3 y DSAS 4.0. Se evaluaron los cambios de uso de suelo en tres períodos para identificar las fuerzas motrices relacionadas con la construcción de obras de protección costera (OPC), cambios de las OPC y la dinámica histórica en playas. Las playas se delimitaron con criterios geomorfológicos, obteniendo datos a escala de transectos equidistantes de 150 m. Éstos se integraron en indicadores compuestos de presión por OPC y resiliencia. El índice de resiliencia representa la capacidad de la playa de resistir la presión por obras de protección costera y absorber los cambios que estas generan en sus procesos sedimentarios. El índice de presión está compuesto por el índice de obras de protección costera (IOPC) y la tasa de cambio de la línea de costa (TC). La evaluación de estos dos indicadores permitió conocer la vulnerabilidad por transecto a lo largo de ocho playas en el área de estudio. De las ocho playas evaluadas se encontraron tres patrones: 1) se mantiene vulnerabilidad (media). Las cuatro playas, localizadas dentro de la zona urbana conservaron en todo el período de análisis, un grado de vulnerabilidad medio en la mayor parte de sus transectos con una tendencia hacia la reducción del grado de resiliencia y un incremento en la magnitud de la presión. 2) Incrementa la vulnerabilidad. Tres playas fuera de la zona urbana incrementaron su vulnerabilidad, de media a alta y muy alta, en sólo 50 años, en la mayor parte de los transectos. Esto sucedió porque pasaron de muy altos grados de resiliencia y muy bajos de presión, a lo opuesto, 3) Disminuye la vulnerabilidad (por prácticas ingenieriles de rehabilitación de playas). Una playa preservó una resiliencia baja en la mayoría de sus transectos hasta 1975 y en 2007 lo redujo aún más en los transectos remanentes, pero no por causas naturales, sino porque hubo una sustitución de la playa natural por rellenos artificiales. Se identificaron los principales efectos de las OPC y problemas percibidos a través de diagramas de redes causales para conocer la complejidad de la vulnerabilidad de playas y se propuso una estrategia a seguir para cambiar del manejo reactivo a la planeación y manejo de la vulnerabilidad de playas, lo cual puede aplicarse en la zona de estudio y extrapolarse al resto del país.

1. INTRODUCCIÓN

Las playas son ambientes sedimentarios altamente dinámicos que se localizan en la zona de transición entre el medio marino y el medio terrestre. Tienen una estrecha y compleja relación con las dunas costeras y la zona de acarreo litoral a través de un constante intercambio, almacenamiento y transporte de sedimentos el cual es modulado por la interacción de las fuerzas oceánicas y atmosféricas con la geomorfología de la costa (Komar, 1998; Short, 1999; Nordstrom, 2000; Schlacher *et al.*, 2008). Para su estudio, cada vez más, las playas son analizadas dentro de unidades funcionales denominadas celdas litorales. Éstas representan los compartimentos espaciales en los cuales se da este complejo flujo de sedimentos (Marchand, 2010; CONSCIENCE Project, 2010; Marchand 2011, Jiménez *et al.*, 2011).

Se trata de ambientes que tienen patrones de variación que pueden observarse a diferentes escalas temporales y espaciales, siendo la mesoescala (espacial y temporal) en la cual se observan las variaciones sedimentarias de las playas y los cambios en la Línea de costa (Horn, 2008).

Las playas son vulnerables a sufrir cambios en su dinámica sedimentaria natural al interaccionar con estímulos externos. Tal es el caso de eventos meteorológicos extremos (p.e. tsunamis o huracanes) o presiones de origen antropogénico, como los cambios artificiales de la línea de costa (Schlacher *et al.*, 2008; Defeo *et al.*, 2009). El grado de vulnerabilidad de las playas está relacionado con sus características morfológicas (largo y ancho) (Jiménez *et al.*, 2011) y con la dinámica sedimentaria en la cual están

inmersas. Esta dinámica está determinada por las rutas de abasto, transporte y pérdida de sedimentos en la celda litoral y la conectividad de la playa con las dunas y la zona de transporte litoral (Marchand *et al.*, 2011; Schlacher *et al.*, 2008).

Además de ser ambientes con una importancia ecológica clave (Schlacher *et al.*, 2008; Defeo *et al.*, 2009), para el ser humano también tienen funciones clave, entre ellas destacan las de protección (contra la energía de fuerzas oceánicas y atmosféricas), recreativa, de abasto de recursos (biológicos y minerales) (Valdemoro, 2005; Jiménez *et al.*, 2011) y otras (ver Schlacher *et al.*, 2008; Defeo *et al.*, 2009). Son ambientes que sostienen diversos usos humanos entre los que destacan los siguientes: residencial, infraestructura marítima e industrial, turístico y explotación de recursos naturales (Clark 1996, Kay y Alder 1999, Defeo 2007, Schlacher *et al.*, 2008; Defeo *et al.*, 2009). Estos usos afectan directamente la morfología de las playas y la conectividad con sus ambientes subsidiarios terrestres, las dunas costeras (Siemens *et al.*, 2006).

La construcción de “obras de protección costera” (OPC) (p.e. escolleras, rompeolas, muros longitudinales y terrenos ganados al mar) se asocia con los usos antes mencionados y sus objetivos primordiales son: a) modificar las fuerzas oceánicas, b) cambiar la geomorfología de la costa o c) mantener la línea de costa (Dilley y Rasid, 1990; Azuz-Adeath, 2002; Salles y Silva, 2004; PIANC, 2010). Sin embargo, la alteración de la dinámica natural del flujo de sedimentos en el ambiente subsidiario marino (la zona de transporte litoral) y su interacción con las playas, en ocasiones, tiene efectos “no deseados” o “contrarios” al “estatus sedimentario deseado” (CONSCIENCE Project, 2010; Marchand *et al.* 2011; van Rijn 2011) que es

determinado por la función que representa un determinado segmento de playa en un momento dado. Esto lleva a la presencia de conflictos entre los que destacan la pérdida de atractivo paisajístico y recreativo de las playas, la reducción de la función de protección, la reducción del valor de propiedades costeras e incluso, el daño a infraestructura humana (Ariza *et al.*, 2008; Schlacher *et al.*, 2008).

El estado de Veracruz es predominantemente costero (29.3% de la costa mexicana del Golfo de México) y cuenta con extensas zonas de playa (SCT, 2008). En la Zona Metropolitana de Veracruz (ZMV), las playas sustentan las principales actividades económicas: el transporte comercial marítimo y el turismo de playa (SCT, 2008).

Las últimas tres décadas del siglo XX representaron la consolidación de la ciudad de Veracruz como destino turístico nacional y reafirmaron su importancia histórica como puerto marítimo comercial (Gallegos y López, 2006). Al presente, la agenda de desarrollo litoral de Veracruz incluye una amplia cartera de proyectos de impacto regional y local para la ZMV (SCT, 2008). Entre los principales proyectos destacan tres marinas, un paseo de playa, un muelle para cruceros (ACIS Boca del Río, 2007-2012) y la ampliación del puerto de Veracruz (SCT, 2008). Todos ellos involucran la construcción de obras de protección costera, paralelas y perpendiculares a la línea de costa, de diferente magnitud. Además de la realización de rellenos para ganar terreno al mar y por tanto, la alteración de la geomorfología de la costa (ACIS Boca del Río 2007; SCT, 2008).

Ante el acelerado desarrollo del litoral en los últimos años y a la gran cantidad de proyectos que pretenden desarrollarse en la ZMV, es de primera importancia conocer la

vulnerabilidad de las playas a los efectos provocados por la construcción de las obras de protección costera. Es por esto que se propone una aproximación teórica y metodológica que permita entender de manera sintética la complejidad de interacciones entre las playas de la ZMV y las obras de protección costera.

Los indicadores compuestos son una representación simplificada que busca resumir un concepto multidimensional en un índice simple (unidimensional) con base en un modelo conceptual subyacente. Puede ser de carácter cuantitativo o cualitativo según los requerimientos del analista. Se define como una función de una o más variables, que conjuntamente “miden” una característica o atributo de los individuos en estudio. Éstos han ganado interés porque resultan eficaces en la formulación y el análisis de políticas públicas así como su evaluación y comunicación (Ramieri *et al.*, 2011)

La construcción de un indicador compuesto requiere de: a) definir claramente el atributo que se desea medir, y b) contar con información confiable y medible. La satisfacción de la primera condición dará al indicador compuesto un *sustento conceptual*, mientras que la segunda le otorgará *validez* (Ramieri *et al.*, 2011). El grado de síntesis de la información sirve para probar hipótesis y teorías (científicas), tomar decisiones (indicadores), comunicar el estado de procesos complejos en valores simples (todo público) (Figura 1).

El comprender a través de un enfoque integrado y a través de indicadores compuestos como varía la vulnerabilidad de las playas a través del tiempo representa una valiosa herramienta para el manejo de estos ambientes y permite sentar bases para que los

tomadores de decisiones evalúen sus esfuerzos de manejo (Ortíz *et al.*, 2007), o evalúen políticas, líneas de desarrollo e incluso proyectos en sitios específicos.

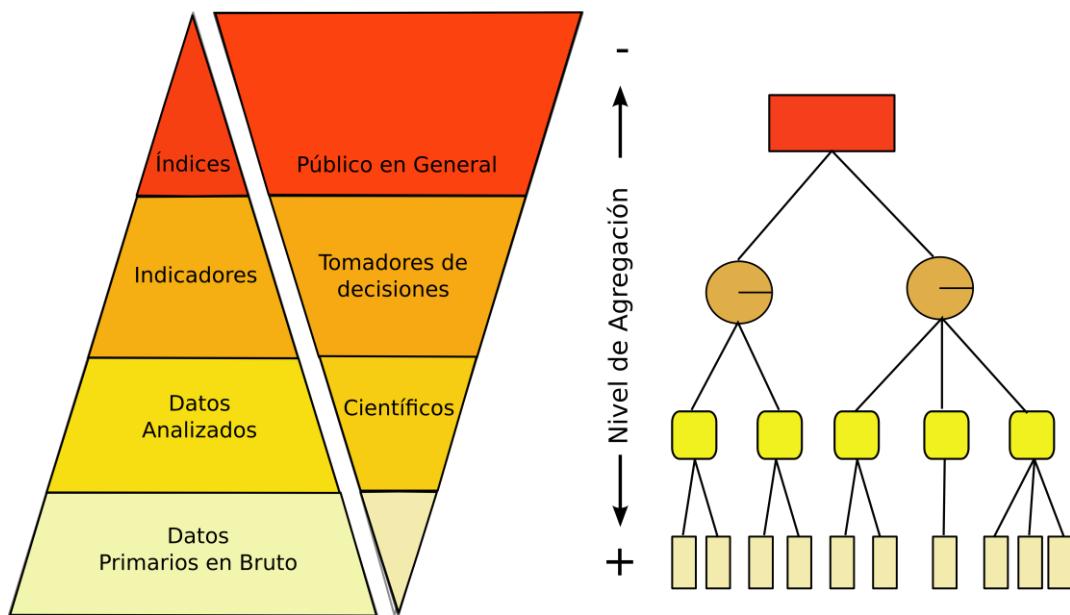


FIGURA 1. NIVELES DE SÍNTESIS DE INFORMACIÓN DE UN PROBLEMA DE MANEJO AMBIENTAL Y EL PÚBLICO AL CUAL ESTÁ DIRIGIDO. (MODIFICADA DE ARREDONDO-GARCÍA, 2007).

2. ANTECEDENTES

2.1. Enfoques para el estudio de vulnerabilidad de playas.

La vulnerabilidad de la zona costera es un tema ampliamente estudiado; los enfoques de riesgo (Jones y Böer, 2003), el enfoque social (Ford, 2002) y más recientemente, el enfoque sintético (Ionescu *et al.*, 2009; Hinkel 2011), son los más utilizados para estudiar la vulnerabilidad de la costa.

En particular, los estudios de vulnerabilidad se enfocan en la erosión (Alexandrakis *et al.*, 2009), los efectos del cambio climático (Hinkel, 2008; Hinkel y Kline, 1996) o la incidencia de eventos meteorológicos extremos (Jiménez *et al.*, 2009). Se han propuesto diversos índices de vulnerabilidad de la zona costera o de ambientes costeros particulares (p.e. dunas o playas), los cuales se hacen preferentemente a escala subregional, regional y mundial (Ramieri *et al.*, 2011). Actualmente se aplican estas metodologías para casos específicos, modificándolas de acuerdo con el tipo de información disponible (p.e. Alexandrakis *et al.*, 2009; Mwakumanya *et al.*, 2009; Bernatchez y Fraser, 2012, El Mrini *et al.*, 2012).

El amplio interés en conocer la vulnerabilidad de las playas a diversos estímulos, obedece a la importancia creciente que tienen a nivel mundial como generadoras de divisas (Defeo *et al.*, 2009); sin embargo, no existen estudios que evalúen la vulnerabilidad de las playas a los efectos por la construcción de obras de protección costera. Los estudios sobre vulnerabilidad que se han realizado hasta el presente están

relacionados con los impactos de las OPC en las playas a nivel mundial (Griggs y Tait, 1988; Nobuo- Munmiura y Nunn, 1998; Tomalla y Vincent, 2003).

Destacan los estudios que se centran en los siguientes temas: a) las modificaciones al transporte litoral (Griggs y Tait, 1998; Miles *et al.*, 2001; Hsu *et al.*, 2007); b) los efectos de los rellenos asociados al desarrollo de puertos (Douven *et al.*, 2003; Cisin-Sain y Belfiore, 2005); c) los efectos erosivos de los muros longitudinales y el “armado de la costa” (Hall y Pilkey, 1991; Weigel, 2002; d) Los impactos en otros ambientes marinos someros como pastos marinos y arrecifes (Maharaj, 2001; Chou y Tunn, 2005).

En México se han realizado algunos estudios de vulnerabilidad de la costa y de algunos ambientes costeros desde un enfoque de riesgo. Destacan los estudios de: Espejel *et al.* (2007) que plantean que los factores de riesgo dependen de las actividades humanas en la zona costera y varían de acuerdo con el tipo de usos desarrollados; Camacho Valdez *et al.*, (2008) que evalúan la vulnerabilidad ante el cambio climático; Martínez *et al.*, (2006), quienes evalúan la vulnerabilidad de las dunas costeras ante disturbios naturales y humanos en Veracruz; Delgado-González *et al.*, (2005) que evalúan los cambios en la posición de la línea de costa en Baja California; Lizárraga Arciniega *et al.*, (2003) que evalúan estos cambios en Playas de Baja California con respecto al efecto del Niño; y Ortíz-Pérez y Méndez Linares (1999) que evalúan la vulnerabilidad de la costa atlántica ante variaciones del nivel del mar.

También se ha evaluado la vulnerabilidad desde un enfoque social, destacando los estudios de Buenfil y Friedman (2009) que evalúan la vulnerabilidad social de los humedales costeros ante el cambio climático; Saldaña-Zorrilla, (2008) que estudia

alternativas de reducción de la vulnerabilidad social a desastres naturales en el sur de México y Beraud-Lozano y Cervantes Rodríguez (2009) que estudian la vulnerabilidad socio-ambiental en Mazatlán.

En la Ciudad de Veracruz no se han hecho estudios de vulnerabilidad en playas, sin embargo, existen tres estudios que han servido como referencia para algunos aspectos de esta tesis: Jiménez-Oroco (2010) hace un análisis espacio-temporal de la erosión-acreción en costas de Veracruz, y Quintero-Gómez, (2003) y Gómez-Tirado y Miranda-Zacarías (2009) analizan los impactos de algunas obras de protección costera en la ciudad de Veracruz.

2.2. Área de Estudio

Se estudiaron las playas de la ZMV, la cual se localiza en una llanura costera constituida básicamente por playas arenosas y vastos campos de dunas (Siemens *et al.*, 2006). Se observan algunas bahías que son abiertas y que delimitan las celdas litorales (PRONATURA, 2005; Ortiz y de la Lanza, 2006).

El área de estudio se encuentra bajo la influencia de las descargas sedimentarias de los ríos Antigua y Jamapa, los cuales subsidian las playas y campos de dunas. Algunas de estas playas se encuentran protegidas por los arrecifes (Punta Gorda, Ingeniero, Gallega, Galleguilla Blanquilla, Anegada de adentro, Hornos Sacrificios, Pájaros, Verde e Ingeniero) que conforman la porción norte del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV). (SCT, 2008) (Fig. 2).

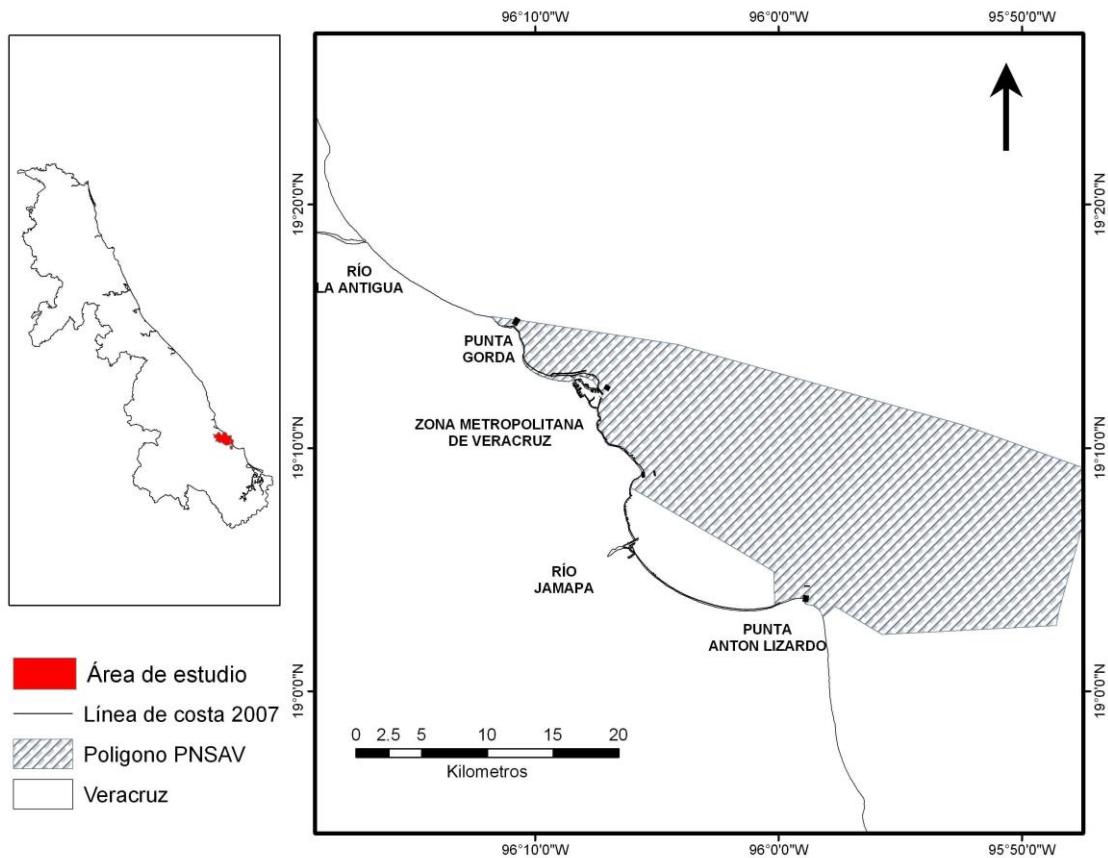


FIGURA 2. ÁREA DE ESTUDIO

Entre las actividades preponderantes en el área de estudio destacan las comerciales, portuarias, turísticas y de desarrollo urbano.

2.3. Playas y obras de protección costera

- Algunas de las playas estudiadas están protegidas por arrecifes, mientras que otras están expuestas. Algunas de ellas se asocian con los siguientes tipos de infraestructuras de protección costera (Quintero-Gómez, 2003):
 - Terrenos ganados al mar sobre playa y arrecifes someros desarrollados con usos portuario, turístico o recreativo.

- b) Rompeolas perpendiculares u oblicuos a la línea de costa, de gran longitud (hasta 3 km) asociadas al Puerto de Veracruz y a la desembocadura del Río Jamapa;
- c) Escolleras asociadas a la desembocadura del Río Jamapa;
- d) Espigones asociados a las playas arenosas con fines recreativos (Fig. 2);
- e) Muros longitudinales paralelos a la línea de costa asociados a infraestructura urbana y turística, que tienen la finalidad de mantener la línea de costa en su posición.



FIGURA 3. EJEMPLO DE OBRAS DE PROTECCIÓN COSTERA EN EL ÁREA DE ESTUDIO.

Espigón frente al Hotel Punta Azul. Fuente: www.elgolfo.info 14 de Septiembre 2010.

2.4. Circulación litoral local

El aporte de sedimentos a las playas en su porción marina se rige por los patrones de acarreo de litoral locales.

El transporte de sedimentos en el área de estudio tiene dos principales fuentes de aporte de sedimentos: a) las descargas del Río La Antigua cuyo transporte está dominado de acuerdo con Silva Casarín y Mendoza Baldwin (2009), primero por oleaje, después por viento y por último por la marea astronómica; b) Las descargas del Río Jamapa que son dominadas por un componente del sur durante la mayor parte del año con algunos

cambios de dirección producidos por frentes fríos (Salas-Pérez *et al.*, 2012). La interacción de las corrientes del sur con punta Antón Lizardo, localizada al sur del área de estudio, generan un giro ciclónico, cuyo movimiento vertical produce resuspensión de sedimentos incrementando la cantidad de material cerca de la superficie (Salas-Monreal *et al.*, 2009). Durante el invierno, los fuertes vientos asociados a los frentes fríos traen arena a las zonas someras de la costa incrementando la tasa de sedimentación (Salas-Pérez *et al.*, 2012).

3. HIPOTESIS

Si el ancho de playa y su conectividad con ambientes subsidiarios preservan la capacidad de la playa de responder a estímulos externos y si la urbanización disminuye el ancho de playa e interrumpe la conectividad con ambientes subsidiarios, entonces las playas urbanizadas serán más vulnerables a sufrir efectos no deseados por la construcción de obras de protección costera debido a balances sedimentarios erosivos.

4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la vulnerabilidad de las playas de Veracruz y Boca del Río ante efectos no deseados por la construcción de obras de protección costera.

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Desarrollar un modelo conceptual y metodológico para evaluar la vulnerabilidad de las playas de Veracruz a efectos no deseados provocados por la construcción de obras de protección costera.
2. Definir un conjunto de indicadores que permitan evaluar la vulnerabilidad de los sistemas de playa a los efectos no deseados provocados por la construcción de obras de protección costera.
3. Identificar los sistemas de playa más vulnerables a los efectos no deseados por la construcción de obras de protección costera.
4. Identificar los problemas y conflictos derivados de los efectos por la presencia de las obras de protección costera en las playas.

5. MARCO TEÓRICO

5.1. Playas y celdas litorales.

Short (1999) define una playa como “la acumulación de sedimento por las olas entre la profundidad máxima en la cual las olas pueden transportar material sedimentario hacia la tierra (base de la ola), y el límite hacia tierra de la acción subaérea de la ola y el transporte de sedimentos (límite de “*swash*”). La formación de playa obedece a la acumulación de sedimento en mayor proporción que aquel que se retira de la costa, y donde la forma de la costa ha permitido la estabilización de dicha acumulación y la predominancia de los eventos acrecionales sobre los erosivos en el largo plazo (Seco-Hernández, 2004) (Fig.4).

Las playas se encuentran en la zona de transición marino-terrestre denominada geomorfológicamente como Zona Litoral Activa (ZLA), en la cual los sedimentos se mueven constantemente en equilibrio dinámico (Tinley, 1985; McGwynne y McLachlan (1992) (Fig.4). La ZLA puede subdividirse en tres subzonas: a) la zona infralitoral que se extiende desde el “*swash*” hacia zonas mas profundas donde domina el oleaje; b) la zona mesolitoral que esta ubicada entre el “*swash*” y las dunas frontales presentando interacción entre la energía eólica y el oleaje; y c) la zona supralitoral que va desde las dunas frontales hacia el continente donde finaliza el transporte de arena por viento, predominando la energía eólica y la dinámica de los cauces fluviales (Fig. 4).

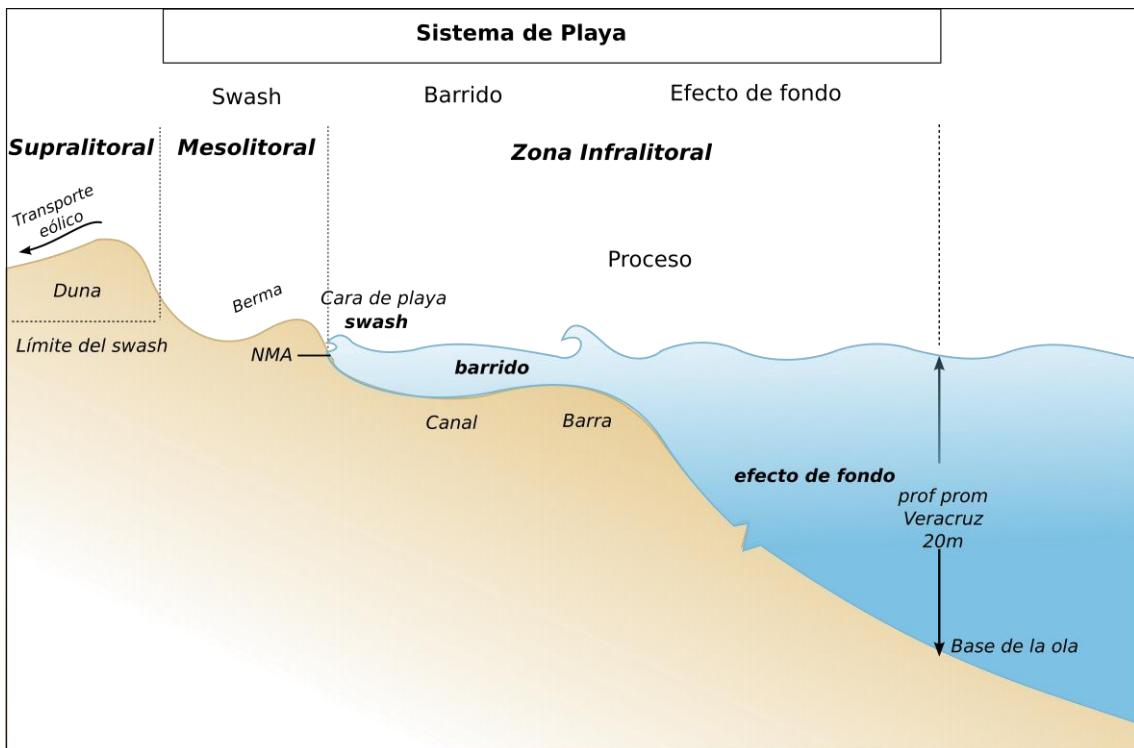


FIGURA 4. MORFOLOGÍA Y PROCESOS HIDRODINÁMICOS EN PLAYAS. DIVISIÓN DE LA ZONA LITORAL ACTIVA DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES DE TINLEY (1984) Y DELIMITACIÓN DE PLAYA DE ACUERDO CON LA DEFINICIÓN DE SHORT (1999).

Williams y Micallef (2009) mencionan que, para efectos de manejo de playas, considerando la interacción humano-ambiente y de acuerdo con los objetivos de manejo, puede establecerse el límite de la playa en su porción terrestre en la base de una duna, la línea de vegetación costera o en la base de un muro longitudinal. En la porción marina éste límite puede establecerse en la línea media del agua o hasta la profundidad de cierre de la ola como límite máximo en la porción marina, si se va a analizar la dinámica de la playa. Este último límite también puede especificarse de otra manera de acuerdo con los objetivos de manejo. Considerando esta propuesta se establecieron los límites de la playa para este estudio como se muestra en la figura 5.

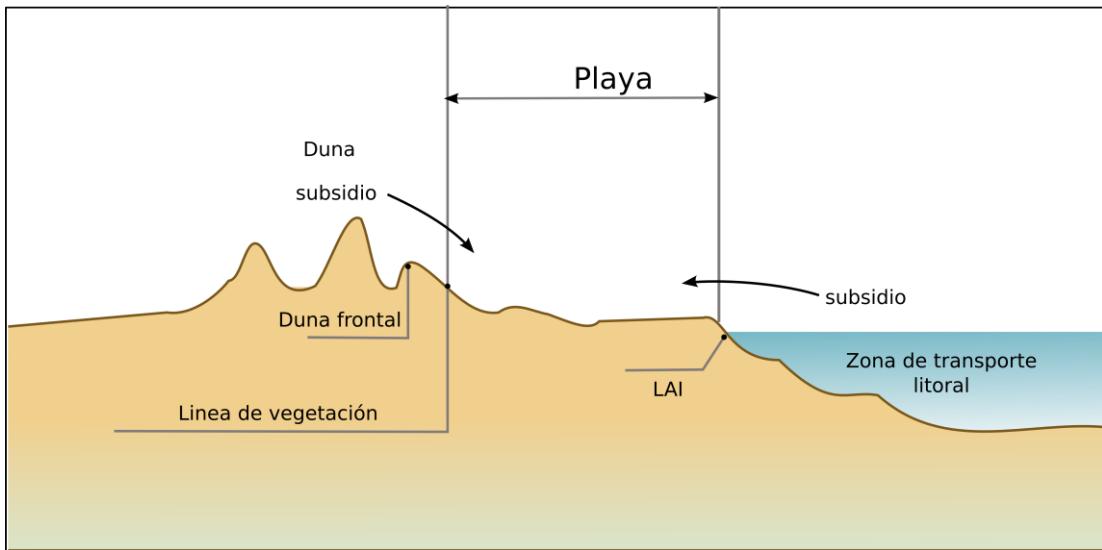


FIGURA 5. LÍMITES DE LA PLAYA PARA ESTE ESTUDIO. EL LÍMITE HACIA TIERRA ES LA LÍNEA DE VEGETACIÓN EN LA BASE DE LA DUNA. EL LÍMITE HACIA EL MAR REPRESENTADO POR EL INDICADOR LÍNEA DE AGUA INSTANTÁNEA (LAI). LA DUNA COSTERA Y LA ZONA DE TRANSPORTE LITORAL LONGITUDINAL SON CONSIDERADAS COMO AMBIENTES SUBSIDIARIOS DE SEDIMENTOS.

Para este estudio, se establece el límite terrestre de la playa como lo establecen Williams y Micallef (2009), desde la base de la duna costera utilizando la línea de vegetación como indicador. El límite hacia el mar se estableció utilizando el indicador Línea de Agua Instantánea (LAI) (Boak y Turner, 2005), el cual es observable en las fotografías aéreas utilizadas (Fig. 5). La zona de transporte litoral, que de acuerdo con otras definiciones corresponde a la porción sumergida de la playa, es considerada en este estudio como ambiente subsidiario de sedimentos, al igual que la duna costera. La playa está estrechamente relacionada con estas dos zonas a través del almacenamiento, transporte e intercambio de arena (Komar, 1998; Schlacher *et al.*, 2008). El transporte de arena está regido por el oleaje en el lado del mar y por el viento en el lado seco (Short, 1999; Nordstrom, 2000) (Fig. 6).

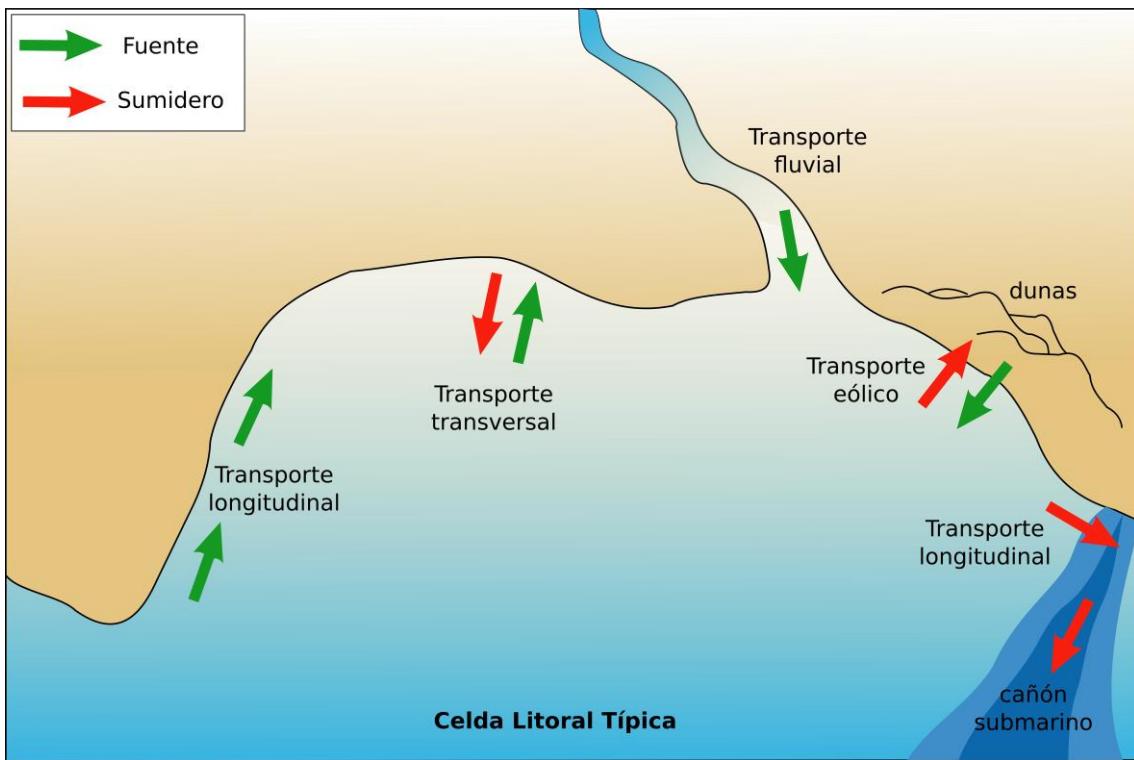


FIGURA 6. MECANISMOS DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS DE LAS PLAYAS EN UNA CELDA LITORAL TÍPICA. MODIFICADO DE NORDSTROM (2000). LAS FLECHAS VERDES SEÑALAN LAS FUENTES DE SEDIMENTOS, LAS FLECHAS ROJAS INDICAN LOS SUMIDEROS DONDE SE PIERDEN LOS SEDIMENTOS.

La dinámica litoral natural de las playas está determinada por fuerzas atmosféricas, astronómicas y oceánicas, las cuales, al interactuar con la geomorfología de la costa, generan un balance sedimentario que moldea la morfología costera a través del tiempo (Marchand, 2010) (Fig. 6). Este puede ser positivo (acreción), neutro (balance) o negativo (erosión) (Marchand *et al.*, 2011) y ser alterado por eventos meteorológicos extremos, por la modificación de los aportes al sistema (agua dulce, sedimentos) o por los cambios morfológicos artificiales de la costa (Marchand, 2010), como la construcción de obras de protección costera o la construcción de rellenos (Nordstrom 2000).

Existen diferentes clasificaciones de las playas. Pueden clasificarse de acuerdo con su dinámica como disipativas o reflectivas; pueden ser naturales o artificiales; de acuerdo con su forma puede tratarse de playas de bahía o de bolsillo, lineales o de espiral logarítmica o también pueden clasificarse antropológicamente como remotas, rurales, urbanas o resort (Micallef y Williams, 2009).

En playas que tienen algún uso humano es una práctica común la construcción de OPC. El efecto sedimentario generado por la interacción de las playas con las OPC puede ser contrario al deseado. Para efectos de manejo, Jiménez *et al.* (2011) definen “estatus sedimentario favorable” como “la situación de los sedimentos costeros que permite, o facilita, alcanzar un objetivo general y preservar las costas dinámicas en particular”. En estudios costeros, se considera generalmente, que la erosión es el estatus sedimentario no deseado (Cooper y McKenna, 2008; Marchand *et al.*, 2011; Stanica *et al.*, 2011, CONSCIENCE Project, 2010), mientras que el balance y la acreción son los balances sedimentarios preferidos (Marchand *et al.*, 2011; Stanica *et al.*, 2011). No obstante, Jiménez *et al.*, (2011) considera que de acuerdo con los usos y funciones de la playa, se puede establecer cuál es el estatus sedimentario favorable.

Los efectos no deseados en las playas pueden llegar incluso a comprometer las funciones de las playas y los usos o valores naturales o socio-económicos asociados a ellas (Defeo *et al.*, 2009).

Los cambios en el balance sedimentario que afectan a una playa se dan en una escala más grande que la playa misma, que corresponde a una unidad geomorfológica que se conoce como celda sedimentaria costera o celda litoral (Marchand *et al.*, 2011). Ésta, se

define como un compartimento costero que contiene un ciclo sedimentario completo incluyendo fuentes, rutas y sumideros (Fig. 6). Los límites de la celda delinean el área geográfica dentro de la cual se da un presupuesto sedimentario ofreciendo un marco para el análisis costero de la erosión-acrección. En el marco propuesto por Marchand *et al.* (2011) las celdas sedimentarias costeras constituyen la unidad más apropiada para lograr objetivos de manejo. En el manejo de playas el uso del concepto de celda litoral se ha utilizado para entender los cambios en el balance sedimentario de las playas (CONSCIENCE Project, 2010; Peynador y Méndez-Sánchez, 2010; van Rijn, 2011; Barnard *et al.*, 2012).

Dentro de la celda litoral, y de acuerdo con sus características intrínsecas, las playas tienen una capacidad inherente de amoldarse a cambios naturales (como tormentas) o inducidos por el hombre (como los provocados por la construcción de OPC) (Jiménez *et al.*, 2009, Marchand *et al.*, 2011). Las características morfológicas (largo y ancho) de la playa las hacen ser más o menos susceptibles a los efectos no deseados producto de su interacción con las OPC (Valdemoro, 2005). Jiménez *et al.*, (2011) y Bernatchez y Fraser (2012), hacen hincapié en la importancia del ancho de playa como indicador y como característica morfológica que da flexibilidad a la línea de costa de recuperarse por la presión de eventos naturales o antropogénicamente inducidos.

Las playas arenosas, incluyendo las dunas y las áreas submareales, forman un complejo funcional cuyas funciones se pierden en la medida en que son afectadas sus interacciones (Schlacher *et al.*, 2008) y son ambientes altamente sensibles a elementos externos o cambios humanos (Defeo *et al.*, 2009).

5.2. Heterogeneidad ambiental y escalas espaciales de los procesos en playas

Las playas son ambientes que son considerados como sistemas complejos (García, 1994; Duval, 1999). Tienen una localización geográfica en la cual se dan fenómenos que pueden agruparse en una serie de componentes o subsistemas homogéneos que están funcionalmente conectados entre sí (Ortíz-Lozano, 2006).

Las playas forman parte de la heterogeneidad espacial de la zona costera, la cual se manifiesta por la presencia de diferentes partes que forman un todo. Cada vez que una propiedad estructural o funcional del sistema cambia en forma discontinua o modulada éstas partes se manifiestan (Kolasa y Rollo, 1991). Para comprender las relaciones entre los procesos de los ecosistemas y sus patrones espaciales es necesario cuantificar la heterogeneidad espacial (Turner *et al.*, 2003).

La heterogeneidad espacial se ocupa de distinguir, organizar y jerarquizar las señales de discontinuidad que ocurren a través del espacio. Las discontinuidades se crean y se mantienen por un conjunto de factores modeladores y ocurren en un espectro completo de escalas espaciales y temporales (Escofet, 2004). La escala de análisis de un sistema depende de la dinámica natural de sus procesos y de los objetivos de manejo (Liu y Taylor, 2002).

Las playas se estudian en un amplio rango de escalas; temporalmente desde instantáneo hasta milenios y espacialmente desde pocos milímetros y hasta kilómetros. Los estudios a mesoescala van de meses a décadas y de cientos de metros a decenas de kilómetros

(Larson y Kraus, 1995) (Figura 7). Estos estudios se asocian frecuentemente con procesos sedimentarios y evaluaciones a escala de celda litoral (Horn, 2008).

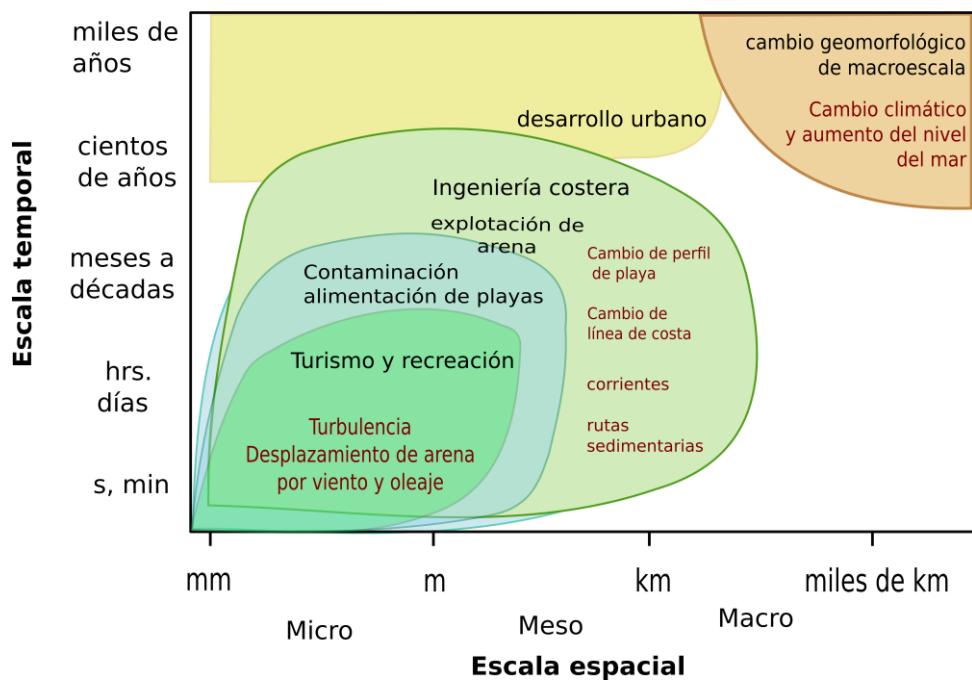


FIGURA 7. ESCALAS ESPACIALES Y TEMPORALES PARA EL ESTUDIO DE LOS PROCESOS EN PLAYAS (EN ROJO) Y DE LOS EFECTOS DE LAS ACTIVIDADES HUMANAS (EN NEGRO) (MODIFICADA DE DEFEO *ET AL.*, 2009)

Los estudios de mesoescala se dirigen cada vez más a obtener información relevante para resolver problemas de manejo (Horn, 2008; Marchand, 2011).

5.3. Conflictos y manejo de playas

El crecimiento acelerado en las costas y el incremento en las actividades recreativas en las playas aumenta las presiones directas o indirectas, internas o externas, que alteran los procesos sedimentarios y con ello las características de las playas. Estos procesos están estrechamente relacionados con los usos que se hacen de las playas y con los servicios ambientales que éstas prestan (Schlacher *et al.*, 2008).

El manejo de playas es una tarea compleja que incluye dimensiones ambientales, económicas, sociales y culturales (Bird, 1996; Micallef y Williams, 2002). Sus objetivos están definidos por numerosas fuerzas motrices y dependen del contexto sociocultural específico, aspiraciones humanas, capacidades e infraestructuras. Éstos objetivos pueden ser locales o regionales, sin embargo, siempre es común incorporar elementos como la protección contra amenazas costeras, el mantenimiento de los beneficios económicos derivados de las playas, el resguardo o mejora de oportunidades recreativas, la regulación de extracción de recursos incluyendo pesquerías y la protección de hábitats y de la biodiversidad (James, 2000; Scapini, 2002).

La vulnerabilidad de las playas ante los efectos por la construcción de OPC es una propiedad conceptual, es decir, que no es observable o medible de manera directa, cuyos cambios pueden potenciar impactos negativos sobre los componentes humanos del sistema de playa, por ejemplo, infraestructura para el turismo. Esto, puede generar conflictos humano-ambiente (SEMARNAP y FAO, 2005) ante los cuales, una posible respuesta es la generación de gastos defensivos (Escofet y Bravo Peña, 2007, Monti y Escofet, 2008), es decir esfuerzos monetarios en que se incurre a fin de reducir un efecto ambiental adverso.

Para poder abordar los conflictos es necesario establecer relaciones de causalidad entre los problemas detectados en el sistema bajo estudio y los agentes causales (Ortíz-Lozano, 2012). Las redes causales (RC) son diagramas que demuestran las relaciones causa-efecto entre sus elementos (Perdocoúlis y Glasson, 2006), asignando el atributo de causalidad a estas relaciones. Una red causal establece las relaciones entre elementos

que pertenecen a diferentes dominios o áreas de conocimiento (Niemeijer y de Groot, 2006). El concepto de RC se aplica usualmente con un enfoque cuantitativo, pero también puede usarse desde un enfoque cualitativo para identificar problemas ambientales, sus causas y la selección de indicadores para manejo el manejo ambiental (Niemeijer y de Groot, 2006; Ortiz-Lozano, 2012).

Para desarrollar una red causal de problemas ambientales es necesario contar con una definición conceptual del sistema bajo estudio y un conocimiento profundo de los procesos que en él operan (Ortiz-Lozano, 2012).

6. MODELO TEÓRICO, CONCEPTUAL Y METODOLÓGICO PARA EVALUAR LA VULNERABILIDAD DE PLAYAS ANTE LOS EFECTOS POR LA CONSTRUCCIÓN DE OBRAS DE PROTECCIÓN COSTERA.

El desarrollo del modelo teórico y conceptual es el primer objetivo de esta tesis y es a partir de éste modelo que se desarrolla el método para evaluar la vulnerabilidad de playas ante los efectos no deseados por la construcción de obras de protección costera.

6. 1. Antecedentes de los estudios de vulnerabilidad.

En el estudio de la vulnerabilidad existen múltiples definiciones y también, múltiples enfoques para abordar su estudio. Todos los enfoques coinciden en que la vulnerabilidad está determinada por una amenaza o estímulo externo ajeno al sistema u objeto de estudio. Las características particulares del objeto de estudio le confieren un determinado grado de sensibilidad y la reacción del objeto (impacto) ante la interacción de las dos anteriores (Marchand, 2009).

Los estudios de vulnerabilidad se han abordado desde tres enfoques:

A) **El enfoque de “arriba abajo”.** Este enfoque tiene sus raíces en el campo de evaluación de impactos con respecto al cambio climático y se centra en los aspectos biofísicos de la vulnerabilidad. Está estrechamente relacionado con el riesgo de exposición, específicamente con las manifestaciones físicas de la variabilidad de los cambios o eventos ambientales. Los efectos de estos cambios pueden medirse en términos humanos tales como pérdida de vidas humanas o pérdidas económicas) (Hinkel, 2008). Los factores de riesgo dependen de las actividades humanas en la zona

costera y varían de acuerdo con el tipo de actividades y usos desarrollados (IOC, 2000; Espejel *et al.*, 2007).

Típicamente, este enfoque, aborda a la vulnerabilidad de un sistema humano como determinado por la naturaleza del riesgo físico, el grado de exposición al riesgo y la sensibilidad del sistema a los impactos del riesgo. Se orienta hacia los impactos últimos de un evento en términos de la cantidad de daño experimentado por un sistema como producto de un encuentro con un riesgo determinado (Jones y Boer, 2003).

B) El enfoque de “abajo hacia arriba”. Este enfoque tiene sus raíces en el campo de las amenazas naturales. Se centra en los aspectos sociales de la vulnerabilidad (Hinkel, 2008). Su objeto de estudio el sistema y su habilidad para enfrentar o responder al estímulo, reconociendo el grado al cual las poblaciones son vulnerables a eventos riesgosos en ciertas condiciones sociales. Diferentes poblaciones bajo diferentes estatus sociales, económicos, políticos culturales e institucionales tienen diferentes niveles de vulnerabilidad (Ford, 2002). Brooks (2003) mencionan que en estudios realizados en ambientes naturales, este tipo de vulnerabilidad es denominada vulnerabilidad inherente.

C. El enfoque sintético. Es un enfoque más reciente, denominado también vulnerabilidad sintética (Ford, 2002) que combina determinantes biofísicas y humanas de la vulnerabilidad, generalmente mediante la utilización de modelos cuantitativos que integran ambos aspectos (Smit y Pilifosova, 2003; Ionescu *et al.*, 2009; Hinkel 2011).

Dentro de este tipo de aproximaciones destaca la propuesta por Ionescu *et al.*, (2009). Ellos proponen una definición de vulnerabilidad que difiere de otras definiciones en que

es independiente de dominios de conocimiento específicos y de sistemas de interés. Se evalúa la vulnerabilidad de una entidad, en función de los resultados de la interacción entre dicho sistema y la acción de un estímulo externo al sistema, considerando criterios de preferencia para ordenar los posibles resultados de la interacción.

La propuesta conceptual que se desarrollará en este capítulo se concibe como perteneciente a este último enfoque.

6.2 Modelo conceptual para evaluar la vulnerabilidad de playas.

6.2.1 Definición de Vulnerabilidad

Para este estudio se entiende como vulnerabilidad al “grado de susceptibilidad de las playas a efectos no deseados producto de la interacción entre las obras de protección costera y las playas”.

6.2.2 Insumos teóricos

Se utilizaron como insumos teóricos:

1.- La aproximación al estudio de la vulnerabilidad propuesto por Ionescu *et al.*, (2005) y Hinkel y Kline, (2006). Esta plantea que los ambientes costeros, en este caso las playas, han de entenderse como entidades; es decir, sistemas dinámicos y discretos en un estado dado (dicho estado está determinado por las características físicas, geomorfológicas y de uso del sistema), que al interaccionar con un estímulo externo tienen un cierto efecto. Este efecto puede ser evaluado con base en criterios de

preferencia. La figura 8 resume gráficamente este planteamiento teórico el cual es aplicado para el estudio de la vulnerabilidad de ambientes costeros.

2.- El marco conceptual Fuerza Motriz-Presión-Estado-Impacto-Respuesta (FPEIR) (Niemeijer y de Groot, 2006). El modelo FPEIR es una modificación al modelo Presión-Estado-Respuesta (PER) de la OCDE (1994) (Fig. 8), que plantea que los desarrollos económicos y sociales, así como los procesos naturales, ejercen presión en el ambiente generando cambios en su estado. Estos cambios generan impactos en los ecosistemas que, a su vez, generan una respuesta que retroalimenta a los agentes impulsores, a las presiones sobre el ecosistema o a los mismos impactos (EAA, 2003) lo cual permite entender las interrelaciones y ponderar cuales de ellas son críticas para el sistema bajo estudio.

Los elementos del modelo FPEIR se definieron de la siguiente manera:

Fuerza motriz: se trata de fuerzas de origen antropogénico representadas por políticas y planes de desarrollo urbano, turístico y comercial en los litorales del estado de Veracruz que a través de un conjunto de actores e instrumentos se traducen en un conjunto de proyectos y acciones específicos.

Presión: estos proyectos específicos generalmente incluyen obras de protección costera tales como marinas, bulevares, rompeolas y puertos.

Estado: se conoce a través de un conjunto de indicadores que representan la dinámica natural de los sistemas de playa (p.e. tasas de erosión-acreción).

Impacto: es la modificación del estado de un sistema de playa en un tiempo dado por efecto de la acción de una presión.

Respuesta: es la alteración del estado del sistema de playa en un tiempo dado y que provoca un conjunto de acciones humanas dirigidas a evitar o paliar dicho impacto (gastos defensivos *sensu* Monti y Escofet (2008), Escofet y Bravo-Peña (2007)).

3.- También se integró el concepto de **gastos defensivos** que representan las maniobras y estrategias humanas que tienen la finalidad de recuperar el estado anterior del sistema de playa (Escofet y Bravo Peña, 2007; Monti y Escofet, 2008). Particularmente para este estudio se consideró la funcionalidad de la playa para una unidad dada. Un ejemplo de gastos defensivos es la construcción de nuevas obras de protección costera, el refuerzo de éstas, rellenos o reposición de sedimentos en playas.

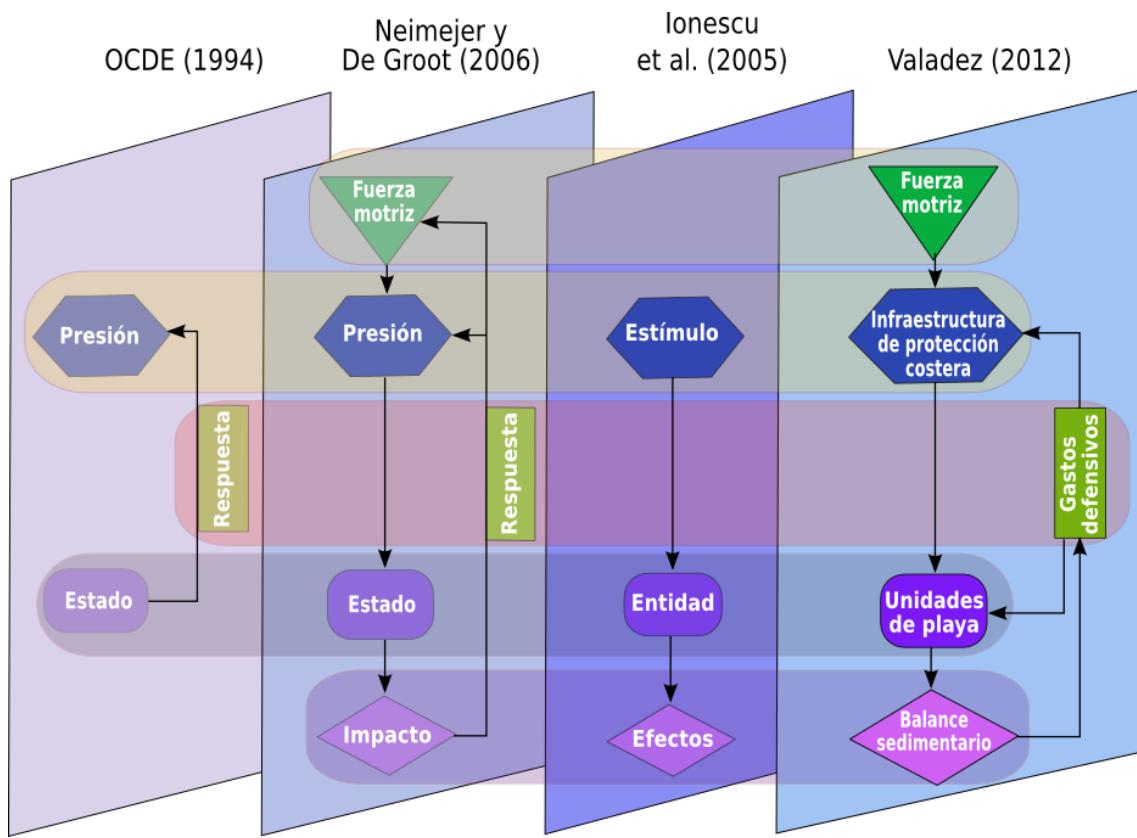


FIGURA 8. MARCOS TEÓRICOS UTILIZADOS E INTEGRACIÓN PARA EVALUAR LOCALMENTE LA VULNERABILIDAD DE PLAYAS A LA CONSTRUCCIÓN DE OBRAS DE PROTECCIÓN COSTERA.

La posición horizontal dentro de un mismo color indica que son elementos equivalentes.

6.2.3 Enfoque teórico para evaluar la vulnerabilidad de playas por la construcción de obras de protección costera

La figura 8 muestra la integración de las aproximaciones conceptuales para desarrollar el modelo local para la evaluación de la vulnerabilidad integrando los marcos conceptuales de vulnerabilidad sintética (Hinkel y Kline, 2006; Ionescu *et al.*, 2005), FPEIR (Niemeijer y de Groot, 2006; Van Koeningsveld, 2003) y gastos defensivos (Escofet y Bravo Peña, 2007, Monti y Escofet, 2008).

La lógica de la integración de los diferentes marcos conceptuales para abordar la vulnerabilidad de las playas de Veracruz ante los efectos provocados por la construcción de infraestructuras de protección costera es la siguiente:

Tomando como punto de partida la definición de vulnerabilidad explicada anteriormente, se considera que la playa es una entidad física cuya capacidad de responder a cualquier estímulo externo o resiliencia que afecte el balance sedimentario (p.e. construcción de OPC, incidencia de tormentas, aumento del nivel medio del mar) está determinada por sus características físicas, morfológicas y su interacción con sus ambientes subsidiarios (las dunas costeras y las franjas de la costa donde se realiza el transporte litoral de sedimentos) (Schlacher *et al.*, 2008, Marchand, 2011).

Las OPC, al ser introducidas por el hombre con propósitos específicos, relacionados con la modificación de la energía sobre la línea de costa o en su cercanía, representan un estímulo externo que al interaccionar con las playas puede generar cambios en los patrones naturales de acumulación o pérdida de sedimentos. Estas alteraciones pueden evaluarse ordenándolas con base en un cierto criterio de preferencia, el cual se plantea

bajo la noción de efectos no deseados (Ionescu *et al.*, 2005; COSNSENCE Project, 2010; Stanica *et al.*, 2011; Marchand *et al.*, 2011).

Todos estos criterios se utilizarán para definir un conjunto de indicadores que permitirán la evaluación del grado de vulnerabilidad de la playa, en sitios específicos ante la construcción de OPC.

En la integración conceptual, el modelo de FPEIR de Niemeijer y de Groot (2006), tiene una correspondencia clara el enfoque de redes causales (Ionescu *et al.*, 2005, Ortíz-Lozano 2012) para establecer las relaciones causa-efecto de problemas ambientales dentro de unidades de evaluación.

Además se identifican las respuestas humanas para resolver conflictos utilizando el concepto de gastos defensivos que representa la respuesta humana (el esfuerzo monetario) ante los efectos de la interacción OPC-Playa (Escofet y Bravo-Peña, 2007; Monti y Escofet, 2008).

6.4 Metodología

El método para evaluar la vulnerabilidad de las playas parte del uso de transectos perpendiculares a la línea de costa cada 50 m agrupados por playa de acuerdo con la toponomía actual de las playas.

Se utilizaron indicadores de vulnerabilidad que de acuerdo con Rygel, O'Sullivan y Yarnal (2006) y Palmer *et al.*, (2011) son sumamente útiles, en especial cuando pueden utilizarse para identificar y monitorear cambios en la vulnerabilidad a través del tiempo y el espacio, mejorando en conocimiento sobre los procesos que subyacen la

vulnerabilidad contribuyendo a la toma de decisiones o al desarrollo de estrategias para reducirla.

El método propuesto fue diseñado para funcionar como un modo rápido para evaluar la vulnerabilidad con fuentes de información confiables y de bajo costo (fotos aéreas). Utiliza sólo los parámetros relevantes para hacer operativa la evaluación de la vulnerabilidad cuyo enfoque teórico se desarrolló previamente. Consistió de dos fases:

6.4.1 FASE 1. Análisis espacial.

En esta fase se procesaron fotografías aéreas históricas a partir de las cuales se obtuvo particularmente dunas, playas y zona información general y particular sobre el desarrollo en la ZMV, el desarrollo de obras de protección costera y sus efectos generales sobre los ambientes costeros, de transporte litoral.

Generación de mosaicos de foto aérea histórica

Se utilizaron tres grupos de fotografías aéreas históricas (Tabla 1), las cuales se obtuvieron de la Fundación ICA ([www.fundación-ica.org.mx](http://www.fundacion-ica.org.mx)). Éstas fueron digitalizadas y georreferidas mediante el uso del software Arc GIS 9.3.

TABLA 1. FOTOGRAFÍAS AÉREAS UTILIZADAS PARA EL ANÁLISIS ESPACIAL.

NOMBRE	ESCALA	AÑO	ZONA	NO.FOTOS	FUENTE
PUERTO DE VERACRUZ	1:10000	1946	VERACRUZ	20	F. ICA
PUERTO DE VERACRUZ	1:20000	1961	VERACRUZ	8	F.ICA
PUERTO DE VERACRUZ	1:20000	1975	VERACRUZ	8	F.ICA
PUERTO DE VERACRUZ	1:20000	2007	VERACRUZ	10	INEGI
TOTAL				46	

El procedimiento para la georreferenciación consistió en sobreponer cada una de las fotografías aéreas digitalizadas sobre un mosaico de referencia compuesto por 10 ortofotos verticales del año 2007 obtenidas de INEGI.

Se utilizó la técnica de puntos de control para georeferir cada foto aérea sobre el mosaico de referencia. Se utilizaron entre 8 y 12 puntos de control sobre cada fotografía distribuidos homogéneamente sobre la foto cuidando de mantener el error residual de la foto por debajo de 2.2 m. Se utilizaron transformaciones polinómicas de primer grado para evitar deformar la fotografía.

Se crearon los mosaicos con las fotografías aéreas georreferidas (ver Fig. 7) utilizando solo las porciones centrales de la imagen rectificada para crear los mosaicos utilizando la técnica descrita por Coyne *et al.* (1999) con el fin de lograr una mayor precisión en el continuo de la línea de costa.

Se interpretaron los mosaicos fotográficos (Fig. 9) de 1946, 1961, 1975 y 2007 en una escala de análisis 1:3,000 utilizando el software Arc GIS 9.3 para generar capas vectoriales de información. Las capas vectoriales generadas fueron las siguientes:

Línea de costa: Definida por el indicador de línea del agua instantánea (LAI) (Leatherman, 2003; Boak y Turner, 2005), es decir, la división entre el límite entre el agua y la playa en el momento en que se hizo la fotografía aérea. Este indicador es claramente identificable en las fotografías utilizadas para este estudio y es ampliamente utilizada para analizar los cambios en la línea de costa en escalas de décadas a cientos de años (Coyne *et al.*, 1999; Rooney y Fletcher, 2000; Fletcher *et al.*, 2003).



FIGURA 9. DIGITALIZACIÓN DE LA LÍNEA DE COSTA SOBRE ORTOFOTO INEGI 2007. PLAYA NORTE.

Posteriormente, se utilizaron estas líneas de costa para determinar el ancho de playa en cuatro tiempos (1946, 1961, 1975 y 2007) y el cambio neto de la línea de costa en tres períodos (1946-1961; 1961-1975; 1975-2007).

Análisis de cambio de uso de suelo en las celdas sedimentarias.

Se hizo un análisis general de cambio de uso de suelo con la finalidad de entender la dinámica histórica de las presiones humanas en colindancia con las playas y sus ambientes costeros subsidiarios (las dunas y a zona de transporte litoral).

Para lograr este objetivo digitalizaron los usos de suelo en cada celda litoral.

Las celdas litorales se delimitaron utilizando los criterios mencionados por (van Rijn, 2011) estos son:

- a) Geomorfología costera. Se localizaron barreras naturales (promontorios) y artificiales (grandes obras de protección costera) para el transporte de sedimentos.
- b) Aportes sedimentarios y transporte litoral. Se tomaron como referencia los estudios de Silva Cazarín y Mendoza-Baldwin, (2009) y Salas-Pérez *et al.*, 2012 para determinar los patrones de transporte litoral local. Se identificaron las fuentes de sedimentos, la dirección del transporte litoral y las rutas de depósito o salida de sedimentos.

Los límites de las celdas litorales se establecieron utilizando como referencia el mosaico de ortofotos 2007.

Ya que la delimitación de la celda litoral es sobre la línea de costa y establece sólo los límites laterales, se utilizó la presencia de un camino en 2007 que estuviera presente también en 1946 como límite terrestre (Forman y Lauren 1998), y la isobata de los 20m

que representa una profundidad promedio de rompiente del oleaje en el área de estudio.

Se consideró este límite, pues como reportan Salas-Pérez y Granados- Barba (2008), los procesos de transporte litoral de sedimentos están dominados por las corrientes generadas por oleaje y las corrientes generadas por viento.

Se utilizó ArcGIS 9.3 para interpretar los usos de suelo, realizando el análisis a una escala 1:3,000 y utilizando la siguiente clasificación: 1) urbano, 2) turístico, 3) duna, 4) arrecife, 5) playa, 6) rompeolas, 7) escollera, 8) espigón, 9) muro longitudinal, 10) muelle, 11) terreno ganado al mar (TGM) 12) puerto, 13) mangle 14) agua y 15) mar.

Los objetos de la clasificación se definieron de la siguiente manera:

- 1) Urbano. Se refiere a usos tales como vivienda, industria, caminos y comercio.
- 2) Turístico. Son las zonas de uso turístico (principalmente hoteles y restaurantes) localizados en las playas o en su colindancia.
- 3) Duna. Incluye los ambientes de dunas costeras.
- 4) Arrecife. Las áreas de arrecifes en colindancia con el litoral.
- 5) Playa. Identifica las playas de acuerdo con la definición de playa utilizada en este estudio (ver sección marco teórico).
- 6) Rompeolas: Obras de protección costera perpendiculares u oblicuas a la costa utilizadas para estabilizar canales de navegación y proteger la zona portuaria.
- 7) Escollera. Obras de protección costera perpendiculares a la línea de costa, utilizadas para reducir la energía en la boca de un río.

8) Espigón. Obras de protección costera perpendiculares u oblicuas a la línea de costa de escasa longitud generalmente construidas sobre playas arenosas para mantener la línea de costa.

9) Muro longitudinal. Obras de protección costera paralelas a la línea de costa que se localizan sobre de ambientes costeros tales como dunas y playas y que, en ocasiones, reemplazan la playa en el frente al mar.

10) Muelle. Obras para anclaje y protección de embarcaciones.

11) Terreno ganado al mar (TGM). Obras que incluyen el relleno artificial de áreas que previamente fueron mar o arrecife.

12) Puerto. Abarca la zona Portuaria.

13) Mangle. Hábitat de manglar.

14) Agua. Cuerpos de agua dulce en la zona terrestre, drenajes principalmente y aguas dulces continentales, particularmente la desembocadura del Río Jamapa.

15) Mar. Porción marina en el área de estudio.

Utilizando el software Arc GIS 9.3 se determinó el área de los polígonos de cada clase para establecer la cobertura del uso de suelo en cada mosaico y se realizó una matriz de cambios de uso de suelo para identificar los principales cambios en tres períodos.

6.4.2 FASE 2. Indicadores de vulnerabilidad de playas.

A partir de la información generada en la fase anterior se delimitaron las playas y se seleccionaron los indicadores de vulnerabilidad de playas ante los efectos de las obras

de protección costera los cuales se basaron en el marco teórico y conceptual propuesto. Se plantea la integración de los indicadores de vulnerabilidad de playas en un índice compuesto cuyos valores son ordenados utilizando criterios de preferencia determinados con base en el análisis de diferentes estudios sobre vulnerabilidad de playas.

Delimitación de playas

Los límites de las playas se establecieron tomando como referencia a Gallegos López *et al.* (2006) y utilizando las toponimias actuales. Los límites laterales se establecieron en 1946 que se consideró como el año de referencia (pues son las fotografías más antiguas disponibles).

Una vez delimitadas las playas se generaron los indicadores de vulnerabilidad por transecto.

Como se refirió previamente, una de las principales características físicas que determinan la capacidad de la playa de responder a los estímulos externos o su resiliencia son: el ancho de la playa (Bernatchez y Fletcher, 2012) y la conectividad de la playa con sus ambientes subsidiarios (duna y zona de transporte litoral), por lo cual, se determinaron estas características para ser utilizadas como indicadores para conocer la vulnerabilidad de las playas ante los efectos no deseados por la construcción de OPC.

Ancho de Playa (AP)

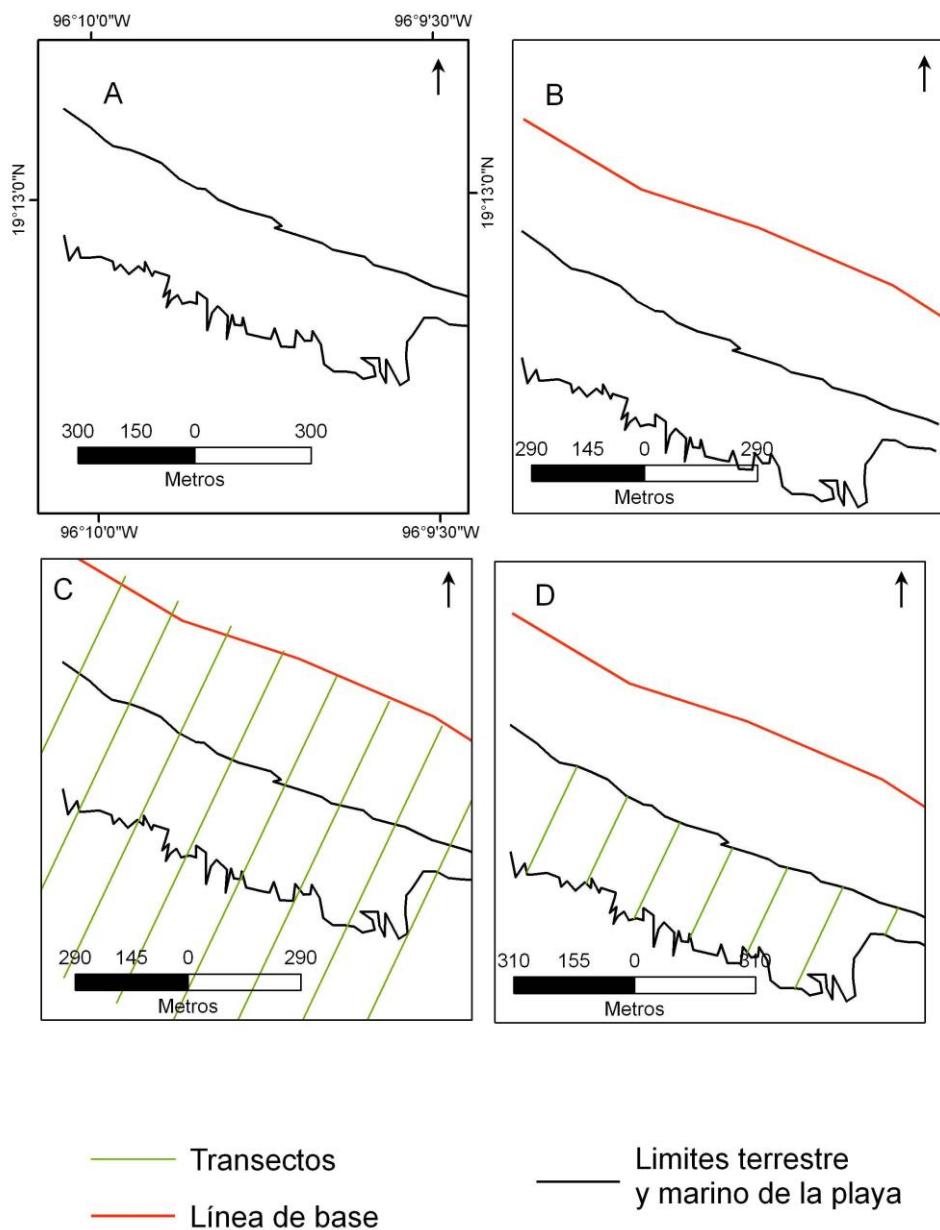
El ancho de playa es referido como un buen indicador para evaluar tendencias en el presupuesto sedimentario en el largo plazo y también para evaluar la importancia

relativa de las causas naturales y antropogénicas del déficit sedimentario en las playas (Bernatchez y Fraser, 2012).

Para determinar el ancho de las playas en cada tiempo, se utilizó la extensión para Arc Gis 9.3 Digital Shoreline Analysis System (DSAS) 4.1 desarrollado por el United States Geological Survey (Thieler *et al.*, 2009). Esta extensión utiliza una línea de base y calcula las distancias entre los puntos de intersección entre dos líneas que representan fronteras. Esta herramienta sirve para calcular los movimientos de líneas de costa de diferentes fechas. Sin embargo, la metodología es aplicable para determinar el ancho de las playas.

Se incluyeron como fronteras la línea de costa de cada tiempo (1946, 1961, 1975 y 2007), las cuales se integraron por separado en capas vectoriales con la línea digitalizada de la frontera duna-playa, correspondiente a cada línea de costa. La frontera duna-playa se digitalizó a la misma escala de análisis de las líneas de costa (1:3,000) considerando la frontera duna playa como la línea de vegetación (Valpreda *et al.*, 2004).

Se trazó una línea de base para cada playa, la cual fue utilizada por el software para trazar transectos perpendiculares equidistantes cada 50m. Con base en estos transectos, la herramienta calcula la distancia entre los puntos de intersección obteniendo así el ancho de la playa en cada uno (Figura 10).



Para evaluar los cambios a través del tiempo en el ancho de playa se utilizaron los mismos transectos en todas las fechas disponibles. Esto se logró estableciendo una sola

línea de base para trazar todos los transectos en todos los mosaicos (1946; 1961; 1975; 2007).

Conectividad con duna adyacente (D)

Como una medida de la funcionalidad de la playa se consideró la variable cualitativa duna adyacente. Esta variable califica la presencia de duna en colindancia con el transecto evaluado y utiliza los valores que se muestran en la tabla 2 para calificar cada categoría:

TABLA 2. CRITERIOS PARA CALIFICAR EL ESTADO DE LA DUNA COLINDANTE CON CADA TRANSECTOR EVALUADO.

Calificación	Punto de intersección del transector con la frontera terrestre playa-duna
1	Duna con un grado de fragmentación menor al 50% o no fragmentada
2	Ambiente natural diferente de duna
3	Duna con un grado de fragmentación mayor al 50%
4	Muro longitudinal o infraestructura rígida

Los valores más bajos se asignaron a los ambientes naturales y los valores más altos a los usos humanos. El criterio para asignar los valores fue la magnitud del efecto que cada uso de suelo tiene en la conectividad duna-playa. Es por esto que los ambientes naturales contribuyen menos a la vulnerabilidad, mientras que los muros longitudinales o el puerto contribuyen más, pues son usos que fragmentan o sustituyen la duna costera, llevando a la pérdida del susidio sedimentario duna-playa. Además, limitan la libre migración de la línea de costa en caso de eventos extremos o modificaciones artificiales de los patrones naturales de erosión (Siemens *et al.*, 2006).

Los otros dos parámetros representan el estímulo que actúa sobre la playa, estos son: las obras de protección costera y el cambio de la línea de costa.

Índice de Obras de Protección Costera (IOPC)

Se trata de un indicador compuesto que refleja la magnitud de la presión por los diferentes tipos de obras de protección costera (OPC). Para integrar el Indicador de OPC (IOPC) se consideraron: el número de obras de protección costera por tipo, los tipos de OPC considerados fueron:

Rompeolas (**R**), escollera (**E**), espigón (**e**) o terreno ganado al mar (**Tgm**)

Con base en lo reportado por Griggs y Tait (1990); Comfort y Single (1997); Anfuso *et al.* (2001); Chapman y Bulleri (2003); Benassai (2006); Speybroeck *et al.* (2006); USACE (2006); Govarets y Lauwerts (2009); Erftermeijer *et al.* (2012) y Abbott (2013), se determinó que los principales efectos de las OPC evaluadas en este estudio son:

Rompeolas: Su efecto en el flujo de sedimentos es un bloqueo del transporte litoral y la creación de zonas de acumulación de sedimentos así como la creación de procesos erosivos.

Escolleras: Tienen un efecto de bloqueo del transporte de sedimentos cerca de las bocas de los ríos. Dependiendo de la energía de las corrientes litorales, puede ser completo o no. Tienden a provocar la formación de giros que resultan en procesos erosivos que afectan principalmente las barras arenosas.

Espigones: Tienen un efecto de migración de sedimentos entre las pequeñas celdas que se forman entre espigón y espigón. A pesar de servir para estabilizar la costa en un punto determinado, a mayor escala tienden a provocar erosión en áreas vecinas.

Terrenos ganados al mar: El efecto que tienen sobre el flujo de sedimentos no es de bloqueo, puesto que los TGM tienden a extenderse sobre la línea de costa más que crecer en perpendicular a ésta.

Estos impactos reportados en la literatura consultada se calificaron cualitativamente utilizando una escala lineal de 1 a 4 de acuerdo con la magnitud del impacto de la obra de protección costera en el transporte sedimentos arrastrados por transporte litoral. De este modo, el criterio principal para asignar el valor cualitativo en la escala está relacionado con la longitud de las obras perpendiculares a la línea de costa. A mayor longitud, mayor bloqueo del transporte de sedimentos.

Terreno ganado al mar. Impacto (1)

Espigón. Impacto (2)

Escollera. Impacto (3)

Rompeolas. Impacto (4)

Además se midió la longitud de los tipos de OPC en cada celda en cada tiempo utilizando Arc Map 9.3 y se estandarizaron los valores obtenidos utilizando una escala lineal para cada tipo de OPC considerando las longitudes máximas y mínimas observadas.

La ecuación 1 fue utilizada para calcular el IOPC es:

$$IOPC = (\sum_{i=1}^n R) * IR + (\sum_{j=1}^m E) * IE + (\sum_{k=1}^o F) * IF + (\sum_{l=1}^q T) * IT$$

Ecuación 1

Donde:

IOPC=Índice de Obras de Protección Costera

R= longitud de rompeolas, E=longitud de escollera, F=longitud de espigón, T=longitud de terreno ganado al mar,

IR=Impacto de los Rompeolas, IE=impacto de las escolleras, IF=impacto de los espigones, IT=impacto de los terrenos ganado al mar

i =cada uno de los rompeolas, n =número total de rompeolas

j =cada una de las escolleras, m =número total de escolleras

k =cada uno de los espigones, o =número total de espigones,

l =cada uno de los terrenos ganados al mar, q =número total de terrenos ganados al mar.

El IOPC se calculó para cada celda. El conjunto de obras de protección costera en cada celda representan la presión por OPC sobre cada transecto de cada playa evaluada.

Tasa de cambio de línea de costa (TC)

Para calcular la tasa de cambio de la línea de costa se integraron las líneas de costa de diferentes fechas en una sola capa vectorial. Se utilizó la herramienta End Point Rate (DSAS 4.1), la cual calcula las tasas de cambio en un periodo dividiendo la distancia del movimiento neto de la línea de costa entre la línea más antigua y la más reciente en cada transecto (t) utilizando la siguiente ecuación:

$$TCt = (LC1 - LC2) / \Delta t$$

Ecuación 2

Donde:

TCt= Tasa de cambio de línea de costa por transecto

LC1= línea de costa antigua, LC2= línea de costa más reciente

Δt =número de años entre la fecha de LC1 y LC2.

Una vez calculada la TCt en cada periodo, se hizo un análisis individual de los cambios en las tasas de erosión acreción en cada playa, asociando estos cambios a los patrones de cambio de uso de suelo observados.

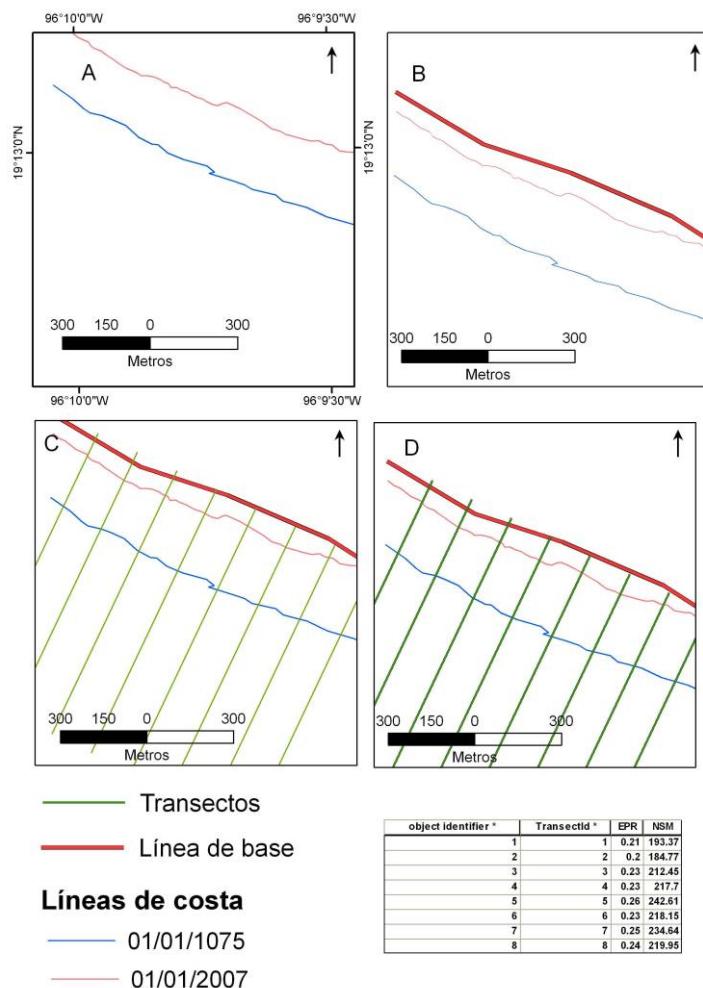


FIGURA 11. METODOLOGÍA PARA DETERMINAR LA TASA DE CAMBIO DE LA LÍNEA DE COSTA A) SE UTILIZA LA MISMA LÍNEA DE BASE USADA PARA DETERMINAR ANCHO DE PLAYA, B) SE TRAZAN TRANSECTOS EQUIDISTANTES 150 M A PARTIR DE LA LÍNEA DE BASE, LOS MISMOS UTILIZADOS PARA ANCHO DE PLAYA C) SE CALCULAN LAS INTERSECCIONES DE LOS TRANSECTOS CON LAS LÍNEAS DE COSTA EN LOS TIEMPOS EVALUADOS Y D) SE CALCULA LA DISTANCIA ENTRE INTERSECCIONES.

6.4.3 Evaluación de la vulnerabilidad de playas (IVp)

Se evaluó la vulnerabilidad de playas a través del uso de indicadores compuestos.

Se calculó el índice de resiliencia (IR) de la playa integrando los indicadores cuantitativos y cualitativos de primer orden: Ancho de playa (AP) y Conectividad con duna (D) (Ecuación 3). El IR representa la capacidad de la playa de resistir la presión por obras de protección costera.

El Índice de Resiliencia por transecto (IRt) se calculó como:

$$IRt = APt / Dt \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

APt = Valor estandarizado del ancho de playa en el transecto t .

Dt = Valor asignado a la conectividad y calidad de duna en el transecto t

Una vez obtenidos todos los valores del Índice de Resiliencia por transecto se estandarizaron los valores obtenidos utilizando la fórmula (ecuación 5) para ajustar la escala entre 0 y 1.

$$IRts = (IRt - \min IRt) / (\max IRt - \min IRt)$$

Ecuación 5

El índice de presión por obras de protección costera (IP) (Ecuación 6) está compuesto por los indicadores de segundo orden: índice de obras de protección costera (IOPC) de cada celda y la tasa de cambio de línea de costa (TC) en cada transecto.

$$IPt = IOPC * TCt$$

Ecuación 6

Donde:

IPt= índice de Presión en cada transecto

IOPC=Indice de Obras de Protección costera de la celda donde esta el transecto t.

TCt=tasa de cambio observada en el periodo evaluado en el transecto t

Una vez obtenidos los índices de presión para cada transecto se estandarizaron los valores utilizando la ecuación los indicadores (I) utilizando la ecuación 7, resultando valores entre uno y cero para ambos índices.

$$IPts = (IPt - \min IPt) / (\max IPt - \min IPt)$$

Ecuación 7

Se asignaron categorías cualitativas de vulnerabilidad desde muy baja a muy alta para cada índice utilizando cinco rangos (tabla 4), correspondiendo la categoría de vulnerabilidad asignada a la interacción IR-IP al grado de susceptibilidad de una playa a sufrir efectos no deseados producto de la interacción de una playa con un determinado IR a un determinado grado de presión IP.

De tal modo que, una playa con un muy bajo IR, sujeta a una presión muy baja tendrá una vulnerabilidad media, es decir puede resistir durante un largo tiempo este nivel de

presión, mientras que la misma playa sujeta a un IP alto es altamente vulnerable a sufrir efectos no deseados. En el extremo contrario, una playa con un alto índice de resiliencia presentará un grado de vulnerabilidad muy baja ante índices de presión bajos, e incluso, ante índices de presión muy altos, migrará sólo a un nivel medio de vulnerabilidad.

Con base en esto se generó la siguiente matriz (tabla 3) para calificar el grado de vulnerabilidad en cada transecto.

TABLA 3. MATRIZ PARA DETERMINAR EL GRADO DE VULNERABILIDAD DE LOS TRANSECTOS.

		IP				
		0-0.2	0.2-0.4	0.4-0.6	0.6-0.8	0.8-1
IR	0-0.2	media	media	alta	alta	muy alta
	0.2-0.4	baja	media	alta	alta	alta
	0.4-0.6	baja	baja	media	alta	alta
	0.6-0.8	baja	baja	baja	media	alta
	0.8-1	muy baja	baja	baja	media	media

Se determinó la vulnerabilidad de cada transecto de cada playa en cada uno de los cuatro tiempos. Para 1946 se consideró la tasa de cambio del periodo 1946-1961 pues en ese período hubo pocos cambios, en lo que se refiere a la construcción de obras de protección costera. Los cambios previos en la zona portuaria de Veracruz databan de principios de siglo, cuando se hizo la modernización y ampliación del puerto la zona urbana. En materia turística aún no mostraba signos de un crecimiento significativo.

Se analizaron los cambios en la vulnerabilidad de cada playa en tres periodos: 1946-1961, 1961-1975 y 1975-2007.

6.4.4 Problemas opc-playa-usuarios.

Se realizó una revisión de literatura para validar los efectos de las obras de protección costera en las playas observados en este estudio, particularmente en el último período. Asimismo mediante esta revisión se determinaron los principales problemas que los efectos de las obras de protección costera en las playas (acreción, erosión y desaparición) causan a los usuarios de la playa (particulares, turistas, propietarios, autoridades locales, inversionistas). Con esta información y la generada a través de la observación directa de los resultados del análisis de las tasas de cambio de la línea de costa y la acción local de las obras de protección costera en el último período evaluado (1975-2007), se generó una matriz causa-efecto-problema-localización del problema utilizando el enfoque de causalidad (Ortiz-Lozano, 2012, Niemeijer y de Groot, 2006). Para realizar la matriz, se consideró que la interacción fuera actual (2007) o potencial (que pudiera darse la interacción en los siguientes 10 años de acuerdo con la tendencia observada (SEMARNAP/FAO, 2005).

7. RESULTADOS

7.1 Análisis Espacial

7.1.1 Georreferenciación de mosaicos

Se obtuvieron tres mosaicos de ortofotos georreferidas, además del mosaico de base utilizado como base para la georreferenciación procedente de INEGI, 2007.

El error promedio de cada mosaico se determinó durante el proceso de georreferenciación. La tabla 4 muestra el error promedio de los mosaicos georreferidos.

TABLA 4. ERROR PROMEDIO DE LOS MOSAICOS GEORREFERIDOS

Mosaico	Error promedio (m)
1946	2.2
1961	1.9
1975	1.8
2007	0

7.1.2 Identificación de caldas litorales y análisis de cambio de uso de suelo.

Se identificaron tres celdas litorales (Fig. 12), para dos de ellas se cuenta en información histórica sólo de una parte (Figura 13).

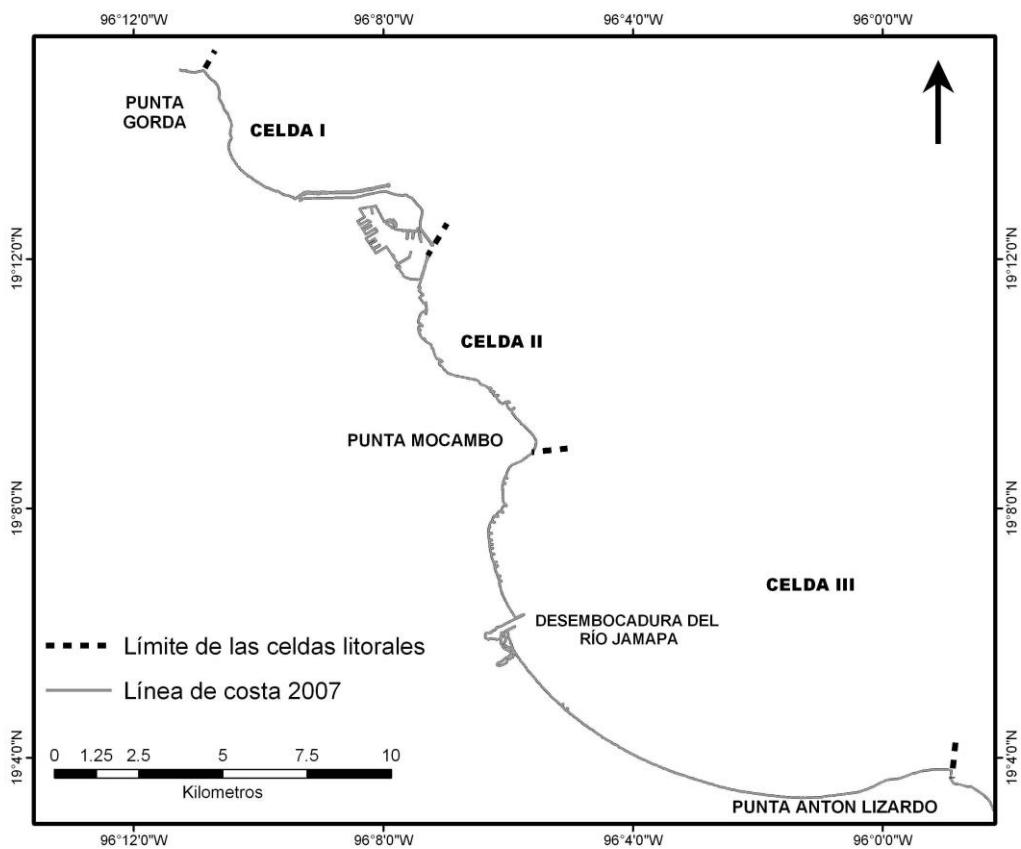


FIGURA 12. LÍMITES DE LAS CELDAS LITORALES

Localizada en la porción más al norte del área de estudio, abarca desde el promontorio natural de Punta Gorda hasta el promontorio artificial que representa el Puerto de Veracruz; sin embargo, de esta celda solo se cuenta con un fragmento debido a la disponibilidad de fotografías aéreas históricas y a la dificultad en el proceso de georeferenciación, pues no existen puntos de referencia. El flujo de la corriente litoral es Norte a Sur.

- I. Localizada entre el promontorio del Puerto de Veracruz y el promontorio Punta Mocambo. Es una celda dominada por procesos humanos y áreas de terrenos ganados al mar.

II. Se cuenta con sólo una porción de esta celda, pues se trata de una celda muy amplia cuyo límite inferior se localiza en punta Antón Lizardo, donde no existe registro de fotografías aéreas históricas.

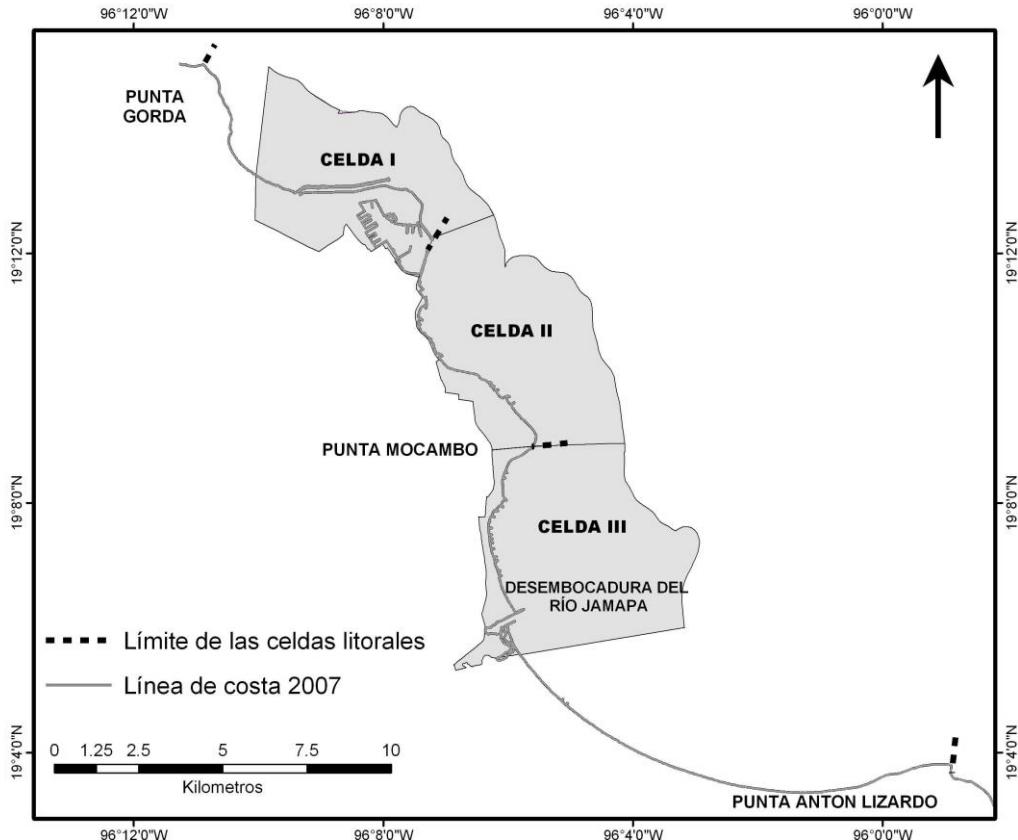


FIGURA 13. POLÍGONOS QUE REPRESENTAN LOS MOSAICOS DE FOTO AÉREA DISPONIBLES (1946, 1961, 1975 Y 2007).

Los mapas de cambio de uso de suelo por celda pueden consultarse en el Anexo 1.

Celda I.

(Anexo 1, Figura 1)

Los principales cambios de uso de suelo detectados como parte del análisis realizado se muestran en la tabla 5.

TABLA 5. CAMBIOS DE SUPERFICIE POR USO DE SUELO (EN HA.) POR PERIODO PARA LA CELDA LITORAL 1.

USO	1946_1961	1961-1975	1975-2007
Agua	4.33	-2.55	-1.78
Arrecife	3.63	-10.03	-34.80
Duna	23.25	-52.69	-45.55
Historico	0.00	0.00	0.00
Mar	-34.28	-12.18	-122.64
Muelle	0.00	0.14	-0.05
Muro	0.25	-0.01	-0.02
Playa	-8.74	34.00	-64.16
Puerto	11.88	4.71	115.00
Rompeolas	1.76	0.60	7.79
Tgm	0.00	10.27	109.20
Turistico	0.00	-0.07	0.43
Urbano	0.79	28.20	35.47

En 1946 la parte norte de esta celda estaba dominada por ambientes naturales, principalmente playa y duna costera estable, los cuales cambiaron poco en el período 1946-1961. Sin embargo, en el período de 1961 a 1975 se inició la fragmentación de estos ambientes, particularmente playas y arrecifes someros debido al desarrollo urbano incipiente y a la expansión del puerto de Veracruz. En el período de 1975 a 2007 la zona urbana se extendió sobre las dunas costeras de la parte norte de la celda, fragmentándolas. El puerto se extendió sobre la playa, la duna y el arrecife somero La Gallega. El período donde se observa una mayor pérdida de duna costera es de 1961 a 1975, mientras que el período que muestra mayor pérdida de playa es 1975 a 2007 (Tabla 5).

La porción centro-sur de la celda I era dominada por las instalaciones portuarias en 1946. Esta área, desde 1946, se encontraba delimitada por OPC (principalmente rompeolas) que la aislaban artificialmente de la dinámica litoral (Fig. 1, Anexo 1). Esta zona colinda con arrecifes que se encuentran actualmente protegidos bajo la categoría de Parque Nacional.

Los principales cambios que se observan en esta parte de la celda son:

- a) El surgimiento e incremento paulatino de terrenos ganados al mar (Tgm) mediante la realización de rellenos sobre las áreas de arrecifes bordeantes que colindan con el puerto. Entre 1961 y 1975 se ganaron alrededor de 10 Ha y para el periodo 1975-2007 y eran alrededor de 109 Ha.
- b) Se construyeron rompeolas para modificar la energía de las corrientes lo cual resultó en ganancia de playa. Para el periodo 1961-1975 se ganaron alrededor de 34 Ha de playa. Sin embargo para el siguiente periodo la presión de la expansión portuaria sustituyó la duna y la playa, perdiéndose de la primera alrededor de 45 Ha y de la segunda alrededor de 50 Ha.
- c) Durante el período 1961-1975 la zona urbana mostró su mayor crecimiento. Aunque para el período 1975-2007 siguió creciendo a un ritmo menos acelerado, pero fragmentando y sustituyendo principalmente la duna.
- d) Uno de los ambientes más afectados fue el arrecife coralino somero que perdió alrededor de 10 Ha entre 1961 y 1975 y cuya pérdida acumulada llegó a más de 30 hectáreas para 2007.

Por la influencia del puerto esta celda muestra una clara tendencia hacia la “rigidización” y una pérdida de los ambientes naturales (Tabla 6. Figura 1, Anexo 1).

Celda II

(Anexo 1, Figura 1)

La celda litoral II es una celda que en 1946 estaba completamente dominada por ambientes naturales de duna y playa natural. Entre 1946 y 1961 destaca el crecimiento de la zona urbana y a construcción de rellenos para uso turístico (Tabla 6).

TABLA 6. CAMBIO DE USO DE SUELO EN LA CELDA II (SUPERFICIE EN HA).

Columna1	1946-1961	1961-1975	1975-2007
Arrecife	-4.63	-25.16	-5.47
Duna	-79.30	-11.66	-151.35
Espigón	0.12	0.04	1.05
Mar	3.82	17.75	-19.58
Muelle	-602.91		
Muro	3.24	0.30	0.93
Playa	6.34	14.29	-16.17
Rompeolas	-0.51	0.65	-0.18
Tgm	1.90	1.60	2.22
Turístico	0.00	0.17	14.13
Urbano	71.95	2.33	155.96

La expansión de la mancha urbana en esta celda litoral se dio en el periodo 1961-1975 y se desarrolló sobre dunas costeras. El fenómeno de urbanización se aproximó hacia la línea de costa y se observó una fragmentación importante.

Las dunas costeras perdieron casi 80 Ha entre 1946 y 1961. Perdieron otras 151 Ha entre 1975 y 2007, siendo remplazadas por uso urbano y en menor grado turístico (Tabla 6). También se perdió superficie arrecifal, hasta 25 Ha en el periodo 1961-1975 y playa, 16 Ha en el periodo 1975-2007.

Las principales obras de protección costera construidas fueron muros longitudinales y espigones.

Celda III

(Anexo 1, Figura 3)

En 1946 esta celda era predominante natural, aunque desde esa época contaba con un camino muy cercano a la línea de costa. Durante el período 1961-1975 hubo un aumento del número de obras de protección costera, principalmente espigones y la expansión de la mancha urbana de la cabecera municipal de Boca del Río.

El periodo 1975-2007 se caracterizó por la ocupación urbana y turística de la línea de costa la cual se da directamente sobre las dunas costeras. Este ambiente perdió más del 90% de la superficie que ocupaba en 1946 (Tabla 7). Las playas arenosas tendieron a perderse y el área de manglar se perdió en casi un 90% para dar paso al uso urbano.

TABLA 7. CAMBIO DE USO DE SUELO. CELDA III (SUPERFICIE EN HA).

Columna1	1946-1961	1961-1975	1975-2007
Agua	-10.28	-4.37	-2.73
Arrecife	-1.54	4.21	-5.44
Duna	-7.54	-12.28	-98.87
Escollera		0.22	0.86
Espigón	1.06	-0.08	0.85
Mangle	-6.95	3.21	-67.35
Mar	24.25	0.38	-13.12
Muro			1.10
Playa	0.80	-16.60	6.12
Turismo	5.92	4.80	29.83
Tgm			
Urbano	0.00	16.15	134.83

A partir del análisis de los cambios de uso de suelo (Tabla 7) cabe destacar que los arrecifes, las playas y las dunas fueron los hábitats que tuvieron mayor fragmentación principalmente en los periodos 1961-1975 y 1975- 2007. Esto por efecto de la construcción de obras de protección costera.

7.2. Obras de Protección Costera a través del tiempo

La tabla 8 muestra el cambio por periodo en el tipo y número de obras de protección costera en cada celda. En la CELDA I el periodo 1975-2007 fue en el que más se desarrollaron obras de protección costera destaca la construcción de muros longitudinales. Los terrenos ganados al mar son una actividad constante en todos los periodos (Tabla 8).

TABLA 8. TIPO Y NÚMERO DE OBRAS DE PROTECCIÓN COSTERA PERPENDICULARES A LA LÍNEA DE COSTA QUE FUERON OBSERVADAS EN CADA PERÍODO.

OPC	Celda I				Celda II				Celda III			
	1946	1961	1975	2007	1946	1961	1975	2007	1946	1961	1975	2007
Rompeolas	3	3	4	4	1	1	1	1	0	0	0	0
Escolleras	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	2
Espigones	0	0	0	0	7	3	4	7	0	11	8	14
Total	3	3	4	4	8	4	5	8	0	12	10	16

En la celda II solo se construyó una obra de protección costera en el periodo 1975-2007. A pesar de ser solamente una obra, es de importantes dimensiones. Se trata de una escollera de 3 km que protege el puerto de Veracruz. En esta celda también se realizaron rellenos para ampliar las instalaciones del Puerto de Veracruz. La celda III se caracteriza por que en ella, asociados al desarrollo urbano y turístico se han

construido numerosos espigones y muros longitudinales, principalmente en el periodo 1975 a 2007 (Tabla 8).

7.3 Indicadores de Vulnerabilidad de Playas.

7.3.1 Delimitación de playas

Se delimitaron ocho playas en el área de estudio:

- celda I:Playa Norte y Playa Regatas(Fig. 14)
- celda II: Playas Villa del Mar, José Martí y Costa de Oro(Fig. 15)
- celda III: Playas Mocambo, Santa Ana y Estero en la (Fig16).

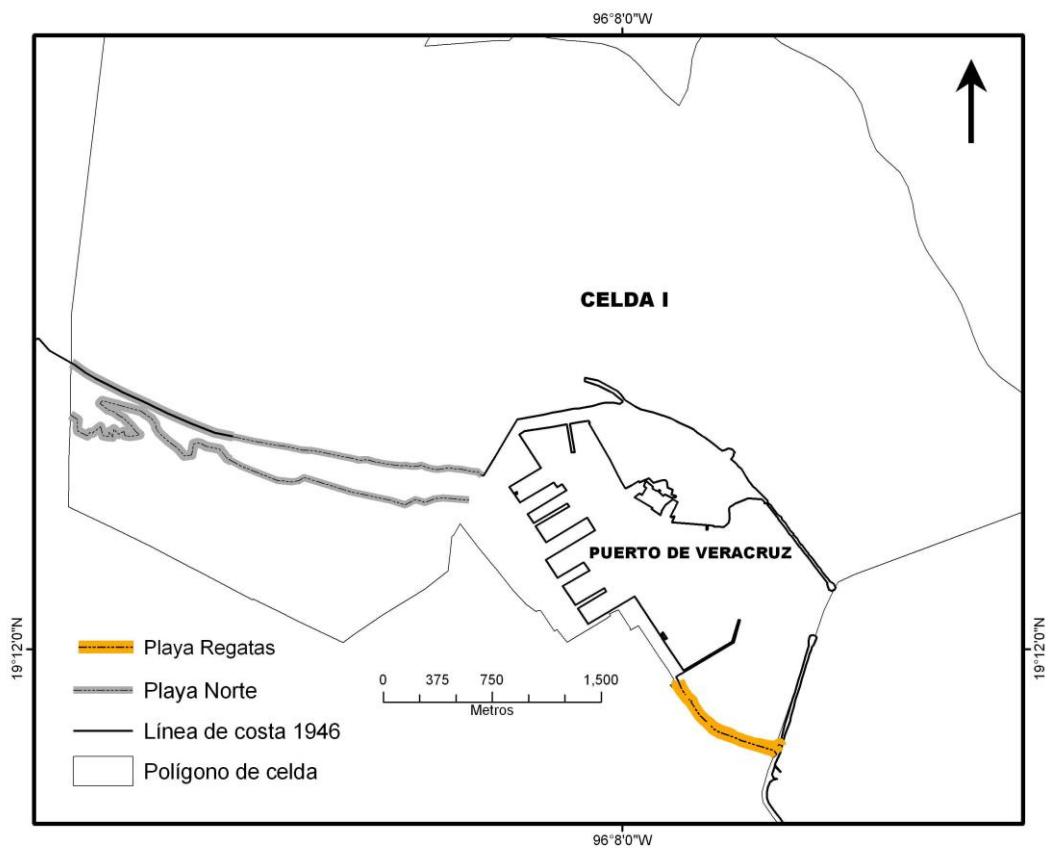


FIGURA 14. PLAYAS EN LA CELDA I.

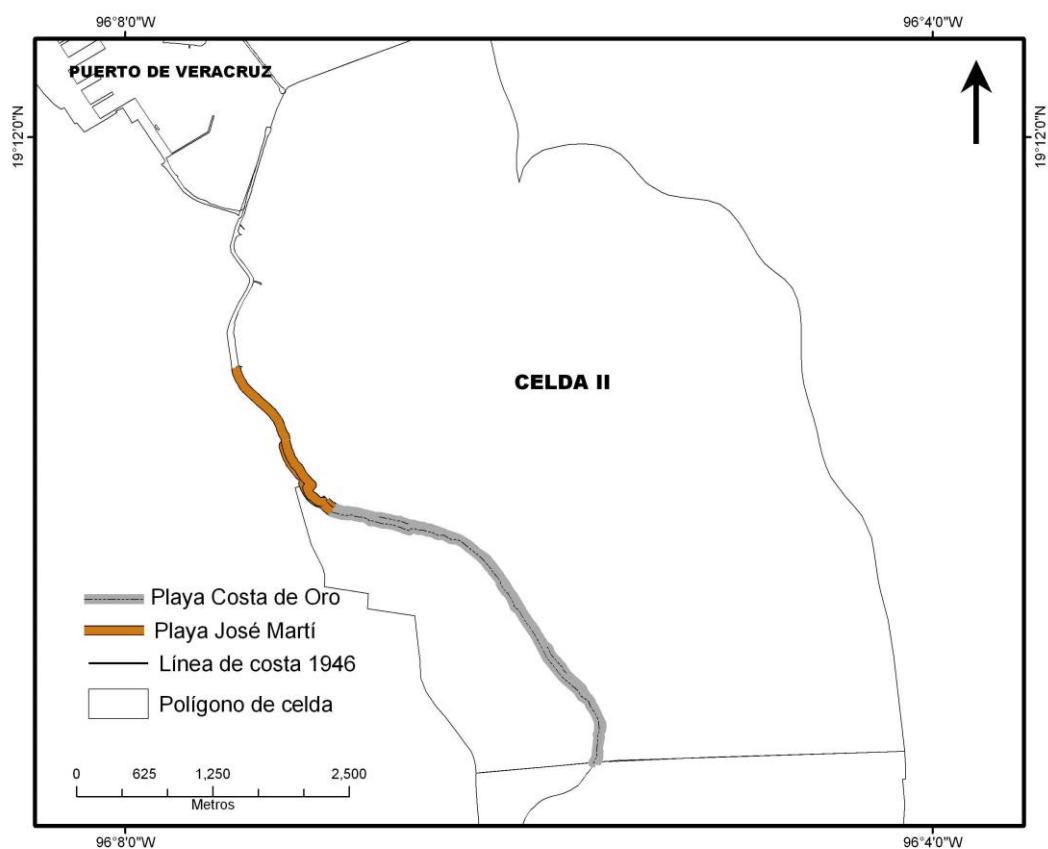


FIGURA 15. PLAYAS EN LA CELDA II.

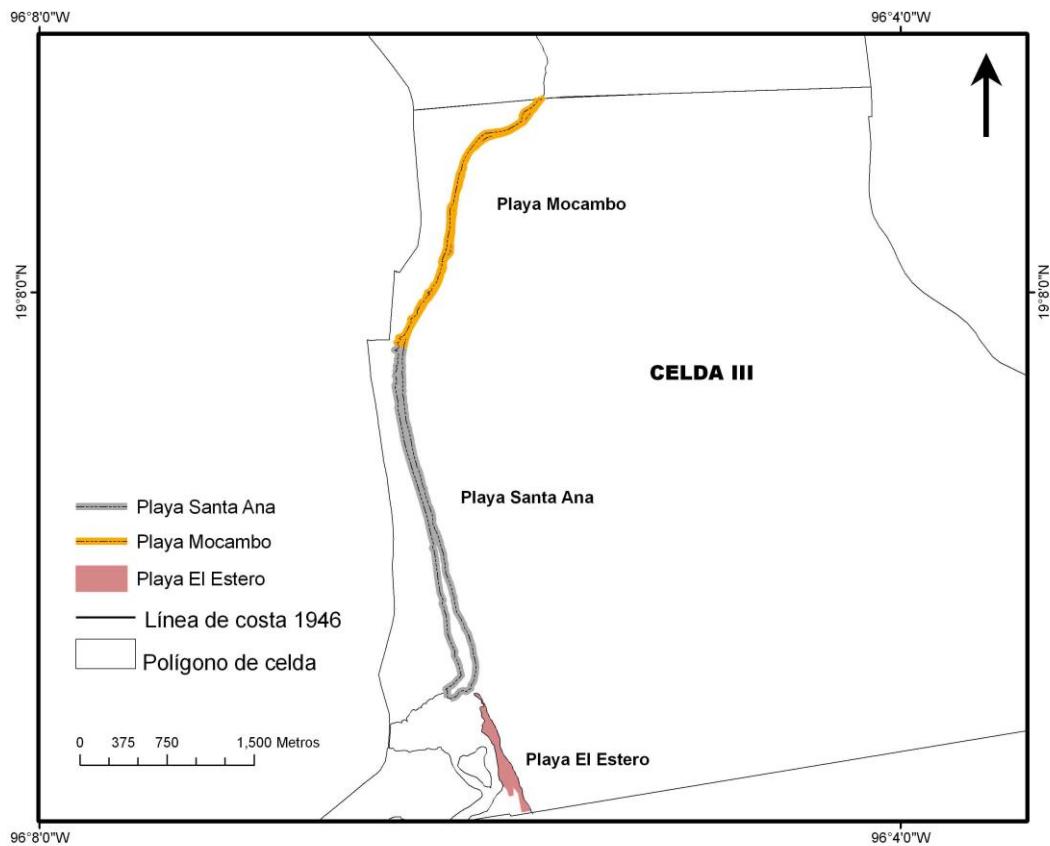


FIGURA 16. PLAYAS EN LA CELDA III.

7.3.2 Ancho de playa

Celda I.

Playa Norte

Playa Norte es una playa predominantemente ancha. En los transectos situados más al norte (1 al 6) se observa un incremento en el ancho de la playa, mientras que en la parte sur disminuye la más cercana al puerto. Para 2007 la playa pierde la mitad de su extensión siendo sustituida por rellenos para ampliar las instalaciones portuarias (9 al 19) (Fig 17).

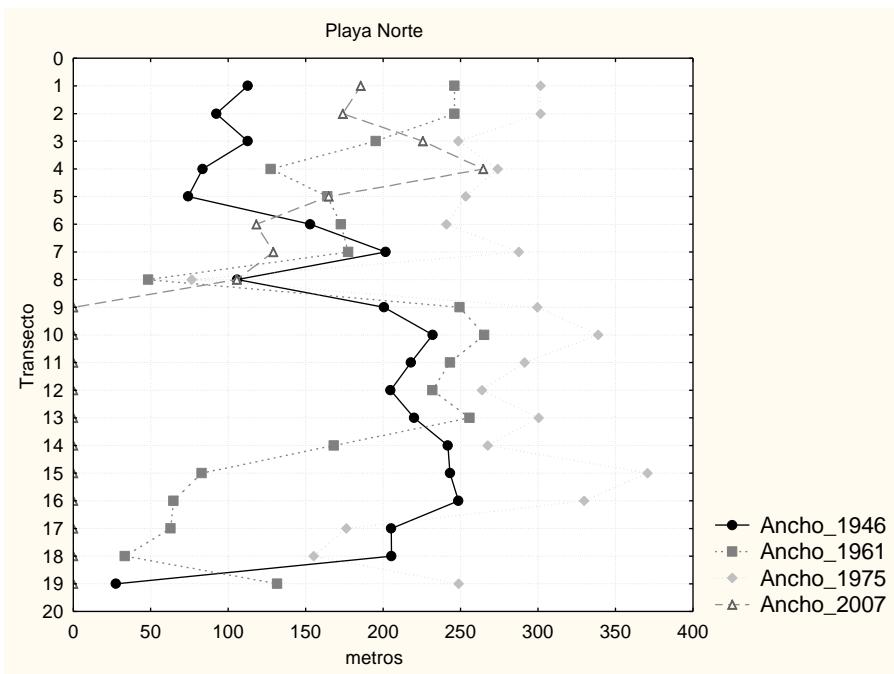


FIGURA 17. PLAYA NORTE. ANCHO DE PLAYA POR TRANSECTOR.

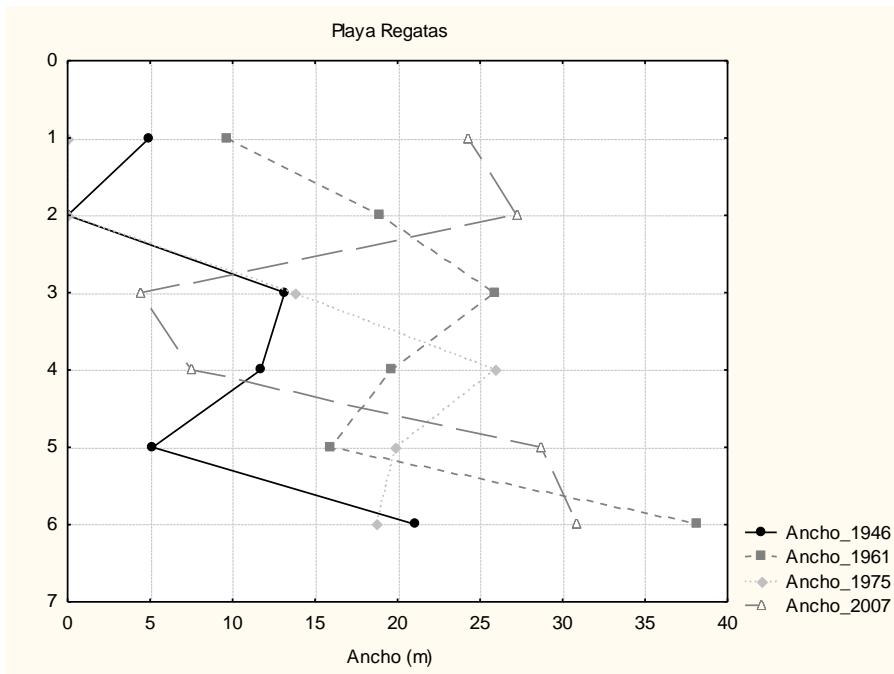


FIGURA 18. PLAYA REGATAS. ANCHO DE PLAYA POR TRANSECTOR.

La tabla 9 muestra las estadísticas descriptivas de las playas de la celda I. Puede observarse que el ancho promedio se mantuvo entre 1946 y 1961, aunque la varianza entre los anchos de playa observados en los transectos evaluados incrementó para 1961. Estos cambios se observaron particularmente en la frontera duna-playa. Para 1975 se observó un incremento en la anchura promedio, en este caso la ganancia se observa en los transectos situados más al sur, en vecindad con el puerto. Es en esta época cuando se construyeron espigones para retener sedimentos y rellenos para las instalaciones portuarias. La media en el ancho disminuyó para 2007 y se perdió la mitad de los transectos que ya no atravesaban playa, sino las instalaciones portuarias.

TABLA 9. PLAYAS EN LA CELDA I. ANCHO PROMEDIO Y VARIANZA.

Playa	Descriptor	Año			
		1946	1961	1975	2007
Norte	n		19	19	19
	X		167.56	166.71	264.59
	σ		68.65	78.51	68.32
Regatas	n		6	6	6
	X		9.35	21.37	13.06
	σ		7.52	9.78	10.83
					11.49

Nota. n es el número de transectos en la playa evaluada, X es el ancho promedio y σ es la varianza del ancho de playa.

Playa Regatas

En esta playa, la tendencia general fue hacia la ganancia de playa. Sin embargo, desde 1946 esta playa se encontraba confinada dentro de la zona portuaria, particularmente entre dos rompeolas de más de 500 m. Es entre 1961 y 1975 se observa que dos transectos llegaron a perder la playa por completo (transectos 1 y 2) (Figura 18).

El ancho promedio de Playa Regatas en 1946 y 1975 es menor de 15 m, mientras que en 1946 y 2007 es mayor de 20 m (Tabla 9).

Celda II

Playa Villa del Mar

En 1946 prácticamente no había playa en Villa del Mar, sólo un transecto (4) mostraba la presencia de playa. Para 1961 se observó una reducción en el ancho de playa en este transecto y en el ancho promedio de la playa (Tabla 10). El transecto 1 no se consideró puesto que desde 1961 atravesaba un área de terreno ganado al mar (Figura 19).

En el período comprendido entre 1961 y 1975 el ancho de playa promedio para Villa del Mar se redujo ligeramente mientras que para 2007 mostró un incremento notable (más de 33 m). El ancho de la playa se incrementó en los transectos 3 al 5, que colindaban con el relleno y las estructuras de protección costera asociadas a éste (Figura 19).

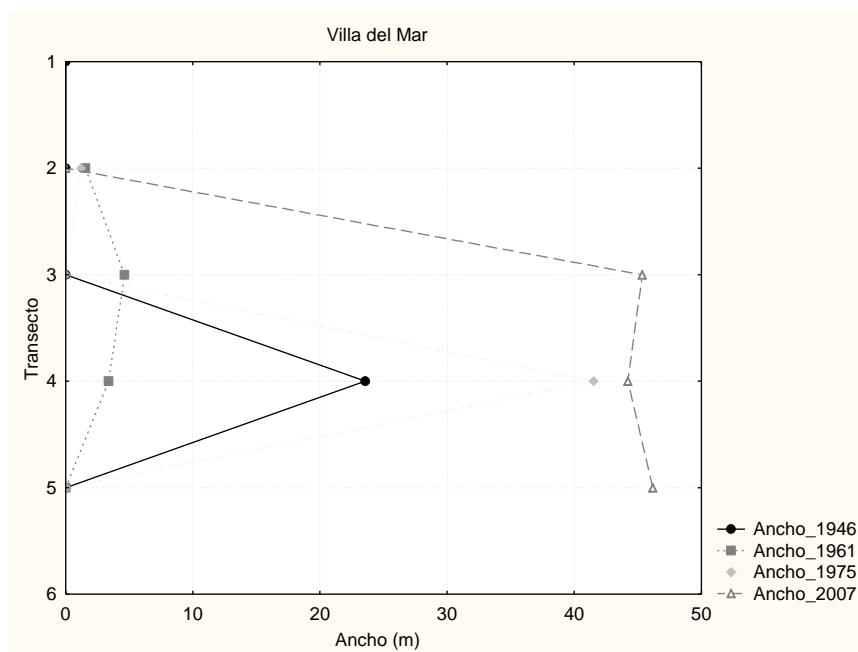


FIGURA 19. PLAYA VILLA DEL MAR. ANCHO DE PLAYA POR TRANSECTOR.

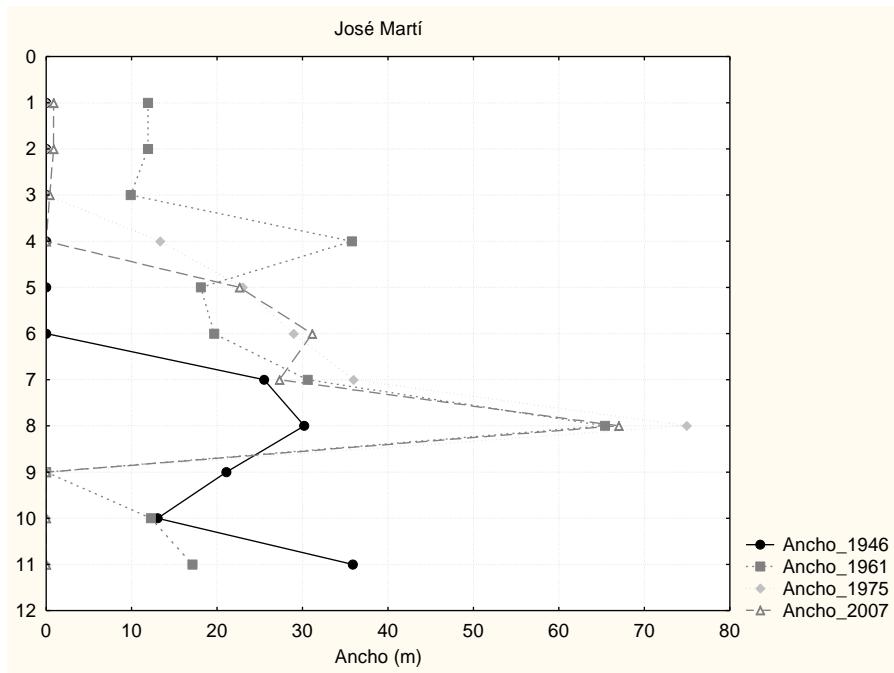


FIGURA 20. PLAYA JOSÉ MARTÍ. ANCHO DE PLAYA POR TRANSECTOR.

Playa José Martí

La playa José Martí presentó varios cambios a través del tiempo, siendo de 1946 a 1961 el período donde el ancho promedio aumento de manera generalizada en todos los transectos (Figura 20). Mientras que en 1961 a 1975 se observó una reducción generalizada en el ancho de playa de los transectos, manteniéndose esta reducción en el período 1975 a 2007 (Tabla 10)

TABLA 10. PLAYAS DE LA CELDA II. ANCHO PROMEDIO Y VARIANZA.

Playa	Descriptor	Año			
		1946	1961	1975	2007
Villa del Mar	n	5	4	4	4
	X	4.71	2.30	2.39	33.00
	σ	10.54	2.03	2.03	22.40
José Martí	n	11	11	11	11
	X	11.43	21.15	16.02	13.66
	σ	14.24	17.64	23.73	21.61
Costa de Oro	n	23	23	23	23
	X	32.05	40.96	75.84	33.68
	σ	15.55	37.02	73.47	32.93

Nota. n es el número de transectos en la playa evaluada, X es el ancho promedio y σ es la varianza del ancho de playa.

Playa Costa de Oro

La playa Costa de Oro se localiza en la porción norte de un promontorio natural protegido por el Arrecife Ingeniero que bordea parte del promontorio. Los transectos 11 a 18 han mostrado ser los transectos donde la playa es más ancha en casi todos los periodos (Figura 21). El ancho promedio de la playa tendió a incrementarse hasta 1975 (Tabla 10). En el último periodo se observa una reducción generalizada en el ancho de la playa (Figura 21) exceptuando los transectos (19 a 24) situados al sur, justo en la punta del promontorio que es la parte más protegida.

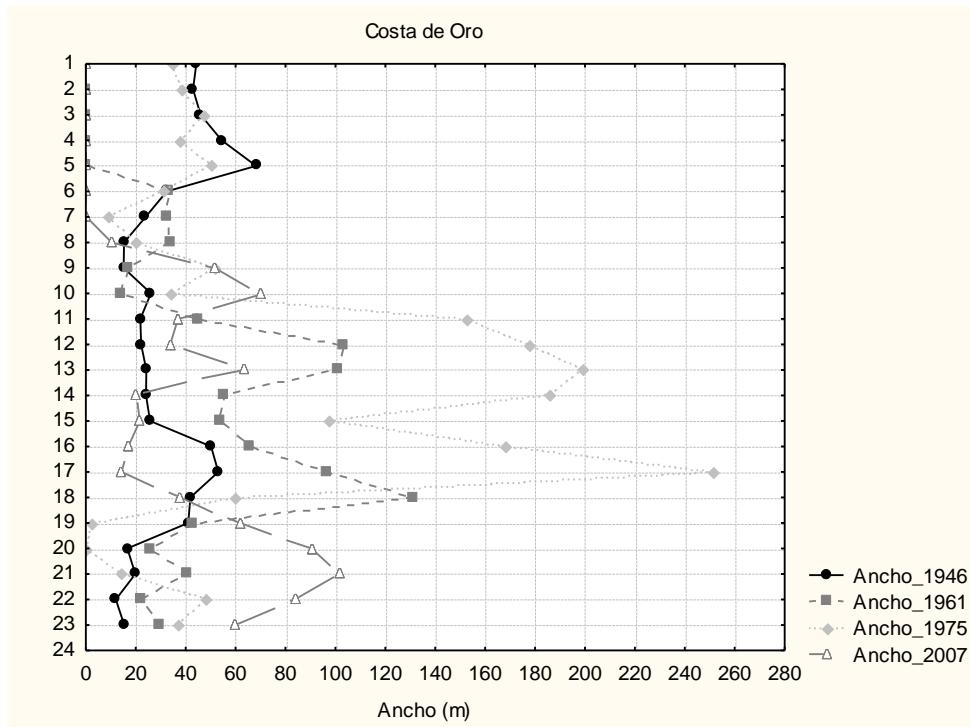


FIGURA 21. PLAYA COSTA DE ORO. ANCHO DE PLAYA POR TRANSECTO.

Celda III

Playa Mocambo

Se trata de una playa que en 1946 tenía una anchura promedio de 20m, con poca variabilidad entre los transectos (Tabla 11).

En 1961 se observó un incremento en el ancho de los transectos centrales (11 al 18) (Fig. 22) y una reducción en los transectos situados al norte. Esta reducción en el ancho de la playa se observó en todos los transectos en 1975 cuando el ancho promedio se redujo de 33 m en 1961 a 10 m en 1975 (Tabla 11).

Para 2007 se incrementó el ancho promedio de esta playa observándose los principales incrementos en los transectos 2 al 5 (Figura 21).

TABLA 11. PLAYA DE LA CELDA II. ANCHO PROMEDIO Y VARIANZA.

Playa	Descriptor	Año			
		1946	1961	1975	2007
Mocambo	n		16	16	16
	X		19.82	33.38	10.94
	σ		8.34	14.54	37.48
Santa Ana	n		19	19	19
	X		73.75	57.72	38.09
	σ		39.50	30.84	40.09
Estero	n		8	8	7
	X		72.87	86.91	38.95
	σ		38.49	26.65	29.20
					22.58

Nota. n es el número de transectos en la playa evaluada, X es el ancho promedio y σ es la varianza del ancho de playa.

Playa Santa Ana

En 1946 esta playa tenía un ancho promedio de 73 m. Para 1961 se observó una tendencia generalizada hacia la reducción en el ancho de playa en todos los transectos.

En 1975 el ancho promedio de la playa era de 38 m. Esta tendencia se revirtió a partir de 1975 cuando se observó la recuperación de la playa, particularmente en los transectos

situados en las partes norte y sur de la playa (Tabla 11) (Figura 22).

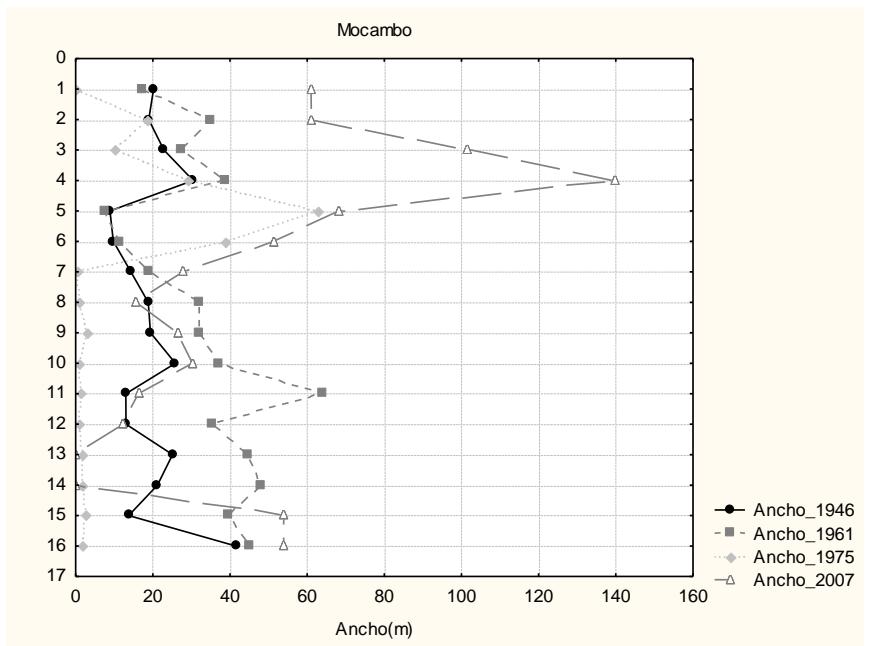


FIGURA 22. PLAYA .MOCAMBO. ANCHO DE PLAYA POR TRANSECTO.

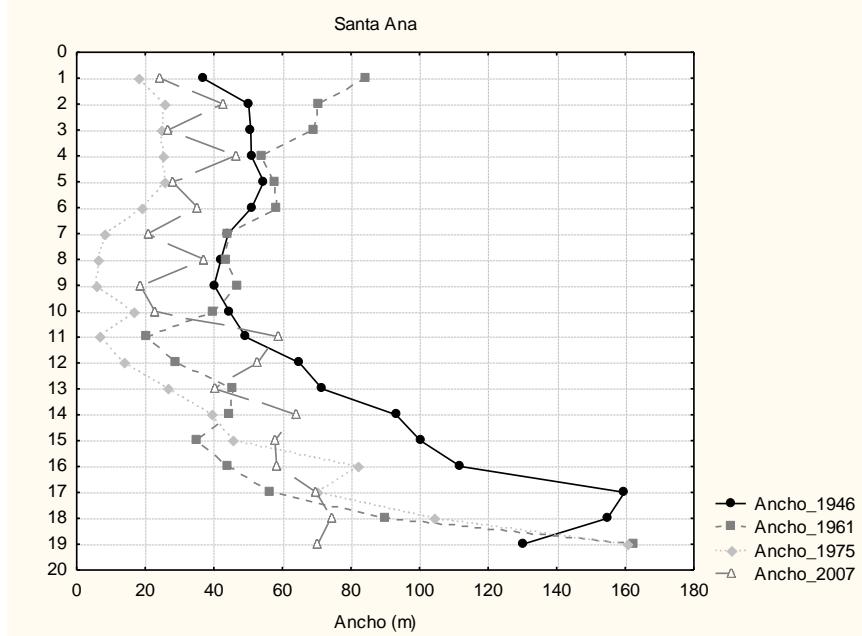


FIGURA 23. PLAYA SANTA ANA. ANCHO DE PLAYA POR TRANSECTO.

Playa El Estero

El fragmento de la playa de El Estero con el que se cuenta es un fragmento con un ancho promedio (transectos disponibles) de 72 m en 1946. Esta característica se mantuvo hasta en 1961; sin embargo, para 1975 y 2007 la situación se revirtió observándose una clara tendencia hacia la reducción en el ancho de la playa (Figura 24).

El ancho promedio de esta porción de la playa se redujo prácticamente a la mitad entre 1961 y 2007 (Tabla 11).

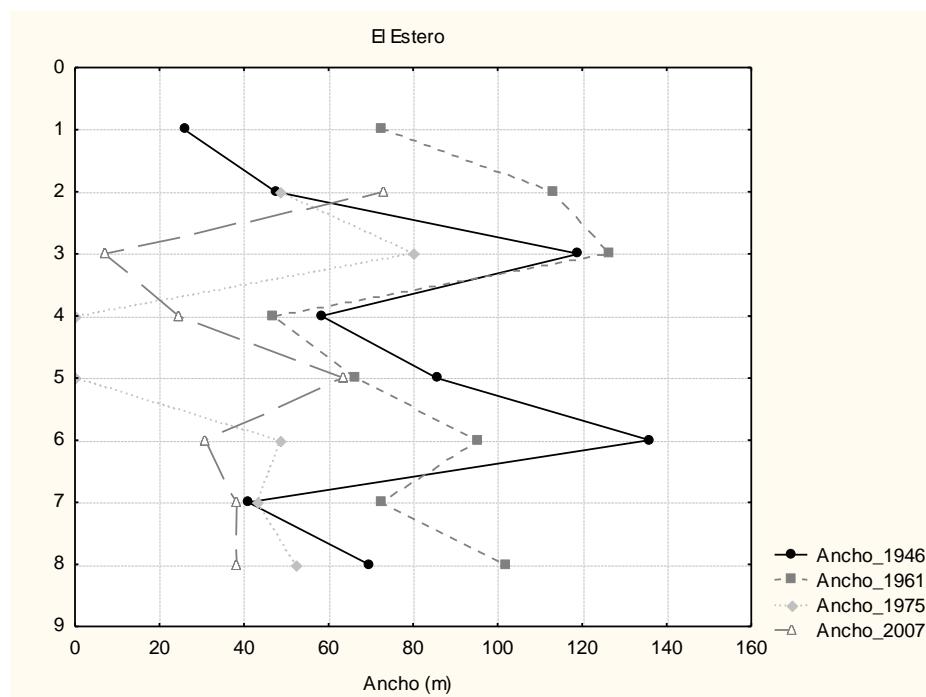


FIGURA 24. PLAYA EL ESTERO. ANCHO DE PLAYA POR TRANSECTOR.

7.3.3 Conectividad con duna adyacente (D)

Celda I

Playa Norte

El fragmento de la Playa Norte incluido en el presente estudio se encontraba conectado con dunas móviles extensas hasta 1975. En la porción sur del fragmento de esta playa, hacia el año 2007 se sustituyó parte de la playa y la totalidad de la duna ganando terreno al mar con rellenos (Tabla 12).

TABLA 12. CELDA I. GRADO DE CONECTIVIDAD DUNA-PLAYA EN CADA TRANSECTOR DE PLAYA.

Playa	Transecto	1946	1961	1975	2007
Norte	1	1	1	1	1
	2	1	1	1	1
	3	1	1	1	1
	4	1	1	1	1
	5	1	1	1	1
	6	1	1	1	1
	7	1	1	1	1
	8	1	1	1	1
	9	1	1	1	4
	10	1	1	1	4
	11	1	1	1	4
	12	1	1	1	4
	13	1	1	1	4
	14	1	1	1	4
	15	1	1	1	4
	16	1	1	1	4
	17	1	1	1	4
	18	1	1	1	4
	19	1	1	1	4
Regatas	1	4	4	4	4
	2	4	4	4	4
	3	4	4	4	4
	4	4	4	4	4
	5	4	4	4	4
	6	4	4	4	4

Nota: dirección de los transectos: norte a sur

Playa Regatas

Playa regatas desde 1946 y hasta el presente no tiene conectividad con la duna costera, pues, desde esa época, se encontraba confinada dentro de las instalaciones portuarias, la duna fue reemplazada por un muro longitudinal y la zona urbana (Tabla 12).

Celda II

Playa Villa del Mar.

La playa Villa del Mar no presentaba conectividad con la duna costera desde 1946 (Tabla 13). Se encuentra, al igual que la Playa Regatas, en vecindad con la zona urbana de Veracruz y desde 1946 contaba con un muro longitudinal que la separaba de la duna.

Playa José Martí

Esta playa en 1946 tenía las mismas características que Villa del Mar y Regatas, salvo la porción localizada más al sur (transectos 9 a 11) (Tabla. 13) donde terminaba la zona urbana de Veracruz y comenzaba un extenso campo de dunas costeras móviles. Para 1961 esta pequeña porción de la playa fue separada de la duna costera por un muro longitudinal y la duna fue reemplazada por la zona urbana (Tabla 13).

Playa Costa de Oro

En 1946 esta playa se encontraba conectada, en toda su extensión, con un campo de dunas costeras móviles. A partir de 1961 comenzó la fragmentación de la conectividad duna-playa a través de la construcción de muros longitudinales y de la expansión de la zona urbana. Hasta 1975 los transectos localizados en la parte sur de la playa, cerca del

promontorio natural “Punta Mocambo” se encontraban conectados con dunas, pero en el periodo 1975-2007 esta conectividad se perdió. Para 2007 sólo se observó que algunos transectos (Tabla 13) se encontraban conectados con duna y siendo esta duna sólo un fragmento que no tiene continuidad.

Celda III

Playa Mocambo

En 1946 esta playa se encontraba conectada con dunas costeras estabilizadas excepto por algunos transectos en la parte norte, donde se ubicaba el Hotel Mocambo. Esta situación se mantuvo hasta 1975. Fue en el período de 1975 a 2007 cuando se perdió la conectividad con la duna por la construcción de infraestructura urbana y muros longitudinales (Tabla 14).

Playa Santa Ana.

Esta playa se encontraba separada de la duna costera desde 1946 debido a la presencia de una carretera estatal que conectaba los municipios del sur de Veracruz con el puerto y que corría paralela a la línea de costa. Sólo los transectos 12 al 16 contaban con conectividad con duna en 1946 (Tabla 14). Posteriormente, en el periodo 1975-2007 la carretera se hizo más ancha y se protegió con un muro longitudinal limitando la conectividad con la duna en toda la playa.

Playa El Estero

La playa El Estero se localiza en la desembocadura del Río Jamapa. En 1946 la playa era extensa y estaba formada por la barra de la desembocadura del río Jamapa, la cual colindaba con manglar y en algunos transectos, con una pequeña porción de duna estable. Para 1961 se mantenía esta situación pero posteriormente, en 1975, la barra desapareció y todavía los transectos restantes estaban conectados con duna o con mangle. Sin embargo, para 2007 se observó que la zona urbana llegaba hasta esta área sustituyendo principalmente las áreas de mangle y duna (Tabla 14).

TABLA 13. CELDA II. CELDA I. GRADO DE CONECTIVIDAD DUNA-PLAYA EN CADA TRANSECTOR DE PLAYA.

Playa Transector	1946	1961	1975	2007
Villa del Mar	1	4	4	4
	2	4	4	4
	3	4	4	4
	4	4	4	4
	5	4	4	4
José Martí	1	4	4	4
	2	4	4	4
	3	4	4	4
	4	4	4	4
	5	4	4	4
	6	4	4	4
	7	4	4	4
	8	4	4	4
	9	1	4	4
	10	1	4	4
	11	1	4	4
Costa de Oro	1	1	4	4
	2	1	4	4
	3	1	4	4
	4	1	4	4
	5	1	4	4
	6	1	4	4
	7	1	4	4
	8	1	1	4
	9	1	1	4
	10	1	1	4
	11	1	1	4
	12	1	1	4
	13	1	1	3
	14	1	1	4
	15	1	1	3
	16	1	1	4
	17	1	1	4
	18	1	1	3
	19	1	1	3
	20	1	1	3
	21	1	1	3
	25	1	1	4
	26	1	1	3

TABLA 14. CELDA III. CELDA I. GRADO DE CONECTIVIDAD DUNA-PLAYA EN CADA TRANSECTOR DE PLAYA

Playa	Transector	1946	1961	1975	2007
Mocambo	1	4	4	4	4
	2	4	4	4	4
	3	4	4	4	4
	4	1	4	4	4
	5	1	4	4	4
	6	1	1	1	4
	7	1	1	1	4
	8	1	1	1	4
	9	1	1	1	4
	10	1	1	1	4
	11	1	1	1	4
	12	1	1	1	4
	13	1	1	1	4
	14	1	1	1	4
	15	1	1	1	4
	16	1	1	1	4
Santa Ana	2	4	4	4	4
	3	4	4	4	4
	4	4	4	4	4
	5	4	4	4	4
	6	4	4	4	4
	7	4	4	4	4
	8	4	4	4	4
	9	4	4	4	4
	10	4	4	4	4
	11	4	4	4	4
	12	1	4	4	4
	13	1	4	4	4
	14	1	4	4	4
	15	1	4	4	4
	16	1	4	4	4
	17	3	3	3	4
	18	4	3	4	4
	19	4	3	4	4
	20	4	3	4	4
Estero	1	2	2		
	2	2	2	2	1
	3	2	2	1	1
	4	2	1	1	4
	5	2	1	1	4
	6	2	1	1	4
	7	1	2	1	1
	8	1	2	2	4

7.4 Indicador de obras de protección costera (IOPC)

7.4.1 Longitud de Obras de Protección Costera

Las medidas obtenidas de cada mosaico para los diferentes tipos de obras de protección costera se muestran en las Tablas 15 a 17.

Celda I

El único tipo de OPC predominante en la Celda I en 1946 eran los rompeolas que confinan el área portuaria para permitir la navegación. A partir de 1961 se observan los terrenos ganados al mar (Tgm) que para 2007 rebasaron los 500 m en línea perpendicular desde la línea de costa de 1946. Además se observa el incremento en número de rompeolas en 1975 y el incremento de longitud de los mismos en 2007 (Tabla 15).

TABLA 15. LONGITUD DE LAS OBRAS DE PROTECCIÓN COSTERA EN METROS DESDE LA LÍNEA DE COSTA EN LA CELDA I. *R* CORRESPONDE A ROMPEOLAS, *E* A ESPIGONES Y *TGM* A TERRENOS GANADOS AL MAR.

CELDA I	1946		1961		1975		2007	
	<i>R</i>	<i>R</i>	<i>R</i>	<i>Tgm</i>	<i>R</i>	<i>Tgm</i>	<i>R</i>	<i>Tgm</i>
	780.4	780.4	789.9	47.9	467.0	210.0	2,742.0	543.0
	789.9	789.9	789.9	103.4	780.4	229.0	780.4	
	350.0	899.0	350.0		789.9		789.9	
					904.7		2,742.0	
Total (m)	1,920.3	2,469.3	151.3		2,942.0	439.0	7,054.3	543.0

Celda II

En 1946 La Celda II se encontraba bajo la influencia de un rompeolas y siete espigones de entre 17 y 73 m. Para 1961 el número de espigones se redujo a tres porque se observan los primeros terrenos ganados al mar. Para 1975 de nuevo se observó un incremento en el número de espigones y una expansión de los terrenos ganados al mar. Este tendencia persistió hasta 2007 cuando se observaron siete espigones de entre 20 y 101 m y los terrenos ganados al mar que siguieron expandiéndose (Tabla 16).

TABLA 16. LONGITUD DE LAS OBRAS DE PROTECCIÓN COSTERA EN METROS DESDE LA LÍNEA DE COSTA EN LA CELDA II. *R* CORRESPONDE A ROMPEOLAS, *e* A ESPIGONES Y *TGM* A TERRENOS GANADOS AL MAR.

CELDA II	1946		1961			1975			2007		
	<i>R</i>	<i>e</i>	<i>R</i>	<i>e</i>	<i>TGM</i>	<i>R</i>	<i>e</i>	<i>TGM</i>	<i>R</i>	<i>e</i>	<i>TGM</i>
	789.9	17.6	789.9	75.7	37.9	789.9	25.1	55.2	789.9	20.8	55.2
		17.6		77.7	103.4		31.4	97.7		61.8	111.5
		30.9		104.3			91.7	103.4		65.8	147.4
		37.7					144.2			90.9	
		38.2								96.7	
		57.6								98.6	
		73.4								101.4	
Total	789.9	272.9	789.9	257.7	141.3	789.9	292.3	256.3	789.9	536.0	314.1

Celda III

En la celda III en 1946 no se observaron obras de protección costera y la característica distintiva era la presencia de la barra de la desembocadura del Río Jamapa.

En 1961 se construyó una escollera de 150 m en la margen norte de la desembocadura y 11 espigones de diferentes tamaños a lo largo de las playas Mocambo y Santa Ana.

En 1975 se construyó otra escollera y algunos de los espigones, los más cortos, no se conservaron, mientras que otros se alargaron. Para 2007 las dos escolleras en las

márgenes de la desembocadura se alargaron y se incrementó el número y longitud de los espigones (Tabla 17).

Con base en los resultados obtenidos sobre la longitud de cada tipo de obra de protección costera en el área de estudio, en todos los tiempos evaluados se generó la escala lineal de longitud de obras de protección costera por tipo que se muestra en la tabla 17.

TABLA 17. LONGITUD DE LAS OBRAS DE PROTECCIÓN COSTERA EN METROS DESDE LA LÍNEA DE COSTA EN LA CELDA III. *R* CORRESPONDE A ROMPEOLAS, *E* A ESPIGONES Y *TGM* A TERRENOS GANADOS AL MAR.

CELDA III	1961		1975		2007	
	<i>E</i>	<i>e</i>	<i>E</i>	<i>e</i>	<i>E</i>	<i>e</i>
	150.3	15.4	145.0	40.4	235.9	28.5
			16.9	238.0	323.2	65.3
			19.4		50.1	67.3
			22.6		50.6	73.0
			28.0		53.1	83.3
			30.0		53.2	84.9
			32.8		53.9	85.6
			44.3		95.3	88.4
			47.9			88.7
			65.0			89.5
			92.3			92.0
						97.1
						117.8
						141.6
Total	150.3	414.7	383.0	436.8	559.1	1,203.0

7.4.2. Cálculo del Índice de presión por Obras de Protección Costera (IOPC)

Aplicando la ecuación 1 se obtuvo el IOPC para cada celda en cada tiempo (Tablas 18 a 21).

Para obtener el IOPC, los valores de la tabla 18 sustituyeron la longitud de cada tipo de OPC en la ecuación 1 (de la sección de metodología). Para hacer el cálculo del IOPC se utilizó también el grado de impacto atribuido a cada OPC (tablas 20 a 22) obteniéndose el IOPC para cada celda en cada tiempo (tablas 19 a 21).

TABLA 18. ESCALA LINEAL DE ACUERDO AL TAMAÑO DE LA OBRA DE PROTECCIÓN COSTERA POR TIPO.

Rompeolas		Escolleras	
Mínimo	Valor	Mínimo	Valor
350	1	77.63	1
948	2	139.015	2
1546	3	200.4	3
2144	4	261.785	4

a

b

Espigones		Tgm	
Mínimo	Valor	Mínimo	Valor
15.4	1	37.87	1
47.601	2	164.1525	2
79.802	3	290.435	3
112.003	4	416.7175	4

c

d

Se observó que la celda I pasó de un IOPC de 12 en 1946 a un IOPC de 44 en 2007 (Tabla 19). La celda II fue la celda que tuvo un menor incremento en la presión por obras de protección costera (Tabla 20). La celda III pasó de no tener ninguna presión por obras de protección costera a tener un IOPC de 99 en 2007 (Tabla 21).

TABLA 19. CELDA I. ESCALA DE LONGITUD DE CADA TIPO DE OPC POR CELDA. GRADO DE IMPACTO POR TIPO DE OPC. *R* CORRESPONDE A ROMPEOLAS Y *TGM* A TERRENO GANADO AL MAR. IOPC CORRESPONDE AL VALOR CALCULADO DEL IOPC EN LA CELDA LITORAL I EN CADA TIEMPO.

CELDA I	1946		1961		1975		2007	
	<i>R</i>	<i>R</i>	<i>R</i>	<i>Tgm</i>	<i>R</i>	<i>Tgm</i>	<i>R</i>	<i>Tgm</i>
	1	1	1	1	1	2	4	4
	1	1	1	1	1	2	1	
	1	1			1		1	
					1		4	
Impacto	4	4	1		4	1	4	1
IOPC	12		14		20		44	

TABLA 20. CELDA II. ESCALA DE LONGITUD DE CADA TIPO DE OPC POR CELDA. GRADO DE IMPACTO POR TIPO DE OPC. *R* CORRESPONDE A ROMPEOLAS, E CORRESPONDE A ESPIGÓN Y *TGM* A TERRENO GANADO AL MAR. IOPC CORRESPONDE AL VALOR CALCULADO DEL IOPC EN LA CELDA LITORAL II EN CADA TIEMPO.

CELDA II	1946			1961			1975			2007		
	<i>R</i>	<i>e</i>	<i>R</i>	<i>e</i>	<i>Tgm</i>	<i>R</i>	<i>e</i>	<i>Tgm</i>	<i>R</i>	<i>e</i>	<i>Tgm</i>	
	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1
			1	2	1			1		2		1
			1	3				3		2		1
			1					4			3	
			1								3	
			2								3	
			2								3	
Impacto	4	2	4	2	1	4	2	1	4	2	1	
IOPC	22			20			25			41		

TABLA 21. CELDA III. ESCALA DE LONGITUD DE CADA TIPO DE OPC POR CELDA. GRADO DE IMPACTO POR TIPO DE OPC. *E* CORRESPONDE A ESCOLLERA Y E A ESPIGÓN. IOPC CORRESPONDE AL VALOR CALCULADO DEL IOPC EN LA CELDA LITORAL III EN CADA TIEMPO.

CELDA III	1946		1961		1975		2007	
	<i>E</i>	<i>e</i>	<i>E</i>	<i>e</i>	<i>E</i>	<i>e</i>	<i>E</i>	<i>e</i>
	2	1	2	1	3	1		
	1		3	1	4	2		
	1			2			2	
	1			2			2	
	1			2			3	
	1			2			3	
	1			2			3	
	1			3			3	
	2						3	
	2						3	
	3						3	
							3	
							4	
							4	
Impacto		3	2	3	2	3	2	
IOPC		0		36		45		99

7.5 Tasa de cambio de línea de costa.

7.5.1 Celda I

Playa Norte (Figura 25)

Esta playa mostró una tendencia generalizada a la acreción en todos los períodos.

En el periodo de 1946 a 1961 el rango de las tasas de acreción era de entre 3 y 6 m por año, exceptuando el transecto 19, el cual colindaba con las instalaciones portuarias en este periodo y que mostraba una tasa de acreción mayor a 10 m por año.

En el período 1961 a 1975 se redujeron las tasas de acreción, siendo de entre 1 y poco más de 3 m.

Con respecto al período de 1975 a 2007 se observa la desaparición de la playa en la porción sur (donde se extendió el puerto mediante la utilización de rellenos) y un incremento en las tasas de acreción de los transectos remanentes de la porción norte, con respecto al periodo anterior, con tasas de entre 6 y poco más de 7 m por año.

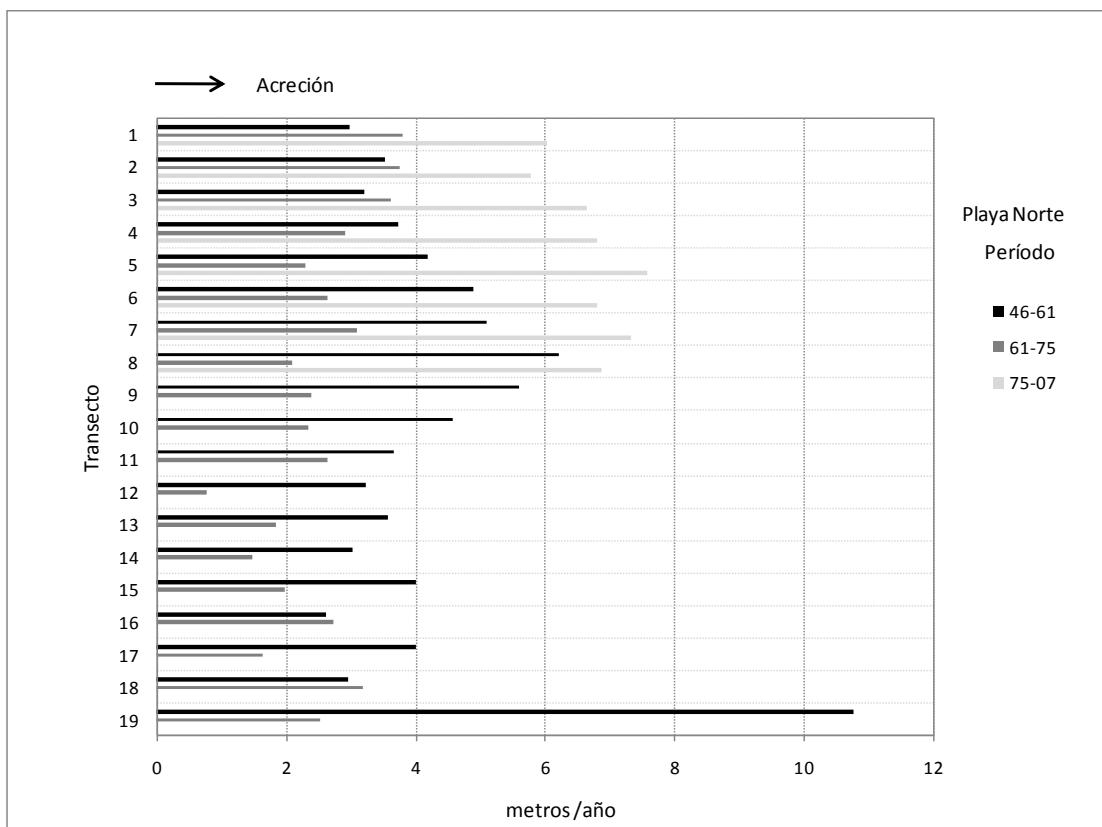


FIGURA 25 PLAYA NORTE. TASAS DE CAMBIO DE LA LÍNEA DE COSTA EN TRES PERIODOS.

Regatas (Figura 26)

En el período de 1946 a 1961 se observaron tasas de acreción en todos los transectos, siendo la máxima observada de alrededor de 1.5 m por año. En el siguiente periodo solo los dos transectos situados en la parte norte (2 y 3) mostraron tasas de acreción mientras que la línea de costa se mantuvo en los demás transectos. Entre 1975 y 2007 esta

situación cambió observándose ahora tasas erosivas (de poco mas de 0.5 m por año) en casi todos los transectos.

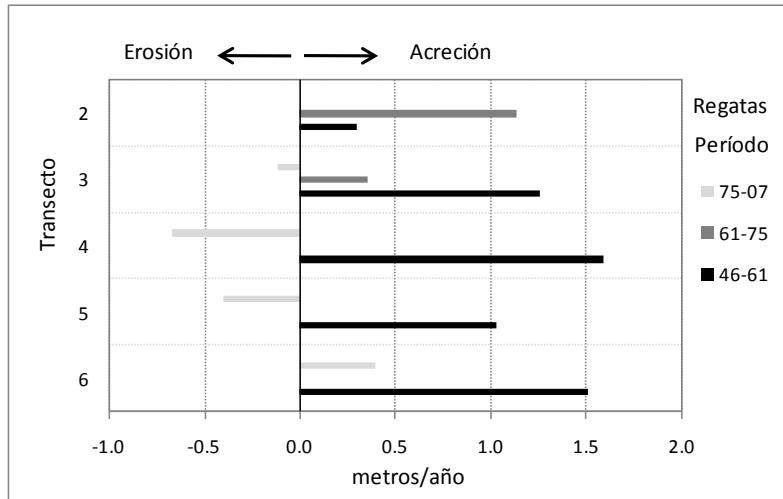


FIGURA 26. PLAYA REGATAS. TASAS DE EROSIÓN-ACRECIÓN EN TRES PERÍODOS.

7.5.2 Celda II

Villa del Mar (Figura 27)

Las tasas de cambio observadas en los transectos 1 y 2 para el periodo 1946-1961 corresponden a rellenos arenosos para la habilitación de una zona turística. Para este periodo la tendencia en los transectos 3 a 5 era a la erosión Sólo los transectos 3 al 5 corresponden a Playa.

En los siguientes periodos 1961-1975 y 1975-2007 esta tendencia se revirtió observándose tasas de acreción de entre 1 y 4 m por año.

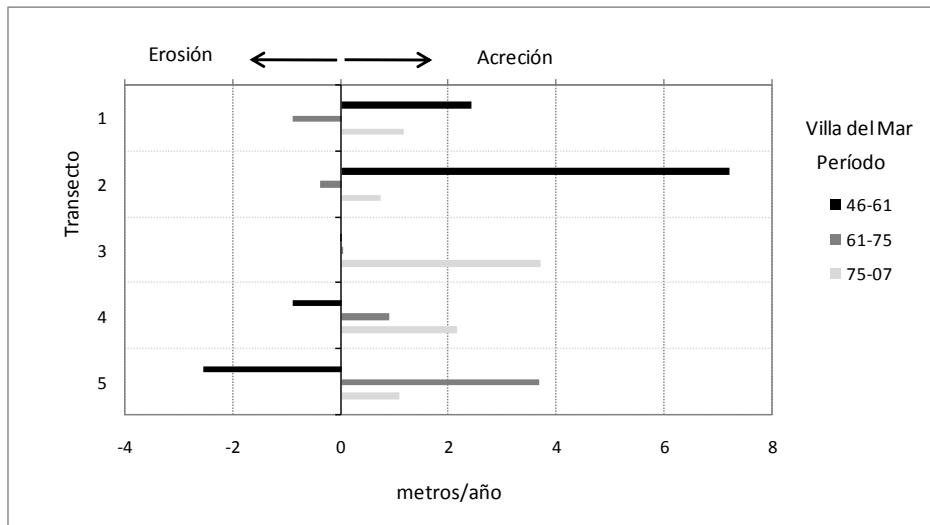


FIGURA 27. PLAYA VILLA DEL MAR. TASAS DE EROSIÓN-ACRECIÓN EN TRES PERÍODOS.

José Martí (Figura 28)

Entre 1946 y 1961 la tendencia general en esta playa fue hacia la acreción, mostrando desde tasas muy bajas, menores a 0.5 m por año hasta tasas de cerca de 5 m por año. En el siguiente periodo, 1961 a 1975 se observaron tasas de erosión en 6 transectos, siendo la máxima erosión de cerca de -1.5 m por año. Los demás transectos mostraron tasas de acreción de entre 1 y poco más de dos m por año.

Entre 1975 y 2007 se observaron tasas de erosión y acreción en ambos casos no mayores a un metro por año. La posición de la línea de costa se mantuvo en dos transectos.

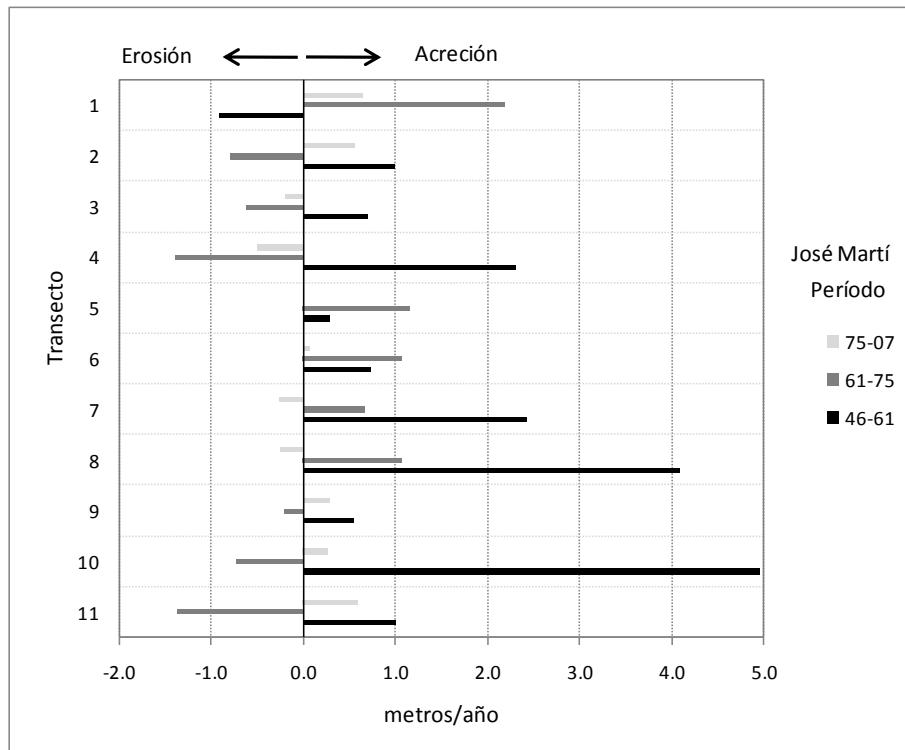


FIGURA 28. PLAYA JOSÉ MARTÍ. TASAS DE EROSIÓN-ACRECIÓN EN TRES PERÍODOS.

Costa de Oro (Figura 29)

Esta playa muestra claramente dos áreas: una donde predomina la erosión y otra donde predomina la acreción. Manteniéndose esta tendencia en los tres períodos.

En el periodo de 1946 a 1961, entre los transectos 1 y 13, se observaron tasas erosivas. Éstas van de 0.01 a más de 5.5 m por año, siendo los transectos 7 a 10 los que mostraron las tasas de erosión más altas y los transectos 1 y 13 los que mostraron las tasas de erosión más bajas. Entre los transectos 14 y 25 se observaron tasas de acreción de cerca de 1 metro y hasta 4 m por año, siendo el transecto 18 el que presentó la tasa de acreción más alta.

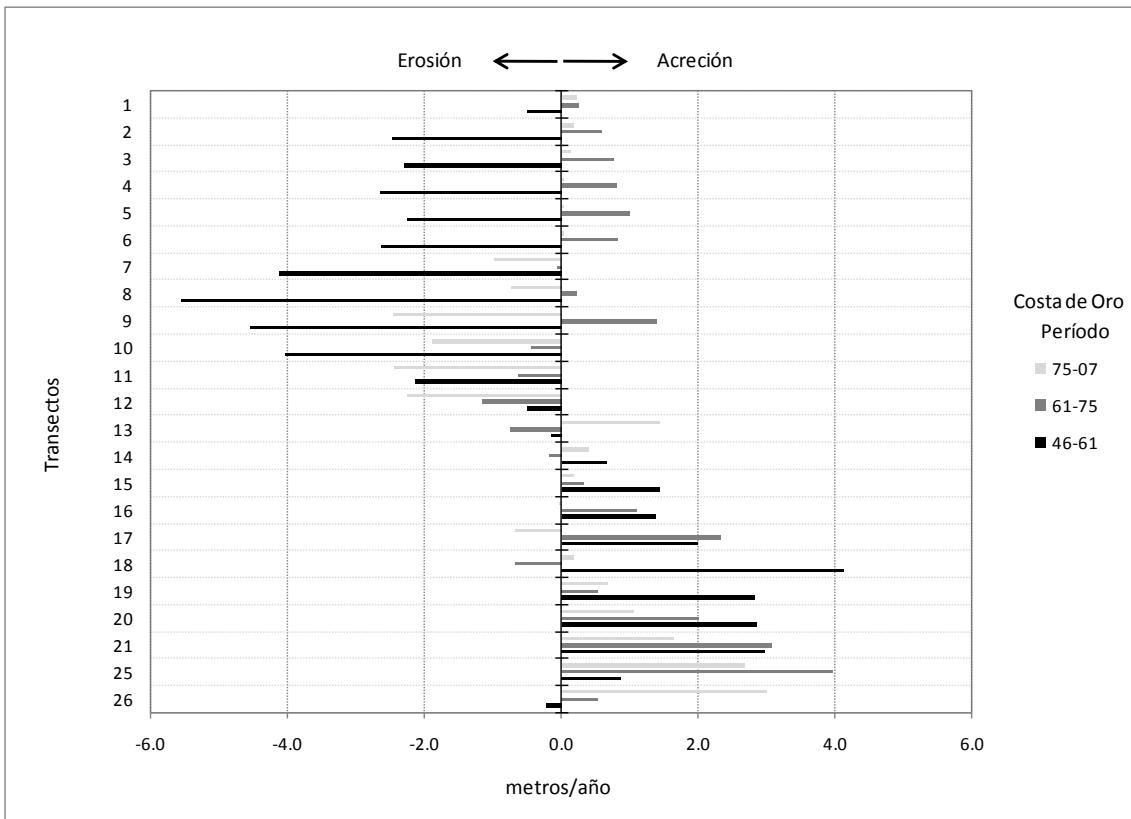


FIGURA 29. PLAYA COSTA DE ORO. TASAS DE EROSIÓN-ACRECIÓN EN TRES PERIODOS.

En el período 1961 a 1975 se observó entre los transectos 1 al 13 una reversión del patrón erosivo. En los transectos 1 a 6 y 8 y 9 se observaron tasas de acreción de entre 0.5 y poco más de un metro por año. En el resto de los transectos las tasas de erosión se redujeron, con respecto al período anterior, siendo la tasa de erosión máxima de poco más de un metro por año.

Con respecto a la porción sur de esta playa, entre el transecto 14 y 26 se observaron tasas de acreción de 0.5 y hasta de 4 m por año excepto por el transecto 18 que mostró una tasa erosiva de menos de 1 m por año. De manera general, las tasas de acreción en esta porción de la playa se redujeron con respecto al período anterior.

En el periodo 1975 a 2007, entre los transectos 1 a 6, se mantuvo un cierto balance con una ligera tendencia a la acreción. Entre los transectos 7 a 13 se mantuvo la tendencia a la erosión. Sin embargo las tasas de erosión se redujeron con respecto al periodo anterior, siendo las máximas de poco más de 2 m por año.

En la porción sur entre los transectos 14 a 26 se mantuvo la tendencia a la acreción pero las tasas se redujeron. En este período la tasa máxima de acreción fue de poco más de 3 m por año

7.5.3 Celda III

Mocambo (Figura 30)

En esta playa, entre 1946 y 1961, se observaron zonas de erosión y zonas de acreción sin un patrón muy claro. Las tasas de acreción fueron mayores que las de erosión, observándose tasas de acreción de hasta 4 m por año en los transectos 4 y 11. También se observaron algunos transectos con tasas de erosión de poco más de 2 m por año.

En el periodo comprendido entre 1961 a 1975, la mayor parte de la playa mostraba tasas erosivas desde 0.3 y hasta poco más de 4 m por año, exceptuando los transectos 7, 8 y 12 que muestran tasas de acreción de menos de 2 m por año.

En el periodo comprendido entre 1975 y 2007 toda la playa mostraba tasas de acreción de menos de 1 m por año en toda la porción norte, mientras que en la porción sur (transectos 12 a 16) la tasa de acreción eran de entre 2 y poco más de 4 m por año.

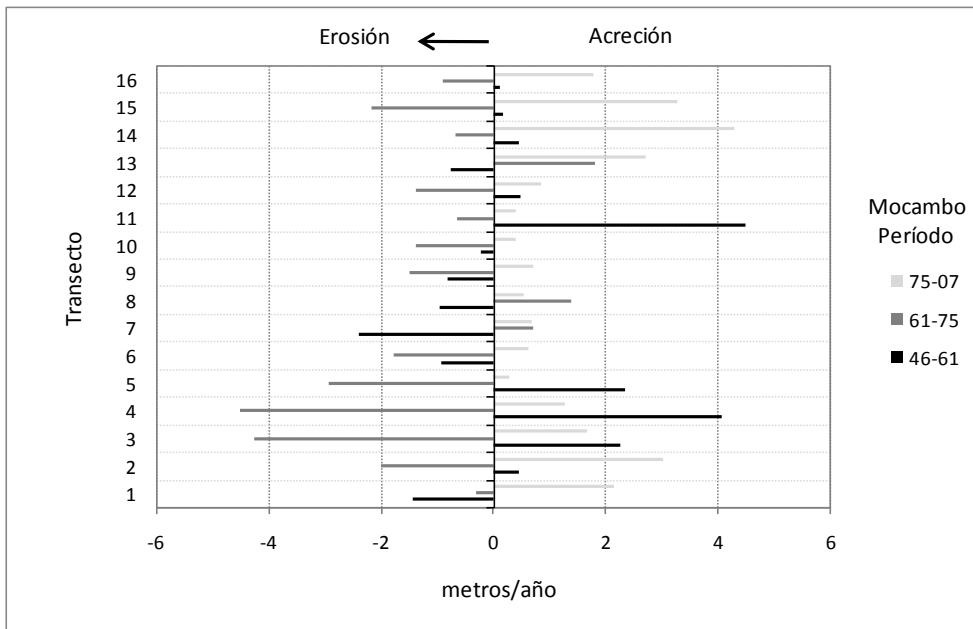


FIGURA 30. PLAYA MOCAMBO. TASAS DE EROSIÓN-ACRECIÓN EN TRES PERIODOS.

Santa Ana (*Figura 31*)

En el periodo comprendido entre 1946 y 1961 esta playa mostró, casi en toda su extensión, una tendencia a la erosión. Las tasas erosivas fueron de 1 a más de 6 m por año, excepto por tres transectos localizados en la porción norte donde se observaron tasas de acreción de alrededor de 1 m por año (transectos 1-3).

En el siguiente periodo 1961-1975 la situación se revirtió en todos los casos. Los transectos 1 a 4, localizados más al norte, mostraron tasas de erosión de 2 a 3 m por año mientras que el resto de los transectos pasaron de tener tasas erosivas a tener tasas de acreción desde 0.2 y hasta 5 m por año.

Para el periodo 1975 a 2007 todos los transectos de la playa mostraron tasas de acreción. Estas se redujeron en comparación con el periodo anterior alcanzando su máximo en la porción sur de la playa con tasas de poco más de 3 m por año.

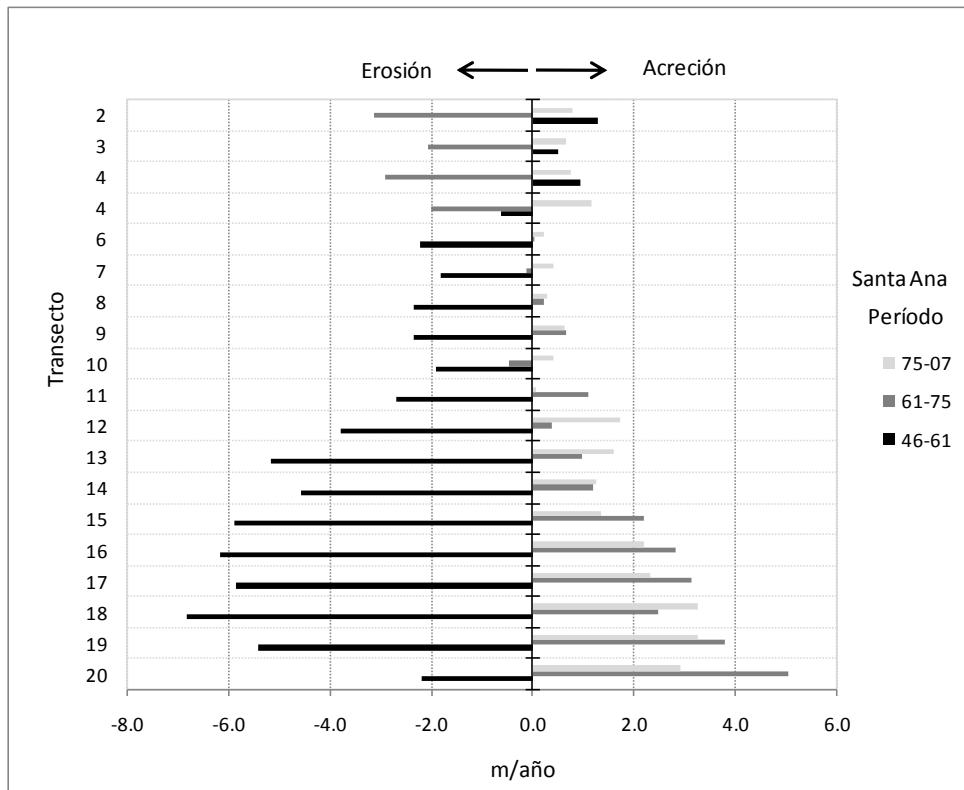


FIGURA 31. PLAYA SANTA ANA. TASAS DE EROSIÓN-ACRECIÓN EN TRES PERÍODOS.

El Estero (Figura 32)

La porción de la Playa el Estero evaluada para este estudio es predominantemente erosiva desde el periodo 1946-1961. Se observaron tasas de erosión desde 4.5 y de más de 9 m por año. Para el siguiente período (1961-1975) las tasas se redujeron rebasando apenas los 4 m por año. En este periodo se observa un solo transecto que no sigue la tendencia erosiva, el transecto 3 que mostró una tasa de acreción de más de 3 m por año.

Para el periodo 1975-2007 todos los transectos muestran tasas de erosión, similares a las del período anterior.

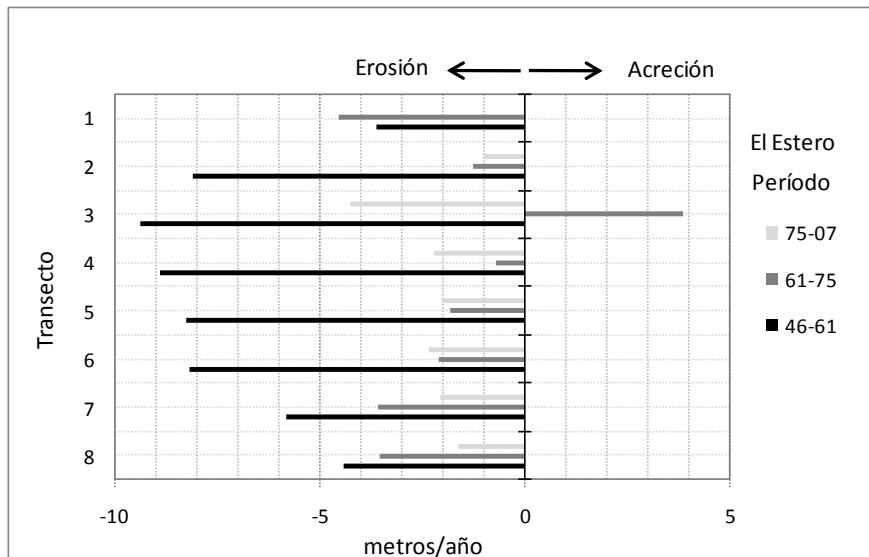


FIGURA 32. EL ESTERO. TASAS DE EROSIÓN ACRECIÓN EN TRES PERÍODOS.

7.6 Índice Compuesto de Vulnerabilidad de Playas (IVP)

7.6.1. Celda I

Playa Norte (Figura 4, Anexo)

Los índices de resiliencia y presión observados en cada transecto de playa Norte se muestran en la tabla 22. A partir de éstos y utilizando la matriz descrita en el apartado de metodología 1.2.3 se determinó el nivel de vulnerabilidad de cada transecto.

TABLA 22. GRADO DE VULNERABILIDAD. PLAYA NORTE.

Playa	Año Transecto	1946			1961			1975			2007		
		IR	IP	V	IR	IP	V	IR	IP	V	IR	IP	V
Norte	1	0.30	0.11	baja	0.66	0.13	baja	0.81	0.20	muy baja	0.50	0.50	media
	2	0.25	0.11	baja	0.66	0.13	baja	0.81	0.19	muy baja	0.47	0.49	media
	3	0.30	0.11	baja	0.53	0.13	baja	0.67	0.19	baja	0.61	0.52	baja
	4	0.23	0.12	baja	0.34	0.14	baja	0.74	0.18	baja	0.71	0.53	baja
	5	0.20	0.12	baja	0.44	0.14	baja	0.68	0.17	baja	0.44	0.55	media
	6	0.41	0.13	baja	0.47	0.15	baja	0.65	0.18	baja	0.32	0.53	alta
	7	0.54	0.13	baja	0.48	0.15	baja	0.78	0.18	baja	0.35	0.54	alta
	8	0.29	0.14	baja	0.13	0.16	baja	0.21	0.17	baja	0.28	0.53	alta
	9	0.54	0.13	baja	0.67	0.16	baja	0.81	0.17	muy baja			
	10	0.63	0.12	baja	0.72	0.14	baja	0.91	0.17	muy baja			
	11	0.59	0.12	baja	0.66	0.14	baja	0.79	0.18	baja			
	12	0.55	0.11	baja	0.63	0.13	baja	0.71	0.15	baja			
	13	0.59	0.12	baja	0.69	0.13	baja	0.81	0.17	muy baja			
	14	0.65	0.11	baja	0.45	0.13	baja	0.72	0.16	baja			
	15	0.66	0.12	baja	0.22	0.14	bajo	1.00	0.17	muy baja			
	16	0.67	0.11	baja	0.17	0.12	media	0.89	0.18	muy baja			
	17	0.55	0.12	baja	0.17	0.14	media	0.48	0.16	baja			
	18	0.55	0.11	baja	0.09	0.13	media	0.42	0.19	baja			
	19	0.07	0.18	media	0.36	0.21	media	0.67	0.18	baja			

Los niveles de presión (IP) sobre la playa aumentaron a través del tiempo (Tabla 22) pero el incremento fue gradual. La resiliencia, hasta 1975, iba en aumento en varios de los transectos debido a la construcción del rompeolas norte que provocó ganancias en el ancho de la playa. Además, en esta playa no se construyeron muros longitudinales u otras infraestructuras hasta este año. Sin embargo, en el período 1975-2007 una parte de la Playa Norte se sustituyó por rellenos como parte de la ampliación portuaria. Para 2007 solo 8 de los 19 transectos trazados atravesaban playa (Tabla 22). En éstos se observaron grados de vulnerabilidad medios y bajos, principalmente (Figura 33)

En playa Norte los niveles de vulnerabilidad incrementaron muy poco y en algunos casos incluso se redujeron (Anexo 2. Figura 1). El efecto del Rompeolas Norte, generó tasas de acreción positivas lo cual incrementó el ancho de la playa. Además hasta la

fecha se mantiene la conectividad duna-playa lo cual hace de estas playas las más resilientes en el área de estudio. En cuanto al déficit de sedimentos que naturalmente se observaría en la porción sur del rompeolas no se apreció, pues la porción sur corresponde al recinto portuario el cual se encuentra semiaislado de la dinámica litoral local.

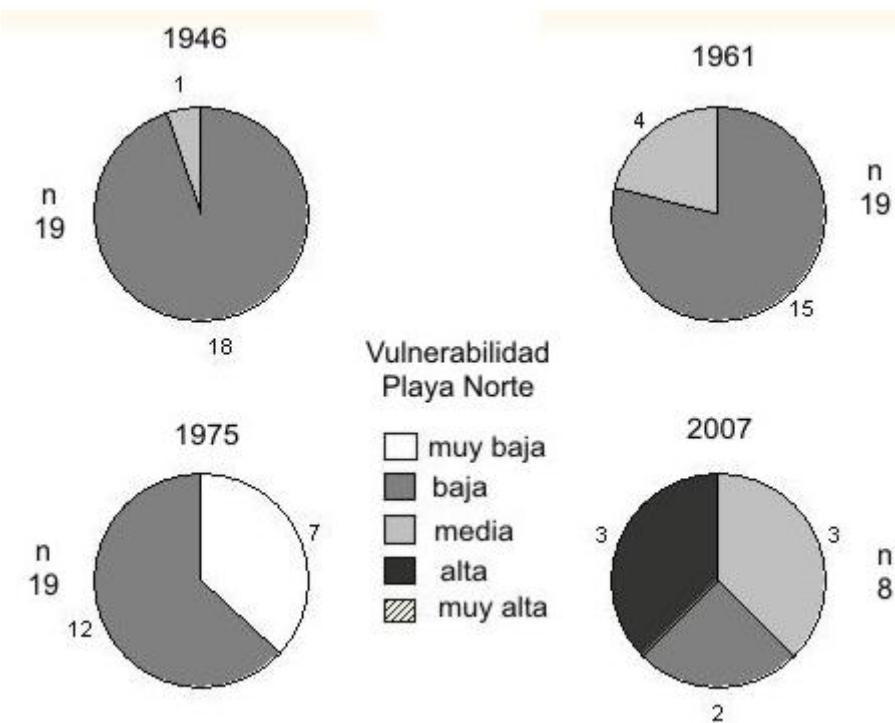


FIGURA 33. CAMBIOS EN EL GRADO DE VULNERABILIDAD EN LOS TRANSECTOS DE PLAYA NORTE. N. REPRESENTA EL NÚMERO TOTAL DE TRANSECTOS Y SE MUESTRA EL NÚMERO DE TRANSECTOS CORRESPONDIENTES A CADA CATEGORÍA DE VULNERABILIDAD.

Playa Regatas (Figura 5, Anexo)

Playa Regatas se mantuvo en todos los años con un nivel de vulnerabilidad medio (Figura 2, Anexo 2), sin variaciones, pues la playa estaba confinada desde 1946 dentro del recinto portuario. Se observó un incremento en el índice de presión, principalmente debido a las tasas erosivas en esta playa (Tabla 23).

TABLA 23. GRADO DE VULNERABILIDAD. PLAYA REGATAS.

Año Transecto	1946			1961			1975			2007		
	IR	IP	V									
1	0.00	0.08	media	0.01	0.10	media	0.00	0.14	media	0.02	0.31	media
2	0.00	0.09	media	0.01	0.10	media	0.00	0.16	media	0.02	0.31	media
3	0.01	0.09	media	0.02	0.11	media	0.01	0.14	media	0.00	0.30	media
4	0.01	0.10	media	0.01	0.11	media	0.02	0.14	media	0.01	0.28	media
5	0.00	0.09	media	0.01	0.11	media	0.01	0.14	media	0.02	0.29	media
6	0.01	0.10	media	0.03	0.11	media	0.01	0.14	media	0.02	0.32	media

7.6.2 Celda II.

Playa Villa del Mar (Figura 6, Anexo)

Esta playa mantuvo índices de vulnerabilidad medio en todos los tiempos analizados (Figura 3. Anexo 2). Se trata de una playa que mantuvo bajos índices de resiliencia en todos los tiempos evaluados (Tabla 24), puesto que desde 1946 no tiene conectividad con la duna costera. En cuanto al índice de presión, éste aumentó a través de tiempo manteniéndose más o menos estable entre 1946 y 1975; sin embargo, para 2007 se observa un ligero incremento en el índice de presión (Tabla 24).

Los bajos índices de resiliencia se deben a que no tiene conectividad con duna desde 1946. Es posible que la playa que se observa actualmente se haya formado mediante el uso de rellenos, como es el caso de los transectos 1 y 2 en la porción norte. Además la presión costera aumentó debido a la construcción de espigones para retener la playa que, hasta 2007 parecen cubrir su función pues la playa va creciendo lentamente, aunque es probable que el incremento se deba a la alimentación periódica de la playa, pues se trata de una zona de importancia turística, que recibe mantenimiento periódico.

TABLA 24. GRADO DE VULNERABILIDAD. PLAYA VILLA DEL MAR.

Transecto	1946			1961			1975			2007		
	IR	IP	V									
1	0.00	0.19 media		0.07	0.17 media		0.07	0.16 media		0.09	0.32 media	
2	0.00	0.27 media		0.00	0.25 media		0.00	0.17 media		0.08	0.31 media	
3	0.00	0.15 media		0.00	0.14 media		0.00	0.17 media		0.03	0.40 media	
4	0.02	0.14 media		0.00	0.13 media		0.03	0.19 media		0.03	0.35 media	
5	0.00	0.11 media		0.00	0.10 media		0.00	0.24 media		0.03	0.32 media	

Playa José Martí (Figura 7, Anexo)

Esta playa también mantuvo un grado de vulnerabilidad medio en todos los tiempos evaluados (Tabla 25, Figura 4, Anexo 2). Se observaron índices de resiliencia bajos, debido a que la playa era, en general, angosta y presentaba, en 1946, sólo tres transectos conectados con una duna extensa y funcional, lo cual cambió a partir de 1961 cuando se separó de la duna por la construcción de muros longitudinales (Figura 34).

En cuanto a los índices de presión, éstos se mantuvieron en un nivel medio en todos los tiempos (Tabla 25), puesto que, a pesar de que se incrementó el número de obras de protección costera a través del tiempo, el efecto que produjo este aumento fue la reversión las tasas erosivas que predominaban en los períodos 1946-1961 y 1961-1975, teniendo para el último período, todos los transectos, tasas de acreción elevadas lo cual hace pensar que algunas porciones de la playa crecieron a través de rellenos artificiales (Figura 34). Además en esta playa el efecto de las OPC parece ser positivo, pues el principal uso de esta playa es como zona de recreo y esparcimiento.



FIGURA 34. PLAYA JOSÉ MARTÍ EN LOS 60S Y EN EL 2007. PLAYA CONSTRUIDA ARTIFICIALMENTE Y PROTEGIDA CON EPIGONES. FUENTES CIA AERONÁUTICA MEXICANA Y GOOGLE EARTH.

TABLA 25. GRADO DE VULNERABILIDAD. PLAYA JOSÉ MARTÍ.

Transecto	1946			1961			1975			2007		
	IR	IP	V									
1	0.00	0.14	media	0.01	0.13	media	0.00	0.21	media	0.00	0.30	media
2	0.00	0.17	media	0.01	0.15	media	0.00	0.16	media	0.00	0.30	media
3	0.00	0.16	media	0.01	0.15	media	0.00	0.16	media	0.00	0.28	media
4	0.00	0.19	media	0.02	0.17	media	0.01	0.15	media	0.00	0.27	media
5	0.00	0.16	media	0.01	0.14	media	0.02	0.20	media	0.02	0.28	media
6	0.00	0.16	media	0.01	0.15	media	0.02	0.19	media	0.02	0.29	media
7	0.02	0.19	media	0.02	0.17	media	0.02	0.19	media	0.02	0.28	media
8	0.02	0.22	media	0.04	0.20	media	0.05	0.19	media	0.05	0.28	media
9	0.06	0.16	media	0.00	0.15	media	0.00	0.17	media	0.00	0.29	media
10	0.04	0.23	media	0.01	0.21	media	0.00	0.16	media	0.00	0.29	media
11	0.10	0.17	media	0.01	0.15	media	0.00	0.15	media	0.00	0.30	media

Costa de Oro (Figura 8, Anexo)

Esta playa presentó un grado de vulnerabilidad medio en 1946 (Figura 5, Anexo 2).

Para 1961 algunos transectos (4) localizados en la porción central de la playa, la cual se encuentra protegida por un arrecife bordeante, mostraron una baja vulnerabilidad. Para 1975 esta porción de transectos se amplió a siete.

Esta playa mantuvo un bajo índice de resiliencia en 1946 debido a que la playa era angosta y a pesar de estar conectada con la duna costera. En 1961 aumento el IOPC de la celda, pero tuvo un efecto positivo en la tasa de cambio de la línea de costa, por lo que los transectos 12, 13, 17 y 18 mostraron los índices de resiliencia más altos en este tiempo (Tabla 26).

TABLA 26. GRADO DE VULNERABILIDAD. PLAYA COSTA DE ORO.

Transecto	1946			1961			1975			2007		
	IR	IP	V									
1	0.12	0.14	media	0.00	0.13	media	0.02	0.18	media	0.00	0.29	media
2	0.12	0.11	media	0.00	0.10	media	0.03	0.18	media	0.00	0.29	media
3	0.12	0.12	media	0.00	0.10	media	0.03	0.19	media	0.00	0.29	media
4	0.15	0.11	media	0.00	0.10	media	0.03	0.19	media	0.00	0.29	media
5	0.18	0.12	media	0.00	0.11	media	0.03	0.19	media	0.00	0.29	media
6	0.09	0.11	media	0.02	0.10	media	0.02	0.19	media	0.00	0.29	media
7	0.06	0.09	media	0.02	0.08	media	0.01	0.17	media	0.00	0.25	media
8	0.04	0.06	media	0.09	0.06	media	0.01	0.18	media	0.01	0.26	media
9	0.04	0.08	media	0.05	0.07	media	0.14	0.20	media	0.03	0.21	media
10	0.07	0.09	media	0.04	0.08	media	0.09	0.17	media	0.05	0.23	media
11	0.06	0.12	media	0.12	0.11	media	0.41	0.16	baja	0.02	0.21	media
12	0.06	0.14	media	0.28	0.13	baja	0.48	0.15	baja	0.02	0.22	media
13	0.07	0.15	media	0.27	0.14	baja	0.54	0.16	baja	0.06	0.33	media
14	0.07	0.16	media	0.15	0.15	media	0.50	0.17	baja	0.01	0.30	media
15	0.07	0.18	media	0.15	0.16	media	0.26	0.18	baja	0.02	0.29	media
16	0.14	0.17	media	0.18	0.16	media	0.45	0.19	baja	0.01	0.28	media
17	0.14	0.19	media	0.26	0.17	baja	0.68	0.22	baja	0.01	0.26	media
18	0.11	0.22	media	0.35	0.20	baja	0.16	0.16	media	0.03	0.29	media
19	0.11	0.20	media	0.12	0.18	media	0.01	0.18	media	0.06	0.31	media
20	0.04	0.20	media	0.07	0.18	media	0.00	0.21	media	0.08	0.32	media
21	0.05	0.20	media	0.11	0.18	media	0.04	0.23	media	0.09	0.33	media
25	0.03	0.17	media	0.06	0.15	media	0.13	0.25	media	0.06	0.37	media
26	0.04	0.15	media	0.08	0.14	media	0.10	0.18	media	0.05	0.38	media

En 1975 la tasa de cambio se mantuvo en valores elevados de acreción en la porción central de la playa por lo que los transectos 11 a 17 mostraron los índices de resiliencia

más altos, es decir, playas más anchas y conectadas con duna, mientras que presentaron los índices de presión más bajos en este año (Tabla 26).

Para 2007 los siete transectos que habían reducido su grado de vulnerabilidad recuperaron el grado de vulnerabilidad medio (Figura 35). Esto se debió a que en el periodo 1975-2007 se perdió la conectividad con duna en varios transectos, mientras que en otros transectos que conservaron la conectividad la duna era sólo un fragmento.

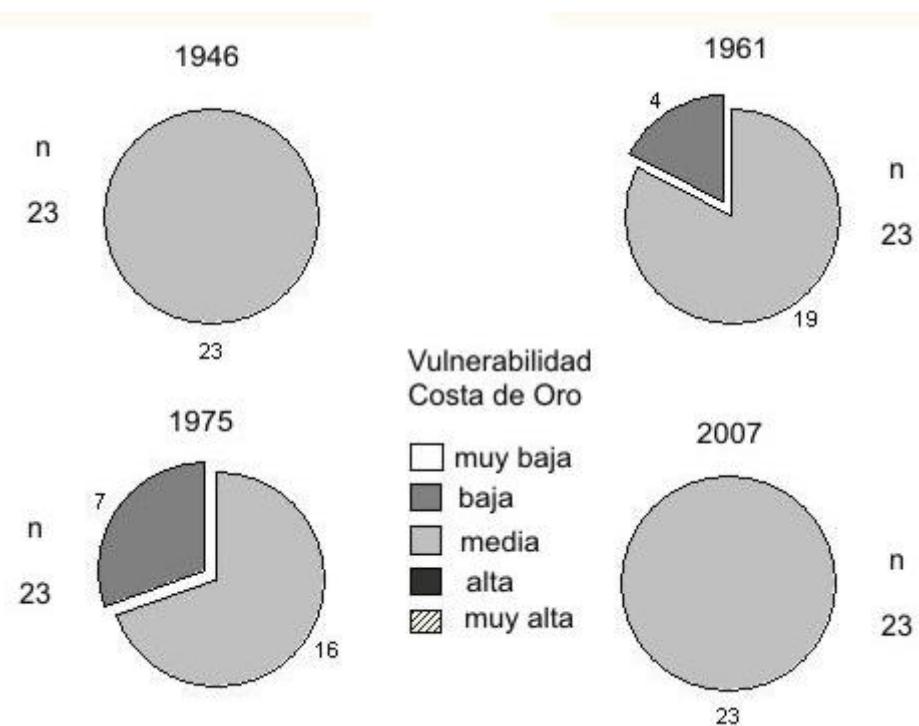


FIGURA 35. CAMBIOS EN EL GRADO DE VULNERABILIDAD DE LOS TRANSECTOS DE PLAYA COSTA DE ORO.

7.6.3 Celda III

Mocambo (Figura 9, Anexo)

Los transectos en la playa de Mocambo mantuvieron un grado de vulnerabilidad medio desde 1946 hasta 1975 (Figura 6, Anexo 2), aunque el índice de resiliencia mostró un ligero aumento en 1961 (Tabla 27) por que en los transectos localizados más al sur las playas eran más anchas.

TABLA 27. GRADO DE VULNERABILIDAD. PLAYA MOCAMBO.

Año Transecto	1946			1961			1975			2007		
	IR	IP	V									
1	0.01	0.00	media	0.01	0.21	media	0.00	0.30	media	0.04	0.84	muy alta
2	0.01	0.00	media	0.02	0.26	media	0.01	0.25	media	0.04	0.91	muy alta
3	0.02	0.00	media	0.02	0.31	media	0.01	0.17	media	0.07	0.81	muy alta
4	0.08	0.00	media	0.03	0.36	media	0.02	0.16	media	0.09	0.78	alta
5	0.02	0.00	media	0.00	0.31	media	0.04	0.21	media	0.05	0.71	alta
6	0.03	0.00	media	0.03	0.23	media	0.10	0.25	media	0.03	0.73	alta
7	0.04	0.00	media	0.05	0.19	media	0.00	0.34	media	0.02	0.74	alta
8	0.05	0.00	media	0.09	0.22	media	0.00	0.36	media	0.01	0.73	alta
9	0.05	0.00	media	0.09	0.23	media	0.01	0.26	media	0.02	0.74	alta
10	0.07	0.00	media	0.10	0.24	media	0.00	0.27	media	0.02	0.72	alta
11	0.04	0.00	media	0.17	0.37	media	0.00	0.29	media	0.01	0.72	alta
12	0.04	0.00	media	0.10	0.26	media	0.00	0.27	media	0.01	0.75	alta
13	0.07	0.00	media	0.12	0.23	media	0.00	0.37	media	0.00	0.89	muy alta
14	0.06	0.00	media	0.13	0.26	media	0.01	0.29	media	0.00	1.00	muy alta
15	0.04	0.00	media	0.11	0.25	media	0.01	0.24	media	0.04	0.93	muy alta
16	0.11	0.00	media	0.12	0.25	media	0.00	0.28	media	0.04	0.82	muy alta

El índice de presión creció rápidamente en esta celda, particularmente en el período 1975-2007 (Tabla 27), cuando incremento el número de obras costeras y la longitud de las que ya existían. Además esta playa fue perdiendo conectividad hasta perderla por completo en el período 1975-2007. Esto resultó en un incremento en el grado de

vulnerabilidad en todos los transectos. Nueve de 16 transectos en la porción central de la playa pasaron de media a alta vulnerabilidad, mientras que 7 de 16 transectos en los extremos norte y sur de la playa pasaron de media a muy alta vulnerabilidad (Figura 6, Anexo 2), con bajos índices de resiliencia y los máximos índices de presión observados en toda el área de estudio.

Santa Ana (Figura 10, Anexo)

La playa Santa Ana mantuvo el estatus de vulnerabilidad media en todos sus transectos (Figura 7, Anexo 2) hasta 1961 observándose que el índice de resiliencia se redujo (Tabla 28), pues las playas eran más angostas y desde 1946 se encontraban separadas de la duna por la carretera costera que comunicaba Boca del Río con Veracruz, salvo algunos transectos que preservaron la conectividad con fragmentos de duna. Incluso estos fragmentos de duna se perdieron entre 1975 y 2007 por la construcción de muros longitudinales y edificios de uso turístico o residencial.

Con respecto a la presión esta fue en aumento pues esta celda pasó de tener un índice de presión de cero en 1946 a índices de entre .07 y .28 en 1961 cuando se observaban los primeros espigones (Tabla 28). En este periodo (1946-1961) se observaron tasas de cambio de la línea de costa erosivas. A pesar del incremento en el IOPC el grado de vulnerabilidad se mantuvo pues en el periodo 1961-1975 se revirtió la tendencia erosiva de la playa a ser de franca acreción. Sin embargo para 2007, a pesar de mantener la tendencia a la acreción esta fue mucho menor llegando algunos transectos a sobrepasar apenas el punto de equilibrio de la playa, reflejándose esto en un incremento en el grado de vulnerabilidad de los transectos (p.e. transectos 12 y 13) (Tabla 28).

Año Transecto	1946 TABLA 28. VULNERABILIDAD. PLAYA SAN ANA.			2007					
	IR	IP	V	IR	IP	V	IR	IP	V
2	0.02	0.00	media	0.06	0.28	media	0.01	0.21	media
3	0.03	0.00	media	0.05	0.26	media	0.02	0.24	media
4	0.03	0.00	media	0.05	0.28	media	0.02	0.22	media
5	0.03	0.00	media	0.04	0.23	media	0.02	0.25	media
6	0.04	0.00	media	0.04	0.19	media	0.02	0.31	media
7	0.03	0.00	media	0.04	0.20	media	0.01	0.31	media
8	0.03	0.00	media	0.03	0.19	media	0.01	0.32	media
9	0.03	0.00	media	0.03	0.19	media	0.00	0.33	media
10	0.03	0.00	media	0.03	0.20	media	0.00	0.30	media
11	0.03	0.00	media	0.03	0.18	media	0.01	0.35	media
12	0.13	0.00	media	0.01	0.15	media	0.00	0.32	media
13	0.18	0.00	media	0.02	0.11	media	0.01	0.35	media
14	0.19	0.00	media	0.03	0.13	media	0.02	0.35	media
15	0.25	0.00	media	0.03	0.09	media	0.03	0.39	media
16	0.27	0.00	media	0.02	0.09	media	0.03	0.41	alta
17	0.10	0.00	media	0.04	0.09	media	0.07	0.42	alta
18	0.11	0.00	media	0.05	0.07	media	0.05	0.40	baja
19	0.10	0.00	media	0.08	0.11	media	0.07	0.44	alta
20	0.09	0.00	media	0.15	0.19	media	0.11	0.48	baja

De los 20 transectos evaluados en esta playa en el periodo 1961 a 1975 15, 20 transectos mantuvieron el estatus de vulnerabilidad media mientras que dos pasaron de vulnerabilidad media a baja y tres pasaron de vulnerabilidad media a alta (Figura 36).

Para el periodo 1975-2007 siete transectos de baja, media y alta vulnerabilidad en la porción sur de la playa pasaron a muy alta vulnerabilidad mientras que trece que tenían un estatus de vulnerabilidad media en el periodo anterior pasaron a tener un alto grado de vulnerabilidad (Figura 36).

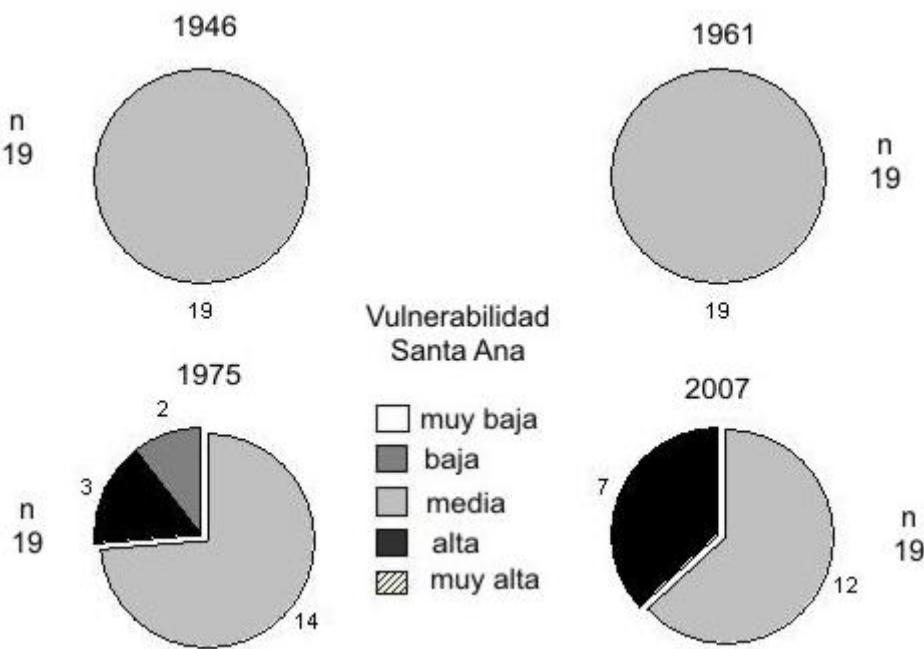


FIGURA 36. CAMBIOS EN EL GRADO DE VULNERABILIDAD. PLAYA SANTA ANA.

El Estero (Figura 11, Anexo)

La playa El Estero en mostró índices de resiliencia bajos en todos los tiempos evaluados debido a que, por encontrarse en la desembocadura del río Jamapa y ser una playa asociada a una barra arenosa presentaba conectividad con otros ambientes naturales diferentes de duna, con el estero y con mangle. Solo algunos transectos se conectaban con dunas móviles que se desplazaban de sitio a través del tiempo, haciendo que los transectos cambiaran su índice de resiliencia. Sin embargo, para 2007 el índice de resiliencia bajó por efecto de la urbanización, reemplazo y/o pérdida de áreas completas de la playa y de la barra (transecto 1) por efecto de la erosión provocada por las escolleras en los márgenes del Río Jamapa (Tabla 29). El efecto de la escollera de la margen norte se empieza a observar desde 1961 en el transecto 1 y aún más en 1975 y

2007. Los valores del índice de presión son altos por incrementarse el IOPC y presentar tasas de erosión (Tabla 29)

TABLA 29. VULNERABILIDAD. PLAYA EL ESTERO.

Año Transecto	1946			1961			1975			2007		
	IR	IP	V									
1	0.03	0.00	media	0.10	0.15	media	0.00	0.16	media	0.00	0.69	alta
2	0.06	0.00	media	0.15	0.03	media	0.07	0.27	media	0.20	0.62	alta
3	0.16	0.00	media	0.17	0.00	media	0.22	0.44	alta	0.02	0.38	media
4	0.08	0.00	media	0.13	0.01	media	0.00	0.29	media	0.02	0.53	alta
5	0.12	0.00	media	0.18	0.03	media	0.00	0.25	media	0.04	0.54	alta
6	0.18	0.00	media	0.26	0.03	media	0.13	0.24	media	0.02	0.52	alta
7	0.11	0.00	media	0.10	0.10	media	0.12	0.19	media	0.10	0.54	alta
8	0.19	0.00	media	0.14	0.13	media	0.07	0.19	media	0.03	0.57	alta

En 1946 y 1961 todos los transectos conservaron un grado de vulnerabilidad media (Figura 8, Anexo 2), mientras que para 1975 el transecto 1 este desapareció con la barra y, por tanto, la playa de la barra y el transecto 3 pasó, de tener un grado de vulnerabilidad media, a alta. En 2007 el transecto 3 redujo el grado de vulnerabilidad a media mientras que el resto de los transectos, el 2 y del 4 al 8 pasaron de tener un grado de vulnerabilidad media a alta (Tabla 29).

7.7. Análisis de conflictos

La tabla 30 muestra las relaciones causa-efecto entre las obras de protección costera y los patrones sedimentarios posibles en las playas estudiadas: erosión, acreción, desaparición. La tabla 31 muestra los problemas asociados a los efectos de las obras de protección costera. La tabla 32 muestra la relación de autores consultados.

TABLA 30. EFECTOS DE LAS OBRAS DE PROTECCIÓN COSTERA EN LAS PLAYAS. E1=ACRECIÓN, E2=EROSIÓN, E3=DESAPARICIÓN. LA CLAVE PARA IDENTIFICAR AUTORES SE MUESTRA EN LA TABLA 33.

Estructura	Efecto	AUTOR
Rompeolas	E1	8,9,10, 27
	E2	8,9,10,27
	E3	9,10
Escollera	E1	22
	E2	22
	E3	
Espigón	E1	1,2,8,11,13
	E2	1,2,8,11,13
	E3	
Muro longitudinal Revestimiento particular Edificios en playas	E1 E2 E3	3,4,5,7,26, 3,4,5,8,11,12,16,13,25 15,18

Nota: Los revestimientos particulares y edificios en playa tienen un efecto similar.

TABLA 31. PROBLEMAS (P) ASOCIADOS A LOS EFECTOS DE EROSIÓN (E2) Y (E3) DESAPARICIÓN DE PLAYA A CAUSA DE OBRAS DE PROTECCIÓN COSTERA.

Efecto	Problema	Clave	Autor
E2, E3	Daño a casas y estructuras habitables	P1	11,12,14,16,18
E3	Perdida de las formas terrestres	P2	20
E2, E3	Reducción de la amenidad paisajística	P3	19,21,27
E2, E3	Reducción o bloqueo del acceso a bañistas	P4	11,12,16,18,21
E2, E3	Perdidas económicas (turismo, bienes raíces)	P5	13,18,21
E2, E3	Efectos en la población por daño a infraestructura	P6	6,17,23
E2, E3	Reducción de la amenidad recreativa	P7	4,16,19
E2, E3	Reducción de la viabilidad del turismo de playa	P8	4,12,16,18,19,27

TABLA 32. CLAVE DE AUTORES CONSULTADOS.

Autor
Griggs <i>et al.</i> , 1990
Hsu <i>et al.</i> , 1990
Hall y Pilkey 1991
Maharaj, 1999
Nordstrom, 2000
Weide et al 2001
Weigle et al. 2002
Feindel 2003
Douven <i>et al.</i> , 2003
Cisin-Sain y Belfiore 2005
FL-DEP, 2006
Gabriela y Terichb, 2006
Phillips y Jones, 2006
ASBPA 2008
Quartel <i>et al.</i> , 2008
Norcross-Nu'u y Abott, 2008
Ariza <i>et al.</i> , 2008
Schleupner, 2008
Guido-Aldana <i>et al.</i> , 2009
Kelly, 2010
Khalid y Omran., 2010
Khosharavan y Rouhnisadez, 2011
Jimenez <i>et al.</i> , 2011
Pilkey <i>et al.</i> , 2012
Abualtayef et al., 2012
Anfuso <i>et al.</i> , 2012
Abott, 2013

Con base en lo reportado por los autores consultados (tabla 32) se determinó que:

Las estructuras perpendiculares a la línea de costa: rompeolas espigones y escolleras tienden a tener un doble efecto: erosión y acreción en uno y otro lado de la estructura, siendo la magnitud de estos efectos determinada por las características geomorfológicas del sitio y las características del transporte litoral local.

Las obras paralelas a la línea de costa: los muros longitudinales (también los revestimientos y las construcciones en la playa que funcionan como muros) tienen un efecto erosivo pasivo que, dependiendo de la fuerza y dirección del oleaje y algunos otros factores relacionados con eventos meteorológicos extremos, tenderá acelerada o más lentamente a la desaparición total de la playa y al daño de la infraestructura (el muro) a la infraestructura detrás del muro (bulevares, caminos escénicos, hoteles, viviendas, etc)

Los terrenos ganados al mar pueden generar playa (acreción artificial) o desaparecer playa, cuando se utilizan para incrementar la superficie utilizable para sostener infraestructura.

La figura 37 muestra una representación diagramática de las relaciones causa-efecto (OPC-Playa) en las playas evaluadas.

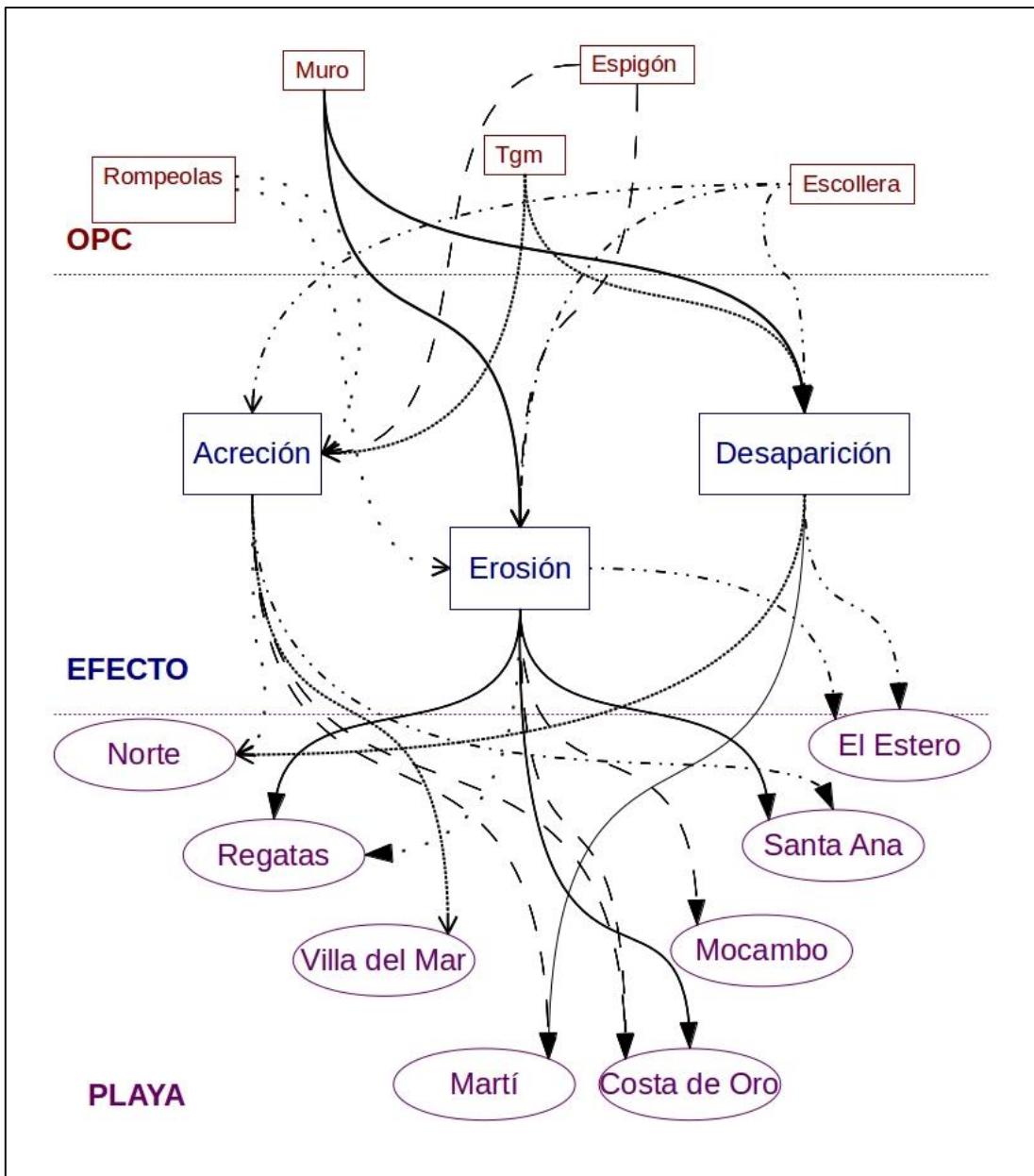


FIGURA 37. CAUSA EFECTO (OPC-PLAYA) EN LAS PLAYAS DE LA ZONA METROPOLITANA DE VERACRUZ. EL ESTILO DE LÍNEA VINCULA A CADA AGENTE CAUSAL (OPC) CON EL EFECTO OBSERVADO Y SU LOCALIZACIÓN EN LAS PLAYAS EVALUADAS.

TABLA 33. MATRIZ RELACIÓN CAUSA (ESTRUCTURAS)-EFECTO (E) -PROBLEMA EN LAS PLAYAS (P) DE LA ZMV. EL COLOR GRIS EN LA CELDA REPRESENTA LA PRESENCIA DEL EFECTO EN CADA PLAYA Y LOS CÓDIGOS NUMÉRICOS REPRESENTAN LOS PROBLEMAS ACTUALES O POTENCIALES EN EL MEDIANO PLAZO (LA SIGUIENTE DÉCADA) (VER. TABLA 31). LA PRESENCIA DEL COLOR GRIS SIN UN NÚMERO DE PROBLEMA ASOCIADO REPRESENTA LA PRESENCIA DE UN EFECTO A CAUSA DE UNA OBRA DE PROTECCIÓN COSTERA QUE, SIN EMBARGO, NO ES CONSIDERADA COMO UN PROBLEMA, ACTUAL O POTENCIAL.

		PLAYA									
Estructura	Efecto	Norte	Regatas	Villa del Mar	Martí	Costa de Oro	Mocambo	Santa Ana	Estero		
Rompeolas	E1										
	E2		3,4,6,7,8	3,4,5,7							
	E3										
Escollera	E1										
	E2										1,3,4,5,6,7,8,
	E3										1,2,3,4,5,6,7,8
Espigón	E1				3,4	3,4,7	3,4,7	3,4,7	3,4,7		
	E2			3,4,7	3,4,6,7,8	1,2,3,4,5,6,7,8	2,3,4,5,6,7,8	3,4,5,7			
	E3					1,2,3,4,5,6,7,8	1,2,3,4,5,6,7,8,				
Muro	E2		3,4,7	3,4,7	3,4,6,7,8	2,3,4,5,7,8	2,3,4,7,8	3,4,5,7			
	E3				2,3,4,6,7						
Tgm	E1				3	2					
	E3	2,3,7									
Edificios en playa	E2					1,2,3,4,5,6,7,8	3,4,5,6,7,8	2,3,4,5,6,7,8			
	E3					1,2,3,4,5,6,7,8	1,2,3,4,5,6,7,8				

Se encontraron 8 problemas principales (actuales o potenciales) (Tabla 33), los cuales fueron observados en las playas de la ZMV.

7.7.1 Celda I

Playa Norte (Figura 12, Anexo)

En Playa Norte los efectos observados son una fuerte acreción por efecto de un rompeolas de 3 km y los terrenos ganados al mar del Puerto de Veracruz. También se observa la desaparición de playa por efecto de los terrenos ganados al mar para expandir las instalaciones portuarias.

A pesar de que la modificación en las tasas de acreción es un efecto directo de las obras de protección costera, en la revisión de literatura no se encontró que para los usuarios de playa esto sea percibido como un problema. En cuanto a la desaparición de playa por efecto de los terrenos ganados al mar se detectaron tres problemas (Tabla 33).

De acuerdo con los planes de desarrollo para esta zona, por el proyecto de ampliación del Puerto de Veracruz, se espera, si este se lleva a cabo, se presenten dos problemas potenciales (problemas 4 y 6)

Playa Regatas (Figura 13, Anexo)

Se observó un efecto erosivo combinado a causa de dos obras de protección costera: un rompeolas (la playa Regatas se encuentra prácticamente confinada) y un muro longitudinal. Se determinó la presencia de cinco problemas relacionados con el uso

recreativo, paisajístico y acceso a la playa. Este efecto sin embargo es mínimo pues al estar totalmente confinada es posible que el movimiento de sedimentos sea temporal.

7.7.2. Celda II

Playa Villa del Mar (Figura 14, Anexo)

Se detectaron cuatro problemas por efecto de la erosión relacionados con la pérdida de valor estético y acceso a la playa para el uso recreativo. La erosión supone pérdida de superficie y Villa del Mar es una de las playas más visitadas de la ZMV, por lo que la pérdida de superficie de playa también resulta en pérdidas económicas (Tabla 33).

Esta playa ha sido alimentada y protegida con espigones. A pesar de que se ha ganado terreno al mar (acreción artificial) el único problema que ha supuesto es la reducción de la calidad escénica del paisaje.

Playa José Martí (Figura 15, Anexo)

En esta playa se han realizado rellenos y obras de protección para retener la playa ganada artificialmente. La protección mediante muros y espigones ha tenido un efecto erosivo combinado llegando a desaparecer la playa en algunos transectos. En esta playa se identificaron 6 problemas (tabla 34) relacionados con aspectos de uso recreativo e infraestructura recreativa (la zona alberga campos de futbol considerados como infraestructura recreativa municipal) y también problemas de acceso y reducción de la calidad paisajística.

Playa Costa de Oro (Figura 16, Anexo)

Se identificaron los ocho problemas (Tabla 33). Esta playa cuenta con espigones, muros y construcciones sobre la playa (principalmente hoteles de 4 y 5 estrellas y residencias de alto valor comercial). La tendencia erosiva en la porción norte de esta playa apunta a la perdida de la playa en el corto plazo. Por esta razón se identificaron problemas relacionados con el daño a la infraestructura, pérdidas económicas y problemas de acceso a la playa para su uso recreativo.

7.7.3 Celda III

Playa Mocambo (Figura 17,, Anexo).

Se identificaron los ocho problemas (Tabla 33). Siendo la situación similar a la observada en la playa Costa de Oro. Históricamente en esta playa dos hoteles, Torremar y Playa Paraíso tuvieron numerosos problemas relacionados con el daño a su infraestructura por la desaparición de la playa.

Playa Santa Ana (Figura 18, Anexo)

Se identificaron siete de los ocho problemas (Tabla 33) considerados para el área de estudio, particularmente en la zona norte, donde se observa el efecto combinado de muros y espigones y donde la playa se mantiene pero la tendencia es a la erosión.

No sucede así en la parte sur, donde la escollera de la margen norte de la desembocadura del Río Jamapa-Cotaxtla retiene sedimentos provocado una fuerte acreción, resultando positivo para las actividades recreativos propias de esta playa.

Incluso la ACIS Boca del Río tiene proyectado un Paseo de playa el cual incluye incrementar el ancho de la playa mediante rellenos.

Playa El Estero (Figura 19, Anexo)

Se identificaron ocho problemas por el efecto erosivo de las escolleras de la desembocadura del Rio Jamapa-Cotaxtla. Los problemas principales se relacionan con la pérdida de la playa hasta su desaparición en la porción más al norte la cual generará daños a la infraestructura y pérdidas económicas (a bienes raíces principalmente). Además de los problemas de acceso para fines recreativos y turísticos.

8.- DISCUSIÓN

La diversidad de métodos para evaluar la vulnerabilidad de las playas del mundo ante efectos no deseados como son los que imponen la construcción de obras de protección costera queda bien resuelta en esta tesis ya que con el modelo diseñado se demuestra que el ancho de playa y su conectividad con ambientes subsidiarios preservan la capacidad de la playa de responder a estímulos externos. Como en otros sitios (Valpreda *et al.*, 2004; Gracia *et al.*, 2005; Saye *et al.*, 2005; Mendoza y Jiménez, 2006; Oropeza-Orozco *et al.*, 2011), con los resultados obtenidos, se comprueba que, cuando se modifican ancho y conectividad, las playas urbanizadas son más vulnerables a sufrir efectos no deseados por la construcción de obras de protección costera, principalmente debido a balances sedimentarios erosivos.

Los resultados indican que, ante el incremento de la presión, hay tres formas de reacción que se resumen en: 1) playas que mantienen una vulnerabilidad media, construida históricamente, 2) playas que aumentan su vulnerabilidad cuando se colocan OP playas que mantuvieron o redujeron su vulnerabilidad porque se aplicaron medidas de rehabilitación de sedimentos para restauración de las playas. Esto se ha observado en otros sitios (Azuz-Adeath, 2002; Crous-Bou *et al.*, 2004; Domínguez-Garrido *et al.*, 2007-2008; Nageswara Rao *et al.*, 2008; Mwakumanya *et al.*, 2009, Rangel-Buitrago y Anfuso, 2009; El Mrini *et al.*, 2012) aunque en estos casos se ha evaluado la vulnerabilidad de las playas ante los efectos de diferentes presiones y con diversas aproximaciones conceptuales.

En coincidencia con (Ramieri *et al.*, 2011), se considera que la integración de diferentes aproximaciones conceptuales en el desarrollo del modelo conceptual y metodológico para evaluar la vulnerabilidad de las playas a efectos no deseados provocados por la construcción de obras de protección costera fue de suma importancia. Asimismo, como mencionan algunos autores (Ionescu *et al.*, 2005; Niemeijer y de Groot 2006; Rygel *et al.* 2006; Palmer *et al.* 2011 y Ramieri *et al.* 2012) el modelo a usar, en sus aplicaciones particulares debe seleccionar un conjunto de indicadores cualitativos y cuantitativos disponibles y fáciles de obtener para poder evaluar la vulnerabilidad de los sistemas de playa. En este caso, a los efectos no deseados provocados por la construcción de obras de protección costera e identificar los sistemas de playa más vulnerables a dicho efectos. Con estos insumos se podrá demostrar, posteriormente, el costo de la construcción de la vulnerabilidad y se podrá diseñar una estrategia que lo minimice.

El tema se torna todavía más interesante ante escenarios de cambio climático y crecimiento portuario e infraestructura urbana, pues los efectos locales de las OPC sobre las playas que hoy ya tienen grados de vulnerabilidad media a alta se agravan ante la incidencia de ciclones de mayor frecuencia y magnitud, y a incrementos en el nivel del mar (Erfstermeijer *et al.*, 2012, Jimenez *et al.*, 2011, Marchand *et al.*, 2011). Además, existe una clara tendencia hacia la urbanización del litoral en la ZMV (SCT, 2008), lo que supondrá el incremento de la vulnerabilidad en más playas localizadas hacia el norte y hacia el sur del área evaluada.

8.1 Análisis espacial

El uso de fotografía aérea histórica para evaluaciones relacionadas con los cambios en la línea de costa y ambientes costeros (playas, dunas, manglares, arrecifes someros) conlleva un cierto grado de incertidumbre. Ésta se relaciona con aspectos técnicos de la obtención de la foto aérea, particularmente cuando se iniciaron los registros de foto aérea, a finales de la década de los 40 y principios de los 50. Entre éstos destaca la verticalidad de la fotografía, la resolución de la misma, o la falta de metadatos (p.e. la hora y fechas exactas). También en ocasiones no se cuenta con datos sobre la posición estacional de la línea de costa y la marea (Rooney and Fletcher, 2000; Yamano *et al.*, 2005).

Sin embargo, considerando que en países en desarrollo existen fuentes de datos limitadas que permitan hacer estudios históricos, el uso de acervos fotográficos es de suma importancia para realizar evaluaciones históricas en la zona costera (Kunte y Wagle, 1993; Erftemeijer *et al.*, 2012). Esto es relevante, ya que es necesario diseñar planes y estrategias de desarrollo desde un enfoque de manejo integrado en las zonas costeras, que permitan preservar la permanencia y funcionalidad de los ecosistemas costeros y sus recursos. Además el costo de este tipo de información es bajo y el análisis e interpretación de la misma es relativamente rápido, lo cual permite generar información oportuna para la toma de decisiones.

8.1.2 Análisis de cambio de uso de suelo en las celdas litorales.

De acuerdo con el INEGI Veracruz es una zona metropolitana constituida por cuatro municipios conurbados, cuenta con el principal puerto comercial mexicano en el Golfo de México. Sus playas son uno de los principales destinos turísticos nacionales a las cuales se asocia una importante infraestructura turística. A partir del análisis en los cambios de uso de suelo en el área de estudio, se determinó que las principales fuerzas motrices relacionadas con la construcción de obras de protección costera son el desarrollo portuario, el desarrollo turístico y el desarrollo urbano.

Erftermeijer *et al.* (2012), mencionan que la construcción de obras de protección costera es la principal estrategia para el desarrollo y expansión de las actividades portuarias y turísticas. En el caso de las zonas portuarias los rompeolas son las estructuras más utilizadas para estabilizar los canales de navegación y proteger la infraestructura portuaria (USACE, 2006).

Otra de las estrategias más comunes es ganar terreno al mar a través de rellenos con materiales diversos (cascajo, piedra, arena) de fuentes diversas, siendo éstas, la principal estrategia de expansión de puertos (Erftermeijer *et al.*, 2012). En países en desarrollo de la franja tropical, se ha observado que varios puertos se encuentran asociados con arrecifes someros, al igual que el Puerto de Veracruz particularmente en países en desarrollo que, al igual que el Puerto de Veracruz (Chou y Tun 2005; Guzmán *et al.*, 2008, Defeo *et al.*, 2009; Ortiz Lozano, 2012). Los terrenos ganados al mar tienden a sustituir ambientes costeros, siendo generalmente, las playas, los pastos marinos y arrecifes someros los sistemas más afectados (Maharaj, 2001). Dependiendo de la

magnitud de los rellenos realizados para ganar terreno al mar y a la geometría de la obra, pueden generarse efectos de bloqueo de transporte de sedimentos, lo cual provoca erosión en un lado de la obra de relleno y erosión en el otro lado (Abbott 2013, Erftermeijer *et al.*, 2012; Benassai, 2006).

En cuanto al desarrollo turístico, históricamente, se han construido espigones como una de las principales estrategias de retención de sedimentos; sin embargo, el uso indiscriminado de estas estructuras ha traído como consecuencia la erosión de áreas contiguas por el bloqueo de sedimentos. Esto ha sido documentado por (Griggs y Tait 1998; Erftermeijer *et al.* 2012; Benassai 2006). Asimismo, en zonas cercanas a deltas y desembocaduras, la dinámica litoral es más compleja (Cayocca, 2001) y los impactos de estructuras perpendiculares a la línea de costa pueden ser mayores.

En el caso de las playas de Veracruz, el uso de escolleras en la desembocadura del Río Jamapa ha permitido conservar una playa en la ZMV, pero el costo ha sido la pérdida de la barra de la desembocadura del río Jamapa en un periodo de 14 años y la creación de tasas erosivas elevadas en la playa El Estero, localizada en un área de alto valor comercial conocida hoy como “Riviera Veracruzana”.

Los muros longitudinales revestidos, o no, también se asocian a infraestructura turística y urbana, siendo su finalidad mantener la línea de costa en su sitio, sobre todo en zonas donde se ha perdido la playa (USACE, 2006) o existe riesgo de perderla (USACE, 2006); sin embargo, esta pérdida generalmente se debe a la presencia del mismo muro que provoca la erosión pasiva, ya que la energía del oleaje remueve paulatinamente los

sedimentos frente a la estructura hasta crear una pendiente pronunciada y un acortamiento de la playa, provocando finalmente, su pérdida total (Pielkey *et al.* 1998).

Considerando lo observado por Jiménez *et al.* (2011) para la costa catalana, es probable que en las playas de Veracruz algunos de los muros longitudinales se hayan construido, no como estrategia de protección costera, sino como elementos arquitectónicos o como infraestructura recreativa. Esto se observa particularmente en la Playa Costa de Oro, donde existe una zona erosiva, pero donde la mayor parte de la playa presenta tasas de acreción por estar protegida por el Arrecife Ingeniero. Al construir el muro longitudinal en la década de los 90, no se consideró que la tasa erosiva en la parte norte de la playa aunada al efecto de erosión pasiva del muro generaría en el mediano plazo, el angostamiento de la playa.

8.2 Evaluación de la vulnerabilidad de playas mediante el uso de indicadores compuestos.

A pesar de que “vulnerabilidad” es un término que se ha vuelto común, no hay una definición universalmente aceptada (O’Brien *et al.*, 2004). Lo que es claro, es que no es una característica observable directamente, sino un concepto teórico que sólo puede hacerse operativo a través de la elaboración de un marco conceptual explícito que determine la selección de los parámetros o variables que modulan esta propiedad y sus cambios a través del tiempo (Ramieri *et al.*, 2011).

Los índices propuestos son índices semicualitativos, que como mencionan Ramieri *et al.*, (2011) son útiles para evaluar la vulnerabilidad en escalas locales y regionales o

para sistemas específicos. Éstos fueron construidos a partir de cuatro indicadores de primer y segundo orden. Los indicadores de primer orden fueron “ancho de playa” y “conectividad con duna”, que se utilizaron para construir el índice de resiliencia.

En el caso particular de las playas el ancho de playa es un indicador que se utiliza frecuentemente como medida de la resiliencia de la playa o de su capacidad de enfrentar cambios importantes por efecto de diversos estímulos (p.e. tormentas, aumento del nivel medio del mar, cambio climático, etc) (Valpreda *et al.*, 2004).

En este trabajo se observó que la conectividad con duna también es también un indicador (aunque sea cualitativo de “presencia ausencia”) que representa una característica que determina la vulnerabilidad o susceptibilidad de las playas. Ha sido utilizado en pocos estudios sobre sensibilidad o vulnerabilidad de la costa ante la erosión (Valpreda *et al.*, 2004; Saye *et al.*, 2005; Oropeza-Orozco *et al.*, 2011). A pesar de que aún no es muy utilizado, la conectividad con duna es considerada de suma importancia para la resiliencia de playas pues a través del subsidio sedimentario contribuye a la estabilidad de las playas (El Mrini *et al.*, 2012). Por ejemplo, en este estudio se demuestra su utilidad en el caso particular de las playas Costa de Oro y Mocambo, las cuales a pesar de la construcción de obras de protección costera mantuvieron o lograron adaptarse a los cambios que se dieron en la dinámica litoral, mientras mantuvieron la conectividad con la duna. Sin embargo, cuando a través del tiempo fueron perdiendo esta conectividad y fue incrementando la presión por obras de protección costera, su vulnerabilidad también fue incrementando, llegando incluso a desaparecer en 2007 (de algunos de los transectos evaluados).

Los indicadores de segundo orden, “tasa de cambio de la línea de costa” e “índice de obras de protección costera” (IOPC) fueron utilizados para construir el índice de vulnerabilidad y resultaron útiles para identificar, indirectamente en el caso de la tasa de cambio de la línea de costa, la magnitud de los cambios en la dinámica litoral y para conocer la magnitud específica de la presión por obras de protección costera en el caso del IOPC.

El indicador “tasa de cambio de la línea de costa”, aquí utilizado ha sido utilizado en numerosas valuaciones de vulnerabilidad de playas y ha demostrado ser un buen indicador, ya sea con índices cualitativos y cuantitativos o combinados, entre los que destacan; el índice de vulnerabilidad costera de Pendleton *et al.* (2004); el índice de vulnerabilidad a tormentas de Mendoza y Jiménez (2009); el índice de vulnerabilidad de playa de Alexandrakis *et al.* (2011).

El IOPC es una aportación de este estudio a los estudios de vulnerabilidad de playas en el mundo. El IOPC se deriva del marco conceptual y metodológico propuesto, el cual le da soporte teórico, sobre todo por que la vulnerabilidad no es una característica observable, sino conceptual. Se incluye en el cálculo del indicador compuesto de presión (IP) que incluye la magnitud de la presión por las obras de protección costera perpendiculares a la línea de costa que, como mencionan Sánchez-Arcilla *et al.* (2011), actúan como barreras importantes. Es decir, actúan como impedimentos totales o parciales al transporte de sedimentos y su movilidad costera, dependiendo de su magnitud y localización. Esto ha sido identificado como un problema general en

muchas de las celdas costeras de diferentes sitios en Europa evaluados por el proyecto COSCIENCE (Marchand *et al.*, 2011).

A pesar de ser identificados como elementos importantes en la modificación de la dinámica sedimentaria que afecta directamente a las playas, prácticamente ningún autor (de los autores consultados sólo Mwakumanya *et al.* (2009) los incluye como indicadores) evalúa su efecto dentro de un indicador de vulnerabilidad o susceptibilidad de la costa. Lo más común es que se evalúe la vulnerabilidad de la costa a escalas espaciales mayores y ante estímulos naturales o humanos de mayor magnitud como el aumento del nivel del mar, o a tormentas.

El indicador compuesto de resiliencia de la playa representó aceptablemente la capacidad de los puntos evaluados de absorber la magnitud de la presión. Marchand *et al.* (2011) plantean que la resiliencia es una propiedad inherente del sistema que puede medirse y que puede definirse claramente en espacio y tiempo. Es por esto que proponemos que sea utilizado, no sólo para determinar su valor en un sitio específico, sino como indicador normativo para formular objetivos y medidas de manejo costero donde hay playas.

A partir de las posibilidades de combinación entre los valores de ambos índices en una escala cualitativa, se evaluó la vulnerabilidad de los transectos en cada playa. Los principales cambios observados en cuanto al grado de vulnerabilidad de playas en los tiempos evaluados pueden dividirse en tres categorías o tipos:

1.- Continuidad del grado de vulnerabilidad. Esto se observó en la mayor parte de las playas localizadas desde 1946 en la zona urbana. Se trata de playas con muy baja resiliencia sujetas a presiones, que en algunos casos (p.e. Costa de Oro) migraron de índices de presión de cero a casi uno (las más altas), logrando preservar el estatus de vulnerabilidad por la construcción de obras de protección costera y, probablemente en algunos casos, mediante programas de alimentación de playas (p.e. José Martí, Costa de Oro). Esta preservación del estatus de vulnerabilidad en muchos casos se mantuvo sólo hasta 1975.

2.- Incremento en el grado de vulnerabilidad. Este cambio se observó de manera generalizada en el período 1975-2007 cuando se desarrolló la mayor parte de la infraestructura turística de la porción sur del área de estudio, lo cual influyó en una reducción de la resiliencia de las playas y un incremento acelerado de la presión. Los cambios en los grados de vulnerabilidad de media a alta y muy alta, particularmente en Costa de Oro, Santa Ana y El Estero. Estas, junto con Villa del Mar son las playas de mayor afluencia turística en el área de estudio.

3.- Reducción del grado de vulnerabilidad por efectos “positivos” de las obras de protección costera. Esto sólo se observa de manera generalizada en Playa Norte en la Celda I donde el efecto de obras de protección costera de gran magnitud, resultan en el incremento de la resiliencia de la playa. También se observa en algunos transectos de Villa del Mar, Costa de Oro y Santa Ana. En Villa del Mar es posible que se deba a un efecto conjunto de proyectos de alimentación de playa y obras de protección costera (espigones). En Costa de

Otro una sección de la playa, protegida por un arrecife bordeante ha conservado la resiliencia a pesar de la fuerte presión por el incremento de la protección costera. En Santa Ana las primeras obras de protección costera tuvieron un efecto positivo en cuanto a la disminución de la presión por la reversión de la tasa anual de cambio de erosión a acreción. Sin embargo en el último periodo, aunque la tasa continuó siendo de acreción, el efecto fue menor y el índice de resiliencia se redujo.

8.2.1 Cambios en el grado de vulnerabilidad en las playas de Veracruz

Las principales funciones de las playas en Veracruz desde el punto de vista antropogénico son la protección y la recreación (Valdemoro, 2005, Jiménez *et al.*, 2011) puesto que las actividades económicas principales en el área de estudio son el comercio marítimo, el turismo de playa y el desarrollo urbano (SCT, 2010). Jiménez *et al.*, (2011) y Marchand, 2010 mencionan que de acuerdo con los usos y funciones de la playa, en un sitio determinado puede establecerse un estatus sedimentario deseado. De este modo, es factible decir que para los usos y funciones predominantes de la playa en Veracruz, este estatus favorable corresponde a tasas de acreción, índices de presión bajos a moderados y altos índices de resiliencia.

Los sitios más vulnerables en las playas del área de estudio son aquellos donde la resiliencia es baja (playas angostas y separadas de las dunas costeras) y que tienen índices de presión altos (numerosas obras de protección costera de magnitud importante asociados a altas tasas de erosión). Hasta 2007 varios transectos en playas, como Costa

de Oro, Santa Ana y El Estero, se encontraban en esta situación y puesto que son sitios de alta afluencia turística donde las playas representan el rasgo natural que incrementa su valor paisajístico y económico, es necesario diseñar estrategias de manejo para preservar este rasgo y reducir la vulnerabilidad.

Para el año de 2013 muchos de estas secciones vulnerables de las playas ya muestran evidencia de gastos defensivos que pretenden reducir la pérdida de playa, o al menos proteger la infraestructura (Figura 38). Esto es considerado por Jiménez *et al.* (2011) como “**esfuerzos reactivos**”. En las playas de Veracruz los esfuerzos reactivos se dan en diferentes niveles que pueden ser gastos defensivos individuales (por parte de los propietarios) para proteger los bienes inmuebles o equipamiento que son amenazados por el oleaje directo donde las playas son ya muy angostas. También se hacen esfuerzos por parte del municipio, que consisten en mantenimientos periódicos a las obras de protección costera y a las playas (con actividades de restauración), así la inversión en más obras de protección costera en el período 1975-2007. En la Celda 3, en las playas Mocambo y Santa Ana se construyeron seis nuevos espigones, se alargaron los existentes, se construyó la escollera de la margen sur de la desembocadura del Río Jamapa-Cotaxtla y se alargó la de la margen norte.

La figura 38 muestra los transectos 14 a 17 de la Playa Costa de Oro en 2007 y el mismo sitio en 2013. Se puede apreciar que, de manera individual, los propietarios de la infraestructura turística y urbana (hoteles y edificios residenciales) han incurrido en gastos defensivos (revestimientos para edificios individuales) los cuales representan una respuesta de emergencia para prevenir el daño a la infraestructura por efecto del oleaje.

La playa en estos sitios se ha angostado a tal grado, que en marea alta, el oleaje golpea directamente estas estructuras residenciales y turísticas. Al no tener conectividad con duna costera extensa y funcional, incluso los fragmentos de duna remanentes van erosionándose.

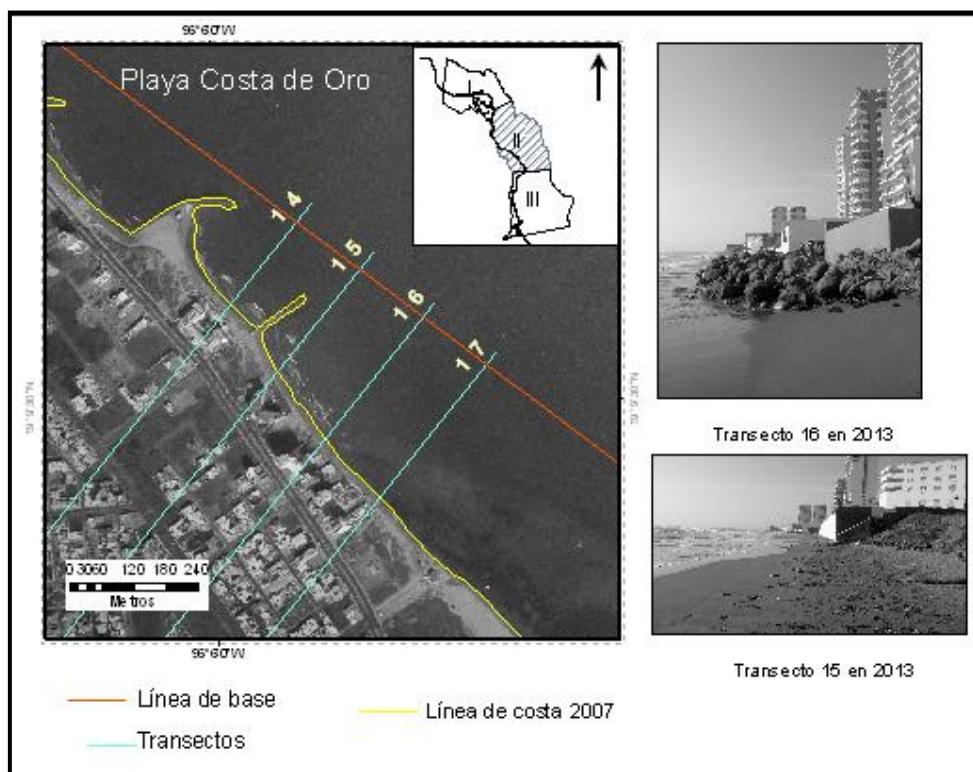


FIGURA 38. LA FIGURA MUESTRA LOS TRANSECTOS 14 AL 17 EN LA PLAYA COSTA DE ORO (CELDAS II) EN 2007 CON GRADOS DE VULNERABILIDAD MEDIO. LAS FOTOGRAFÍAS MUESTRAN EL TRANSECTOR 15 (DUNA COSTERA Y UN HOTEL) CON UNA PORCIÓN DE PLAYA MUY ANGOSTA EN JUNIO DE 2013 Y EL TRANSECTOR 16 EN LA MISMA FECHA CON VARIOS EDIFICIOS RESIDENCIALES CON REVESTIMIENTOS INDIVIDUALES Y MUROS (GASTOS DEFENSIVOS), YA SIN PLAYA.

Este tipo de problemas es una constante en varias partes del mundo (Jiménez *et al.* 2011; El Mrini *et al.* 2012). Una vez alcanzada esta situación, no queda más alternativa que el manejo reactivo, el cual puede incluir gastos defensivos. Esto es lo que se observa en Veracruz; reforzamiento de muros y uso de infraestructura colindante con

playa como muros longitudinales con la adición de revestimientos. Esto se ha realizado en conjunción con programas periódicos de alimentación de playas.

Para proponer medidas de reposición de playa se deben hacer estudios para localizar un banco de sedimentos que no afecte la zonas arrecifales, con composición similar a la de la playa a manejar, determinar las mejores tecnologías disponibles para prevenir la dispersión de sedimentos e incluso, analizar los patrones de circulación litoral para evitar que la dinámica prevalente lleve los sedimentos del programa de alimentación de playas a zonas arrecifales donde puedan provocar efectos adversos en los procesos ecológicos.

A partir de los resultados obtenidos de la evaluación de vulnerabilidad de las playas de Veracruz destaca, de manera irónica, que Playa Norte, la única playa en el área de estudio que muestra una vulnerabilidad baja, que preserva la conectividad y la calidad de las dunas costeras y que tiene la función de proteger del *splash* marino y la lluvia de sedimentos de dunas móviles localizadas en este sitio a una importante proporción de la población urbana, sea una playa que, de acuerdo con los planes a corto plazo (SCT, 2010) pretende ser sustituida por rellenos para las instalaciones del nuevo puerto de Veracruz (Figura 39), con el efecto irreversible de desaparición de la playa y los problemas que esa desaparición implica, tales como el daño a la infraestructura y la reducción del acceso a la playa como sitio recreativo.

En un estudio que es parte de esta investigación (Valadez y Ortiz, 2013), se determinaron los efectos que los proyectos de ampliación de las instalaciones portuarias pueden tener, no sólo sobre la playa Norte, sino sobre los arrecifes someros que

colindan con ella. De ellos, el más grave es la desaparición de una zona arrecifal completa denominada La Caleta, la cual se perdió por fragmentación, sustitución y por enterramiento ocasionado por los cambios a la dinámica litoral en el mediano plazo.

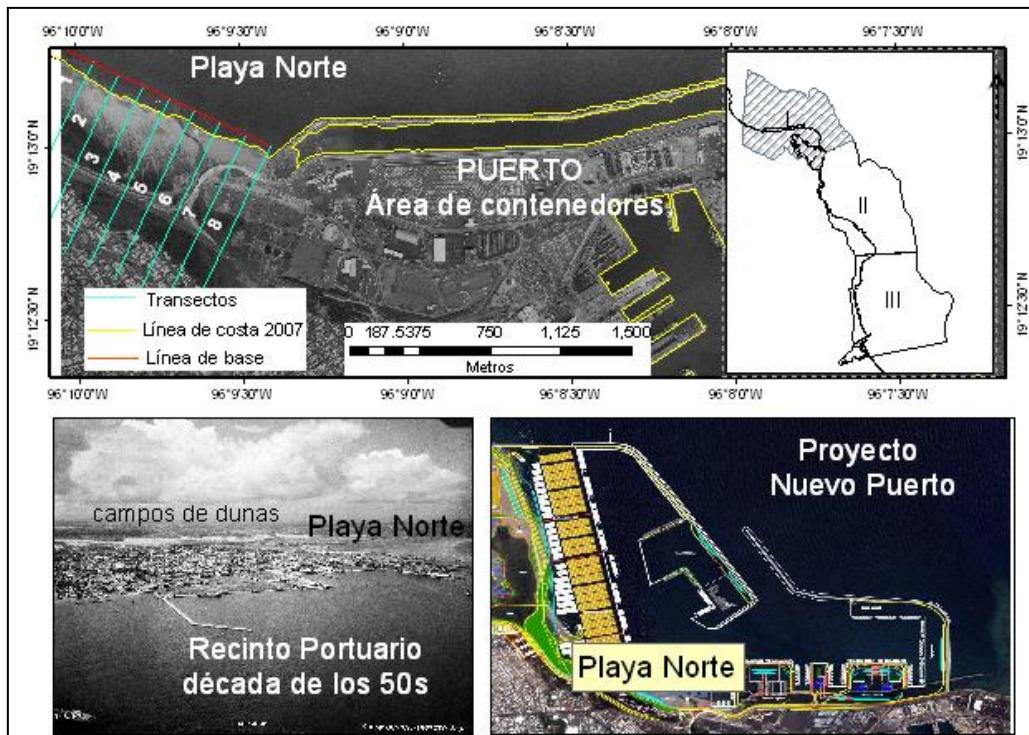


FIGURA 39. TRANSECTOS EVALUADOS EN PLAYA NORTE EN 2007. MISMA ÁREA EN LA DÉCADA DE LOS 50S Y EL PROYECTO DE AMPLIACIÓN DEL PUERTO PARA EL FUTURO PRÓXIMO.

También debe resaltarse el hecho de que las zonas de mayor valor comercial el día de hoy son playas que en un solo periodo de análisis pasaron de tener niveles medios de vulnerabilidad a niveles muy altos (El Estero) (Figura 40). En ellas, la velocidad de la erosión, ha llevado a la desaparición de la barra del Río Jamapa que, además, amenaza con erosionar cada vez más rápido la margen sur de dicho río, justo donde hoy se encuentran los proyectos residenciales de mayor plusvalía.

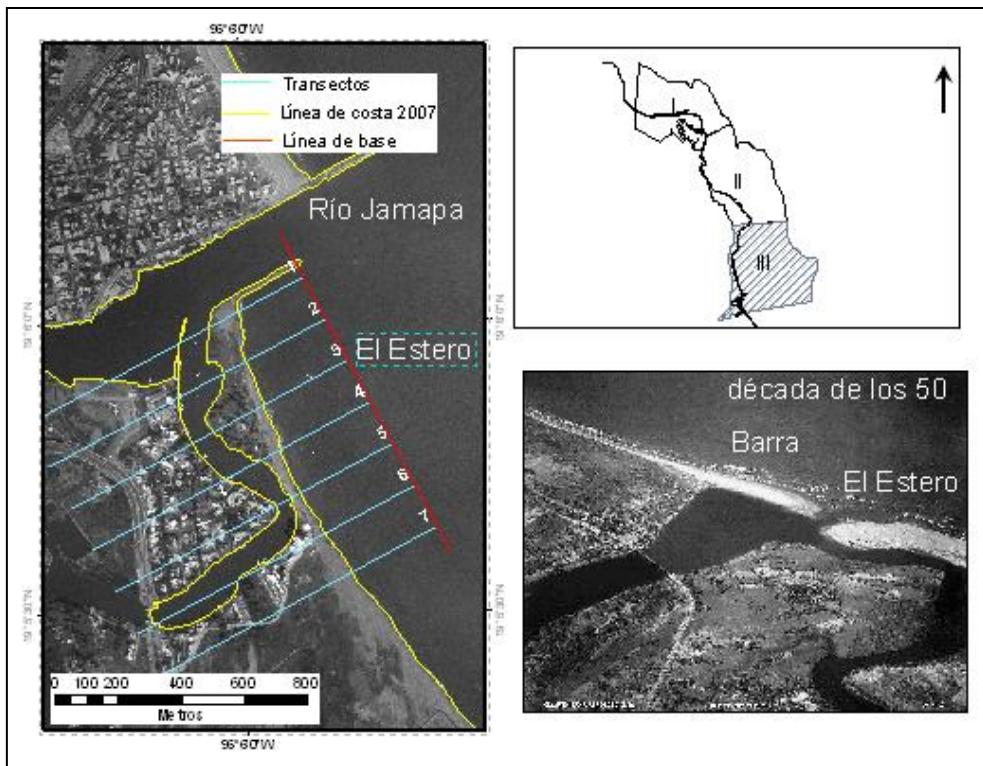


FIGURA 40. PLAYA EL ESTERO TRANSECTOS 1 AL 7 EN 2007. BARRA EN LA DÉCADA DE LOS 50S.

8.3 Manejo de playas en el presente y Planeación.

A partir de los resultados obtenidos de la evaluación de la vulnerabilidad en las playas de Veracruz puede identificarse tres tipos de vulnerabilidad construida:

- 1) La evolución hacia niveles altos de vulnerabilidad en algunas playas: Mocambo y Santa Ana y El Estero. Playa Norte evolucionó hacia medio.
- 2) La conservación del grado de Vulnerabilidad a través del tiempo en Costa de Oro, Regatas, Villa del Mar y José Martí.
- 3) La reducción de la vulnerabilidad por medidas de rehabilitación de playas.

La evolución progresiva a grados de vulnerabilidad más altos está relacionada con la magnitud de la presión y con la reducción de la resiliencia de la playa. En estos casos se

ha identificado que la principal estrategia de manejo ha sido la construcción de más obras de protección costera.

La preservación del grado de vulnerabilidad indica que la estrategia de manejo ha funcionado. Se presume que en estos casos se ha combinado la construcción de obras de protección costera y programas de alimentación de playas. Sin embargo, aunque se conserve el grado de vulnerabilidad, los valores del índice de resiliencia en 2007 tienden a reducirse y los de presión a incrementar.

De esta manera, el manejo de las playas en Veracruz ha sido a través de gastos defensivos (*sensu* Escofet y Bravo-Peña, 2007; Monti y Escofet, 2008). Esto es identificado por Jímenez *et al.* (2011) en playas urbanas de la costa Catalana (un caso parecido al del presente estudio) denominándolo manejo reactivo, es decir, cuando ha surgido un problema, se ejecutan soluciones prácticas sin definir ninguna estrategia a mediano y largo plazo. Incluso mencionan que estas acciones de “emergencia” se deciden en muchos casos sin determinar la relación causa-efecto que llevó a que el problema se presentara. Esto también está sucediendo en Playa Mata de Uva hacia el sur del área de estudio.

Como parte del proyecto Concepts and Science for Coastal Erosion Management (CONSCIENCE. Marchand, 2010). Se determinan los costos de inversión guía para diferentes obras de protección costera “dura” como espigones y muros longitudinales y “blandas como la alimentación de playas” (Tabla 34)

.TABLA 34. COSTOS DE CONSTRUCCIÓN Y MANTENIMIENTO DE OBRAS DE PROTECCIÓN COSTERA (TOMADO DE MARCHAND 2010, CONVERTIDO DE EUROS A PESOS MEXICANOS).

Tipo de estructura	Costos de mantenimiento y construcción en un período de 50 años (en pesos por metro de línea de costa por año)
Espigones rectos	950 a 2,850
Revestimientos de roca	1,900 a 3,800
Alimentación del frente de playa	1,900 a 3,800
Muro longitudinal	2,850 a 5,700
Relleno de playa	3,800 a 5,700
Rompeolas sumergidos	5,700 a 7,600
Rompeolas emergidos	4,750 a 9,500

La tabla 34 muestra esta guía de costos, sólo como referencia, puesto que cada proyecto tendrá diferentes características (dimensiones y diseño de la estructura), diferente métodos constructivo, en función de los ambientes costeros colindantes (p.e. la presencia de arrecifes coralinos, pastos marinos) que requieran del uso de geo-textiles o mallas en la zona de construcción o de dragado (en el caso de alimentación o rellenos de playas). El costo también variará en función de la cercanía de los bancos de materiales (cantos rodados (espigones) y arena (alimentación y relleno de playas)).

En México el costo aproximado para la construcción de un espigón de 100 m con 20 m emergidos y 60 sumergidos hasta una cota batimétrica de 4 m (que es el tipo de espigones que encontramos en las playas de Veracruz) tiene un costo individual de alrededor de 30 millones de pesos. A ello hay que sumar el costo de mantenimiento.

El costo de un programa de restauración de playas depende de la naturaleza del mismo. A manera de ejemplo, en una de las playas evaluadas, en el 2003, Quintero-Gómez propuso un anteproyecto, en el cual incluía la restauración de una superficie de 120,000 m³ con un volumen de relleno de 480,000 m³ cuyo costo era de 30 millones de pesos. Para proteger esta playa propuso la construcción de 953 m de espigones lineales y paralelos a la línea de costa que implicaban 120,000 m³ de enrocamiento en el fondo marino con un costo de 100 millones de pesos. Estos no consideran el costo del mantenimiento de las estructuras de protección costera, tampoco se hace una evaluación ambiental de la propuesta.

A este respecto cabe mencionar que las playas de la ZMV colindan con el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano, por lo que los programas de alimentación de playas son cuestionables por el efecto que los dragados y los sedimentos suspendidos pueden tener en el bienestar de las comunidades arrecifales.

La aproximación conceptual y metodológica propuesta en este estudio para abordar el estudio de la vulnerabilidad de playas en Veracruz puede ser un primer paso que contribuya a migrar las estrategias de un manejo reactivo a una verdadera planeación del manejo de playas. El modelo propuesto para la evaluación de la vulnerabilidad de playas tiene numerosas ventajas, pero también algunas desventajas

Entre las principales ventajas destacan que:

- Utiliza fuentes de información de bajo costo de las cuales existen acervos en diferentes instituciones,

Utiliza métodos de obtención de información que son ampliamente utilizados y para los cuales existen herramientas para facilitar el análisis.

- La información se sintetiza en indicadores confiables que permiten la comparación a través del tiempo y permiten establecer programas de monitoreo a futuro
- Permite evaluar los sitios más vulnerables de cada playa lo cual puede servir para jerarquizar y priorizar.

Entre las principales desventajas de la aproximación destacan que:

- No incluye algunos indicadores que también son muy relevantes para el estudio de la vulnerabilidad, tales como la altura del oleaje, volúmenes de sedimentación y granulometría de los sedimentos o la pendiente de las playas, de los cuales no hay bases de datos históricas ni incluso recientes.
- Como modelo predictivo sólo pueden hacerse escenarios cuando se cuenta con planes de desarrollo específico con planos e información detallada de los proyectos.

A pesar de estas desventajas, se considera que, en vista de que la vulnerabilidad de las playas ante los efectos adversos de las obras de protección costera en países en desarrollo seguirá creciendo en el futuro, la aproximación propuesta para evaluar la vulnerabilidad de las playas es útil para comprender la dinámica en el área de estudio con una visión menos localista, en un contexto espacial y temporal más amplio: el de la celda litoral y los cambios de la línea de costa en el mediano plazo (décadas).

Además contribuye a identificar los sitios vulnerables y a localizar recursos para desarrollar programas de monitoreo o estudios en escalas temporales más cortas y utilizando otros indicadores orientados a la cuantificación del problema. De este modo se proporciona a los tomadores de decisiones una herramienta con fundamentos científicos sólidos que permita avanzar hacia un verdadero manejo de playas en el mediano y largo plazo.

En este estudio se ha podido identificar, no sólo la evolución histórica de la vulnerabilidad como propiedad conceptual del sistema, sino también los problemas observados y sus causas, ofreciendo así a los tomadores de decisiones elementos para jerarquizar o priorizar sitios de acuerdo a su importancia (ambiental, económica o social). Esto constituye una de las principales acciones que permiten avanzar hacia el abandono paulatino del manejo reactivo y hacia la planeación de mediano y largo plazo. Es inminente que, ante la urgencia de resolver problemas en sitios que hoy son altamente vulnerables, haya que combinar los planes con intervenciones reactivas a corto plazo, pero, aún esto puede realizarse con miras a no comprometer políticas o acciones prácticas en el largo plazo, que hoy, no existen.

Esto es viable para utilizarse en el área evaluada ya que al sur, en la zona proyectada como la “Riviera Veracruzana” que se encuentra en pleno auge económico y bajo fuertes presiones de desarrollo, existe la oportunidad para utilizar esta propuesta conceptual y metodológica para generar información sobre las áreas vulnerables. Esto resultaría útil para los tomadores de decisiones para localizar recursos con el fin de obtener información más detallada y desarrollar otro tipo de indicadores más finos (p.e.

elevación del oleaje, perfiles de playa, volúmenes de sedimentación) que servirían para desarrollar planes, programas y estrategias de preservación de un estatus deseado en las playas de esta área. Esto representaría el principio de la planeación en el manejo de playas a largo plazo para abandonar paulatinamente el manejo reactivo que hoy prevalece.

Utilizando esta propuesta conceptual y metodológica se podría hacer un análisis exploratorio que determine cómo se modificarían los indicadores de resiliencia y presión actuales, agregando la información de proyectos específicos que cuenten ya con proyectos arquitectónicos de los desarrollos planeados (que incluyan obras de protección costera, p.e. marinas, muros, espigones, etc). Se puede determinar cómo se reducirá el grado de conectividad de la playa, como cambiaría el ancho de la playa, de acuerdo con las tendencias actuales de erosión y acreción. Esto podría dar una idea más clara a los tomadores de decisiones a priorizar las acciones en playas específicas o en puntos específicos de las playas.

8.3.1 Estrategia basada en alternativas de planeación.

Para salir del campo de las respuestas reactivas a impactos generados por la falta de planeación, que es el estado actual en el que se encuentran muchas playas del mundo, (sobre todo las asociadas desarrollos portuarios, urbanos y turísticos importantes), es necesario, en primera instancia, identificar las playas más vulnerables e incluso las porciones de las playas más vulnerables a sufrir erosión por efecto de estímulos externos, locales, como las obras de protección costera, o globales como el incremento del nivel del mar.

El uso de las matrices de conflictos puede contribuir a entender los problemas entre usuarios y localizar las causas que ocasionan dichos problemas.

La identificación de los sitios vulnerables, localización de problemas e identificación de las relaciones causa-efecto permitirán la jerarquización de sitios y la obtención de información específica de aspectos particulares como presupuestos sedimentarios, perfiles de playa o características del oleaje lo cual permitirá diseñar estrategias combinadas (reactivas y de mediano y largo plazo). Incluso permitirán la negociación, concertación y organización entre actores para adoptar alguna opción de manejo para alcanzar un “estatus sedimentario deseado” (Marchand 2010) en cada sitio.

Las opciones de manejo que se consideran actualmente para el manejo de sitios vulnerables de la costa y que pueden trasladarse al manejo de playas se muestran en la figura 41.

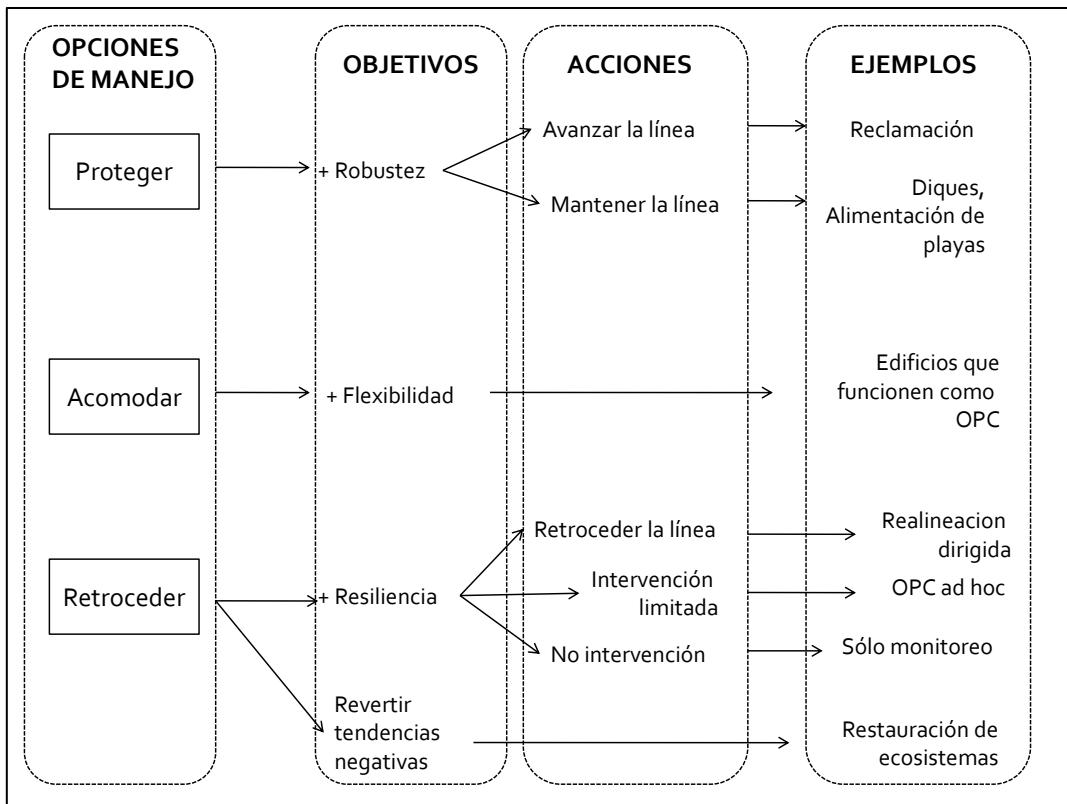


FIGURA 41. OPCIONES DE MANEJO DE PLAYAS VULNERABLES A LA EROSIÓN POR OPC. MODIFICADA DE NICHOLLS ET AL., 2007.

Estas son:

Proteger la línea de costa: Con el objetivo de darle más robustez. Para alcanzar este objetivo se utilizan acciones como la reclamación de terrenos al mar. Esta estrategia no aplica para playas pues implicaría, en muchos casos, la sustitución de playas por rellenos y la rigidización de estos terrenos ganados al mar. Sin embargo, se menciona puesto que es una de las estrategias consideradas actualmente para la ampliación de las instalaciones portuarias del puerto de Veracruz sobre Playa Norte. La otra acción consiste en mantener la línea de costa mediante la construcción de diques o la planeación de programas periódicos de alimentación de playas.

Acomodar los impactos. Esta opción pertenece al campo de las respuestas reactivas. Es decir, cuando las playas se encuentran en una situación extremadamente vulnerable por efecto de obras de protección costera se hacen esfuerzos para flexibilizar las obras ya presentes en la playa esto incluye proteger las obras de protección e incluso utilizar infraestructura dura en la playa (edificios, hoteles) adaptándola para funcionar como obras de protección costera con revestimientos y reforzamiento de muros.

Retroceder. Los objetivos de esta alternativa de manejo son: incrementar la resiliencia de las playas y revertir los efectos negativos. Las acciones para incrementar la resiliencia de las playas pertenecen al campo de las políticas de manejo costero e incluyen acciones como:

a) Políticas de retroceso (*set back policies*). Es decir, políticas orientadas a brindar más espacio para los procesos costeros, también se conocen como políticas de realineación dirigida. Estas pueden aplicarse en sitios, donde aún hay espacio y donde aún es posible planear (caso de la zona localizada al sur de la ZM). Estas soluciones han demostrado tener un efecto inmediato y ofrecen la posibilidad de volver a concebir la planeación de la frontera costera pero con el conocimiento acumulado de décadas pasadas (Sánchez Arcilla *et al.*, 2011).

b) Intervención limitada. La cual incluye la construcción de obras de protección costera *ad hoc*. Se trata de obras menos rígidas que los rompeolas, espigones y muros que llevaron al actual estatus de vulnerabilidad a la erosión. Actualmente existen diseños de obras de protección costera (sumergidas, permeables, semipermeables, separadas de la línea de costa) que contribuyen a la

modificación de la energía en la zona litoral pero que no representan barreras rígidas, las cuales han demostrado tener efectos adversos.

c) No intervención. Donde las acciones de manejo se limitan al monitoreo de indicadores para conocer la evolución de éstos.

Otro objetivo de la alternativa de manejo de retroceso es revertir los efectos adversos que ya se presentan, esto a través de programas de restauración de ecosistemas que incluirán acciones combinadas para alcanzar el estatus sedimentario favorable.

9.- CONCLUSIÓN

La evaluación de la vulnerabilidad de las playas de Veracruz ante efectos no deseados por la construcción de obras de protección costera debe considerar el ancho de playa y su conectividad con ambientes subsidiarios ya que preservan la capacidad de la playa de responder a estímulos externos. Cuando se modifican ancho y conectividad, las playas urbanizadas son más vulnerables a sufrir efectos no deseados por la construcción de obras de protección costera, básicamente debido a balances sedimentarios erosivos.

Los resultados indican que hay tres formas de reacción de las playas, las que mantienen una vulnerabilidad media, construida históricamente; las que aumentan su vulnerabilidad cuando se colocan OPC, y las que mantuvieron o redujeron su vulnerabilidad porque se aplicaron medidas de rehabilitación de sedimentos para su restauración.

Se concluye que:

- El marco conceptual propuesto resultó en la construcción de indicadores de vulnerabilidad que permitieron evaluar la vulnerabilidad de las playas de Veracruz ante los efectos adversos por la construcción de obras de protección costera.
- Los transectos de las Playas Costa de Oro, Mocambo, Santa Ana y Estero migraron de grados de vulnerabilidad bajos y medios en 1946 hasta grados de vulnerabilidad alta y muy alta en 2007.

- Los transectos de las playas Norte, Regatas, Villa del Mar y José Martí preservaron el grado de vulnerabilidad medio durante todo el período de análisis.
- La construcción de obras de protección costera resulta en problemas cuya complejidad incrementa a través del tiempo, debido a que nuevos actores perciben el problema de modo diferente y van tomando decisiones de manejo reactivo que, en ocasiones, lo agravan.
- El método propuesto, basado en el uso de fotografías aéreas resultó ser claro, de bajo costo en insumos, de fácil manejo, además de ser un método de relativa rapidez para la evaluación de la vulnerabilidad de playas ante los efectos adversos por la construcción de obras de protección costera.

10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Abott T. 2013. Shifting shorelines and political winds-The complexities of implementing the simple idea of shoreline setbacks for ocean front developments in Maui, Hawaii. *Ocean and Coastal Management* 73:13-21.
- Abualtayef M, Ghabayen S, Foul AA, Seif A, Koroiwa M, Matsubara Y, Matar O. 2012. The impact of Gaza fishing harbor on the Mediterranean coast of Gaza. *Journal of Coastal Development* 16:1-10
- Administración Costera Integral Sustentable de Boca del Río (ACIS). 2007. Programa maestro de desarrollo de la ACIS de Boca del Río 2007-2012. ACIS Boca del Río S.A. de C.V. 163 p.
- Alexandrakis G, Karditsa A, Poulos S, Ghionis G, Kampanis NA. 2009. Vulnerability assessment to the erosion of the coastal zone to a potential sea level rise. The case of the Aegean Hellenic coast. In: *Environmental Systems*, [Ed. Achim Sydow], *Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS)*, UNESCO, Eolss Publishers, Oxford ,UK, [<http://www.eolss.net>].
- Alexandrakis G, Poulos S, Petrakisy S, Collins C. 2011 The development of a beach vulnerability index (BVI) for the assessment of erosion in the case of the North Cretan Coast (Aegean Sea). *Hellenic Journal of Geosciences* 45: 11-22.
- Anfuso G, Martínez del Pozo JA, Rangel-Buitrago N. 2012. Bad Practice in erosion management. The Southern Sicily case study. 215-233. In: Andre W, Cooper G y OH Pilkey (eds). *Pitfalls of shoreline stabilization*. Springer , NY.
- Anfuso G, Benavente J, García FJ. 2001. Morphodynamic responses of nourished beaches in SW Spain *Journal of Coastal Conservation* 7(1):71-80
- Arredondo-García MC. 2007. Modelo Multiescalar de indicadores como herramienta para la planificación ambiental en la región del Golfo de California. *Tesis Doctoral*. Universidad Autónoma de Baja California. 208 pp.

Ariza E, Jiménez JA, Sardá R. 2008. A critical assessment of beach management on the Catalan coast. *Ocean and Coastal Management* 51:141-160.

American Beach and Shore Preservatio Association (ASBPA). (2008). Terminal groins ia coastal inlets. Available online at
http://www.asbpa.org/publications/pubs_fact_sheets.htm.

Azuz-Adeath, IA. 2002. Gross approximation on the erosive vulnerability along the mexican coast. *Littoral. The Changing Coast*.EUROCAST/EUCC.445-451pp.

Bernatchez P, Fraser C. 2012. Evolution of coastal defence structures and consequences for beach width trends Quebec, Canada. *Journal of Coastal Reearch* 28 (6): 1550-1566.

Bird ECF. 1996. *Beach Management*. Wiley, Chichester, UK, 292 pp.

Boak EH, Turner IL. 2005. Shoreline definition and detection: a review. *Journal of Coastal Research* 21(4): 688-703.

Brooks, N. 2003. Vulnerability, Risk and Adaptation: A conceptual Framework: *Working Paper 38*, Tyndall Centre For Climate Change Research, University of East Anglia, Norwich, U.K., 20 pp.

Buenfil-Friedman J. 2009. *Adaptación a los impactos del cambio climático en los humedales costeros del Golfo de México. Vol. II.* INE/SEMARNAT México. 352 p.

Camacho-Valdez V, Murillo-Jiménez JM, Nava-Sánchez EH, Turrent-Thompson C. 2008. Dune and beach morphodynamics at Cabo Falso, Baja California Sur, Mexico: Response to natural, hurricane Juliette (2001) and anthropogenic influence. *Journal of Coastal Research* 24(3): 553-560.

Cayocca F. 2001. Long-term morphological modeling of a tidal inlet: the Arcachon Basin, France. *Coastal Engineering* 42: 115-142.

Chou LM, Tunn KPP. 2005. Status of coral reefs in Southeast Asian countries: Singapore. In: *Status of Coral Reefs in East Asian Seas Region: 2004*. Japan: Ministry of the Environment. Pp. 53-69.

Cisin-Sain B, Belfiore S. 2005. Linking marine protected areas to integrated coastal and ocean management: a review of theory and practice. *Ocean and Coastal Management* 48: 847-868.

Clark JR. 1996. *Coastal Zone Management Handbook*. CRC Press, Inc. Florida, 694 pp.

Comfort JA, Single MB. 1997. Literature Review of the effects of seawalls on beaches 1997. Department of Conservation. Wellington, New Zealand. 10 p

Cooper JAG y McKenna J. 2008. Social justice in coastal erosion management: the temporal and spatial dimensions. *Geoforum* 39, 294–306.

Coyne MA, Fletcher CH, Richmond BM. 1999. Mapping coastal erosion hazard areas in Hawaii: observations and errors. *Journal of Coast Research*, SI 28; 171-184.

Crous-Bou A, Varga-Linde D, Fusbalba-Pintó. 2004. Cálculos y técnicas SIG para la gestión del espacio costero. Determinación de zonas vulnerables en el hemidelta norte del Ebro a partir del cálculo del retroceso en la playa de la marquesa. Territorio y Medio Ambiente. En: Conesa García C, Martínez J, Guevara B (eds.) *Métodos cuantitativos y Técnicas de Información geográfica*. Murcia, España.

Defeo O, McLachlan A, Schoeman DS, Schlacher TA. Dugan J, Jones A, Lastra M, Scapini F. 2009 Threats to sandy beach ecosystems: a review. *Estuarine and Shelf Science* 81: 1-12.

Delgado-González O, Lizárraga-Arciniega R, Martínez-Díaz de León A, Galindo-Bect L, Ferman-Almada JL, 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).

Available at: <http://www.cienciasmarinas.com.mx/index.php/cmarinas/article/view/36>.

Dilley RS, Rasid H. 1990. Human response to coastal erosion. Thunder Bay, Lake Superior. *Journal of Coastal Research* 6(4): 779-788

Dominguez-Garrido L, García-Prieto FJ, Anfuso-Melfi G. 2007-2008. Evaluación de la vulnerabilidad del litoral noroeste de la provincia de Cádiz frente a la erosión. *Territoris* 7: 99-113.

Douven WJAM, Buurman JJG y Kiswara W. 2003. Spatial information for coastal zone management: the example of the Banten Bay seagrass ecosystem, Indonesia. *Ocean and Coastal Management* 46: 615-634.

Duval G. 1999. Teoría de sistemas una perspectiva constructivista. En: Ramírez S (coord.). *Perspectivas en las teorías de sistemas*. Siglo XXI Editores-Centro de Investigaciones Interdisciplinarias, UNAM, México. 109 p.

EEA. 2003. Europe's environment: the third assessment. European Environment Agency. 344 pp.

El Mrini A, Anthony EJ, Maanan M, Taaouati M. 2012. Beach-dune degradation in a Mediterranean context of strong development pressures, and the missing integrated management perspective. *Ocean and Coastal Management* 69:299-306.

Escofet A 2004. Aproximación conceptual y operativa para el análisis de la zona costera en México: un enfoque sistémico-paisajístico de multiescala. *Tesis de Doctorado en Oceanografía Costera*. Universidad Autónoma de Baja California. Paginas ¿?

Escofet A, Bravo-Peña LC. 2007. Overcoming environmental deterioration through defensive expenditures: field evidence from Bahía de Tóbari (Sonora, Mexico) and implications for coastal impact assessment. *Journal of Environmental Management* 84 (3), pp 266-273.

Espejel I, Ahumada B, Cruz Y, Heredia A. 2004. Coastal vegetation as indicator for conservation ecological studies. In: Martínez ML Psuty NP (Eds). *Coastal Dunes, Ecology and Conservation* 171:297-318.

Espejel I, Espinoza-Tenorio A, Cervantes O, Popoca I, Mejia A y Delhumeau S. 2007. Proposal for an integrated risk index for the planning of recreational beaches: use at seven Mexican arid sites. *Journal of Coastal Research. SI. Proceedings International Coastal Symposium.Queensland Australia.* 47-51 pp.

Erfemeijer PLA, Reigl B, Hoeksema BW, Todd PA. 2012. Environmental impacts of dredging and other sediment disturbances on corals: A review. *Marine Pollution Bulletin* 64: 1737-1765.

Feindel K. 2003. An inventory of shoreline hardening structures on Maui Island. Maui County Planning Department.

FL-DEP, February 2006. The Homeowners Guide to the Coastal Construction Control Line Program. Section 161.053 Florida Statutes. The Florida Department of Environmental Protection, Division of Beaches and Coastal Systems.

Fletcher C, Rooney J, Barbee M, Lim SC y Richmond B. 2003. Mapping shoreline change using digital photogrammetry on Maui, Hawaii. *Journal of Coastal Research* SI, 38: 106-204

Forman TTR, Lauren EA. 1998. Roads and their major ecological effects. *Annual Review of ecological Systems*. 29: 207-231.

Ford J. 2002. Vulnerability: Concepts and Issues. A literature review of the concept of vulnerability, its definition and application in studies dealing with human-environment interactions. University of Guelph 33 p.

Gabriela AO, Terichb TA. 2005. Cumulative patterns and controls of seawall construction, Thurston County, Washington. *Journal of Coastal Research* 21 (3), 430-440.

Gallegos O, López A. 2006. Fragmentación y segregación en el espacio litoral-urbano: el caso del corredor turístico Veracruz-Boca del Río. *Estudios multidisciplinarios en turismo*. Volumen 1. Secretaría de Turismo. ISBN 978-968-814-111-3. Pp. 139-174.

García R. 1994. Interdisciplinariedad y sistemas complejos. En: Leff E(coord.). *Ciencias sociales y formación ambiental*. Gedisa, Barcelona.

García Gastellum A, Ferman Almada JL, Arredondo García MC, Galindo Bect LA y Seingier G. 2005. Modelo de planeación ambiental de la zona costera a partir de indicadores ambientales. *SAPIENS (online)* 6(2) (http://www2.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1317-8152005000200002&ing=es&nrm=iso).

Gómez-Piña G, Muñoz-Pérez JJ, Ramírez JL, Ley C. 2002. Sand dune management problems and techniques, Spain. *Journal of Coastal Research* SI36: 325-332

- Govarets A y Lauwerts B. 2009. Assessment of the impact of coastal defence structures. OSPAR Commission Biodiversity Series.
- Gracia FJ, Anfuso G, Benavente J Del Río L, Domínguez L, Martínez JA. 2005. Monitoring coastal erosion at different temporal scales on sandy beaches: application to the Spanish Gulf of Cadiz coast. *Journal of Coastal Research* SI 49: 22-27.
- Griggs GB, Tait JF, Scott K. 1990. The impacts of shoreline protection structures on beaches along Monterrey Bay, California. *Coastal Engineering* 213 :2810-2823.
- Guido Aldana P, Ramírez Camperos A, Godínez Orta L, Cruz León S, Juárez León. 2009. Estudio de la erosión costera en Cancún y la Riviera Maya, México. *Avances en Recursos Hidráulicos* 20: 41-56.
- Hall MJ, Pilkey OH. 1991. Effects of hard stabilization on dry beach width for New Jersey. *Journal of Coastal Research* 7(3): 771-785.
- Hinkel J. 2008 Transdisciplinary Knowledge Integration: cases from integrated assessment and vulnerability assessment. *PhD Wageningen University*.
- Hinkel J. 2011. Indicators of vulnerability and adaptive capacity. Towards a clarification of the science policy interface. *Global Environmental Change* 21(1): 198-208.
- Hinkel J, Klein RJT 2006. Integrating knowledge for assessing coastal vulnerability to climate change. En: McFadden L, Nicolls RJ y Penning-Rowsell EC (eds). *Managing Coastal Vulnerability: An Integrated Approach*. Elsvier Science, Amsterdam.
- Horn DP. 2002. Mesoscale beach processes. *Progress in Physical Geography* 26(2):271-289.
- Hsu T, LinT, Tseng I. 2007. Human impact on coastal erosion in Taiwan. *Journal of Coastal Research* 23, 961–973.
- IOC, 2000. Guidelines for Vulnerability Mapping of Coastal Zones in the Indian Ocean. UNESCO 43 pp.

Ionescu CR, Klein RJ, Hinkel J, Kumar KSK, Klein R. 2009. Towards a formal framework of vulnerability to climate change. *Environmental Modelling Assessment* 14:1-16.

Ionescu C, Klein RJT, Hinkel J, Kumar KSK, Klein R. 2005. Towards a formal framework to climate change. FAVAIA Working Paper 1. <http://www.pik.postdam.de/favaia>.

James RJ, 2000. From beaches to beach environments: linking the ecology, human-use and management of beaches in Australia. *Ocean and Coastal Management* 43, 495–514.

Jiménez JA y van Koeningseld M. 2002. Coastal State Indicators: A Bridge Between Science and Coastal Management. *Coastal State Indicators Report Coast*.

Jimenez JA, Civola P, Balaouin Y, Armaroli C, Bosom E, Gervais M. 2009. Geomorphic coastal vulnerability to storms in microtidal fetch-limited environments: application to NW Mediterranean & Adriatic Seas. *Journal of Coastal Research* SI56:1641-1645.

Jiménez JA, García V, Valdemoro HI, Mendoza ET, Sánchez-Arcilla A. 2011. Managing erosion-induced problems in NW Mediterranean urban beaches. *Ocean and Coastal Management*.54: 907-918.

Jiménez-Orocoio OA. 2010. Análisis espacio-temporal de la erosión y acreción de las costas de estado de Veracruz. *Tesis de Maestría*. Instituto de Ecología A.C. Xalapa, Veracruz 115 pp.

Jones R, Boer R. 2003. Assessing current climate risks. Adaptation Policy Framework: A Guide for Policies to Facilitate Adaptation to Climate Change. UNDP.

Kay R, Alder J. 1999. Coastal Planning and Management. Spon Press. 375 pp.

Kelly K. 2010. A physical and controversial analysis of shoreline change on North Carolina's Bamer Islands. Master Degree in Environmental Management. Duke University 64 pp.

Khalid MD, Omran RF. 2010. Automated techniques for quantification of beach change rates using Landsat series along the North-eastern Nile Delta, Egypt. *Journal of Oceanography and Marine Science*, 1(2): 159-166.

Khoshravan H, Rouhanizades S. 2011. The impact of coastal modification and Caspian sea level change on the Amirabad coastal zone. *International Journal of Natural Resources and Marine Science* 1(2):81-91.

Kolasa J, Rollo CD. 1991.1 Introduction: The heterogeneity of heterogeneity: a glossary. Pp 1-23. In: J. Kolasa & STA Pickett (eds) *Ecological Heterogeneity*. Springer-Verlag, New York.

Komar PD. 1998. *Beach Processes and Sedimentation* .Second edition. Prentice Hall, New Jersey. 544 pp.

Larson M, Kraus N. 1994. Prediction of cross-shore sediment transport at different spatial and temporal scales. *Marine Geology* 126: 111-127.

Leatherman SP. 2003 Shoreline change mapping and management along the US coast. *Journal of Coastal Research*. SI 38:5 13.

Liu J y Taylor WW. 2002. *Integrating landscape ecology into natural resource management*. Cambridge University Press. 481 pp

Maharaj RJ. 2001 Monitoring and control of coral reef dredging in Pacific Small Island Development States (SIDS): environmental and engineering implications In: Dobson J (ed.) *Dredging for Prosperity* WODCON/EADA/WODA, Kuala Lumpur, Malaysia.

Maharaj RJ. 1999. Coastal erosion & management in Federated States of Micronesia. *SOPAC miscellaneous report 347*. 38 p.

Marchand M. 2009. Modelling Coastal Vulnerability. Design and evaluation of a vulnerability model for tropical storms and floods. *Deltares select series 05*. IOS Press. 261pp

Marchand M. (Ed.). 2010. Concepts in Science for Coastal Erosion Management. Concise report for policy makers. Deltares. Delft.

- Marchand M, Sanchez-Arcilla A, Ferreira M, Gault J, Jiménez JA, Markovic M, Mulder J, Van Rijn L, Stanica A, Sulisz W, Sutherland J. 2011. Concepts and science for coastal erosion management - An introduction to the CONSCIENCE framework. *Ocean and Coastal Management* 54: 859-866.
- Martínez ML, Gallego-Fernández JB, García-Franco JG, Moctezuma C, Jiménez CD. 2006. Assessment of coastal dune vulnerability to natural and anthropogenic disturbances along the Gulf of Mexico. *Environmental Conservation* 33(2): 109-117.
- McGwynne LE, McLachlan A. Furstenburg JP. 1988. Wrack break-down on sandy beaches. Its impact on interstitial meiofauna. *Marine Environmental Research* 25, 213–232.
- Mendoza ET, Jiménez JA. 2009. Induced beach erosion potential on the Catalonian coast. *Journal of Coastal Research SI* 48:81-88.
- Mendoza ET y Jimenez JA. 2009. Regional geomorphic vulnerability analysis to storms for Catalan beaches. *Proceedings of the institution of Civil Engineers- Maritime Engineering* 162(3):127-135
- Micaleff A, Williams AT. 2002. Theoretical strategy considerations for beach management. *Ocean and Coastal Management* 45, 261–275.
- Micallef A, Williams AT. 2009. *Beach Management: Principles and Practice*. Earthscan Publishers, London, UK. 240 p.
- Miles JR, Russell PE, Huntley DA. 2001. Field measurements of sediment dynamics in front of a seawall. *Journal of Coastal Research* 17, 195–206.
- Mimura M y Nunn PD. 1998. Trends of beach erosion and shoreline protection in rural Fiji. *Journal of Coastal Research* 14(1) 37-46.
- Monti A, Escofet A. 2007. Ocupación urbana de espacios litorales: gestión del riesgo e iniciativas de manejo en una comunidad patagónica automotivada (Playa Magnana, Chubut, Argentina). *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM* 67: 113-129.

- Mwakumanya AM, Munyao TM, Ecakuwun K. 2009. Beach width analyses in beach erosion hazard assessment and management at Bamburi Beach. Mombasa, Kenya. *Journal of Geography and Regional Planning* 2 :(12) pp. 299-309.
- Nageswara Rao K, Subraelu P, Venkateswara Rao T, Hema Malini B, Ratheesh R, Bhattacharya S, Rajawat AS, Ajai. 2008. Sea level rise and coastal vulnerability: an assessment of Andhra Pradesh coast, India through remote sensing and GIS. *Journal of Coastal Conservation* 12(4) 195-207.
- Niemeijer D, de Groot RS. 2006. Framing Environmental Indicators: Moving From Causal Nets to Causal Networks. *Environment, Development and Sustainability*. pp 89-106
- Norcross-Nu'u, Abbott Z, June T. 2008. Beach Management Plan for Maui, second ed. Sea Grant Extension Service, University of Hawaii.
- Nordstrom KF. 2000. Beaches and Dunes on Developed Coasts. *Cambridge University Press, UK*, 338 pp.
- O'Brien K, Eriksen S, Schjolden A and Nygaard L. 2004. What's in a word? Conflicting interpretations of vulnerability in climate change research. *CICERO Working Paper* 2004:4 1-16.
- OECD Organization for Economic Co-operation and Development. 1993. Core set of indicators for environmental performance reviews. A synthesis report by the Group on the State of the Environment. Environmental Monograph # 83, Organization for Economic Cooperation and Development, Paris. 39 p.
- OECD. 1994. Environmental Indicators: OECD core set. Organization for Economic Co-operation and Development, France 160 p.
- Oropeza-Orozco O, Sommer-Cervantes I, Carlos-Gómez J, Preciado-López J, Ortíz-Pérez MA, López-Portillo J. 2011. Assessment of vulnerability and integrated management of coastal dunes in Veracruz, Mexico. *Coastal Management*, 39: 492-514.
- Ortiz-Lozano L. 2012. Identification of priority conservation actions in marine protected areas: Using a causal networks approach. *Ocean and Coastal Management* 55:74-83.

Ortiz-Lozano LD. 2006. Análisis crítico de las zonas de regulación y planeación en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano. *Tesis de Doctorado*. Universidad Autónoma de Baja California. 200 pp.

Ortiz-Lozano L; Espejel I; Granados-Barba A, Arceo P. 2007. A Functional and Integrated approach of methods for the management of protected marine areas in the Mexican Coastal Zone. *Ocean and Coastal Management*. 50 (379-391).

Ortiz Pérez MA, de La Lanza Espino G. 2006. Diferenciación del Espacio Costero de México: Un inventario regional. Geografía para el siglo XXI Serie Textos Universitarios Núm. 3. Instituto de Geografía, UNAM. 87 p.

Ortíz Pérez MA; Méndez Linares MP. 1999. Escenarios de vulnerabilidad por ascenso del nivel del mar en la costa mexicana del Golfo de México y Mar Caribe. *Investigaciones Geográficas* 39: 68-81.

Pendleton EA, Williams SJ y Thieler ER. 2004. Coastal Vulnerability assessment of Assateague Island National Seashore (ASIS) to sea level rise: *U.S. Geological Survey Open-File Report* 2004-1020.

Perdicoúlis A y Glasson J. 2006. Causal Networks in EIA. *Environmental Impact Assessment Review* 26:553-569.

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 and Coastal Management* 53: 350-357.

Phillips MR, Jones AL. 2006. Erosion and Tourism infrastructure in the coastal zone: Problems, consequences and management. *Tourism Management* 27:517-524.

PIANC. 2010, Dredging and port construction around coral reefs. Report 108. The World Association for Waterborne Transport Infrastructure. UNEP. 94 p.

Quintero-Gómez F. 2003. Propuesta de solución para conservación de zonas de playa. *Tesis de Maestría*. Instituto Tecnológico de Construcción. 93 p.

Quartel S, Kroon A, Ruessink BG. 2008. Seasonal accretion and erosion patterns of a microtidal sandy beach. *Marine Geology* 250: 19-33.

Ramieri E, Hartley A, Bant A, Duarte-Santos F, Gomes A, Hilden M, Laihonen JP, Marinova N, Santini M. 2011. Methods for assessing coastal vulnerability to climate change. ETC CC Technical Paper 1/2011.

Rangel-Buitrago N, Anfuso G. 2009. Assessment of coastal vulnerability in La Guajira Peninsula, Colombian Caribbean Sea. *Journal of Coastal Research SI* 56: 792-796.

Rooney JJB, Fletcher CH. 2000. A high resolution, digital, aerial photogrammetric analysis of historical shoreline change and net sediment transport along the Kihei coast of Maui, Hawaii. *Proceedings of the 13th Annual Conference on Beach Preservation Technology*, February 2-4, 2000. Melbourne, Florida.

Rygel L, O`Sullivan D, Yarnal B. 2006. A method for constructing a social vulnerability index: an application to hurricane storm surges in a developed country. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 11:741-764.

Salas-Monreal D, Salas-de-León DA, Monreal-Gómez MA, Riverón-Enzástiga ML. 2009. Current rectification in a tropical coral reef system. *Coral Reefs*. 28: 871-879.

Salas-Pérez JJ, Salas-Monreal D, Monreal-Gómez MA, Riverón-Enzástiga ML, Llasat C. 2012. Seasonal absolute acoustic intensity, atmospheric forcing and currents in a tropical coral reef system. *Estuarine Coastal and Shelf Science*. In Press.DOI 10.1016/j.ecss.2012.01.002

Saldaña-Zorrilla SO. 2008. Stakeholders' views in reducing rural vulnerability to natural disasters in Southern Mexico: Hazard exposure and coping and adaptive capacity. *Global Environmental Change* 18: 583-597.

Salles Afonso de Almeida P, Silva Cazarín R. Infraestructura de protección costera. En: Manejo Costero en México.

Sánchez-Arcilla A, Jiménez JA y Marchand M. 2011. Managing coastal evolution in a more sustainable manner. The Conscience approach. *Ocean and Coastal Management* 54: 951-955.

Sanò M, Jiménez J, Medina R, Stanica A, Sánchez-Arcilla A, Trumbie L. 2011. The role of coastal setbacks in the context of coastal erosion and climate change. *Ocean and Coastal Management*. 54 (!2), 943-950.

Saye SE, van der Wal D, Pye K, Blott SJ. 2005. Beach-Dune morphological relationships and erosion/accretion: An investigation at five sites in England and Wales using LIDAR data. *Geomorphology* 72: 128-155.

Scapini, F (ed), 2002. Baseline research for the integrated sustainable management of Mediterranean sensitive coastal ecosystems. A manual for coastal managers, scientists and all those studying coastal processes and management in the Mediterranean. Instituto Agronomico per l'Oltremare. Societa` Editrice Fiorentina, Firenze, 223 pp.

Schlacher TA, Dugan, Schoeman DS, Lastra M, Jones A, Scapini F, McLachlan A y Defeo O. 2007. Sandy beaches at the brink. *Diversity and distributions* 13:359-364.

Schleupner C. 2008. Evaluation of coastal squeeze and its consequences for the Caribbean island Martinique. *Ocean and Coastal Management* 51(5):383-390.

Schuschny A, Soto H. 2009. Guía metodológica Diseño de indicadores compuestos de desarrollo sostenible. Naciones Unidas/CEPAL. 102 p.

SCT. 2008. Programa Rector para el Desarrollo Litoral del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave. Gobierno del Estado de Veracruz. 112 pp.

SEMARNAP, FAO. 1995. Guía Metodológica para la formulación e implementación de planes locales para el desarrollo de la acuicultura (PLANADAC) en áreas lagunares costeras de México. Proyecto UTF/MEX/035/MEX “Modernización del sector pesquero. Estudios para el Mejoramiento Productivo de las áreas lagunares costeras. México 76 pp.

Short A. 1999. Handbook of beach and shoreface morphodynamics. Chichester Wiley & Sons. 379 p.

Siemens AH, Moreno Casasola, Bueno Sarabia C. 2006. The metabolization of dunes and wetlands by the city of Veracruz. *Journal of Latin America Geography* (5):7-29.

Silva-Cazarin R, Mendoza-Baldwin EG. 2009. Informe Final: Evaluación de los cambios hidrodinámicos asociados a la Ampliación del Puerto de Veracruz. Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) 162p.

Smit, B., Pilifosova, O., 2003. From adaptation to adaptive capacity and vulnerability reduction. In: Smith, J.B., Klein, R.J.T., Huq, S. (Eds.), Climate Change, Adaptive Capacity and Development. Imperial College Press, London.

Speybroeck J, Bonte D, Courtens, Gheskire WT, Grootaert P, Maelfait JP, Mathys M, Provoost S, Sabbe K, Stienen EWM, Van Lancker V, Vincx M, Degraer S. 2006. Beach nourishment: an ecologically sound coastal defence alternative? A review. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 16(4): 419-435.

Stanica A., Dan S, Jiménez JA, Ungureanu GV. 2011. Dealing with erosion along the Danube Delta coast. The CONSCIENCE experience towards a sustainable coastline management. *Ocean and Coastal Management* 54 (12), 898-906.

Thieler ER, Himmelstoss EA, Zichichi JL, Miller TL. 2009. Digital Shoreline Analysis System (DSAS) Version 3.2; An ArcGis extension for calculating shoreline change: U.S. Geological Survey Open File Report 2009.

Thomalla F y Vincent CE. Beach response to shore-parallel breakwaters at Sea Palling, Norfolk, UK. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 56 (2003) 203-212.

Turner MG, Gardner RH and O'Neill R V. 2003. Landscape Ecology in Theory and Practice: Pattern and Process, New York; Berlin (Springer), 2nd edn.

US Army Corps of Engineering (USACE). 2006. "Coastal Engineering Manual", Coastal Engineering Research Centre, US Army Corps of Engineering, Vicksburg, Mississippi, USA.

Van Koeningsveld M. 2003. Matching Specialist knowledge with end user needs. *Doctoral Thesis* . University of Twente, 173 pp.

Van Rijn LC. 2011. Coastal Erosion and Control. *Ocean and Coastal Management* 54 (12)

Valdemoro HI. 2005. La Influencia de la Morfodinámica en los Usos y Recursos Costeros. *Tesis Doctoral*.149 pp.

Valpreda E, Gragnaniello S, Rotunno M. Monitoring coastal erosion natural resilience by indexing coastal dunes state. 2004. *7th AGILE Conference on geographic information science*. Heraklion Greece. Pp 635-643.

Weigel RL. 2002a. Seawalls, seacliffs, beachrock: what beach effects? Part 1. *Shore and Beach* 70 (1), 17–27.

Weigel RL. 2002b. Seawalls, seacliffs, beachrock: what beach effects? Part 2. *Shore and Beach* 70 (2), 13–22.

Weigel RL. 2002c. Seawalls, seacliffs, beachrock: what beach effects? Part 3. *Shore and Beach* 70 (3), 2–14.

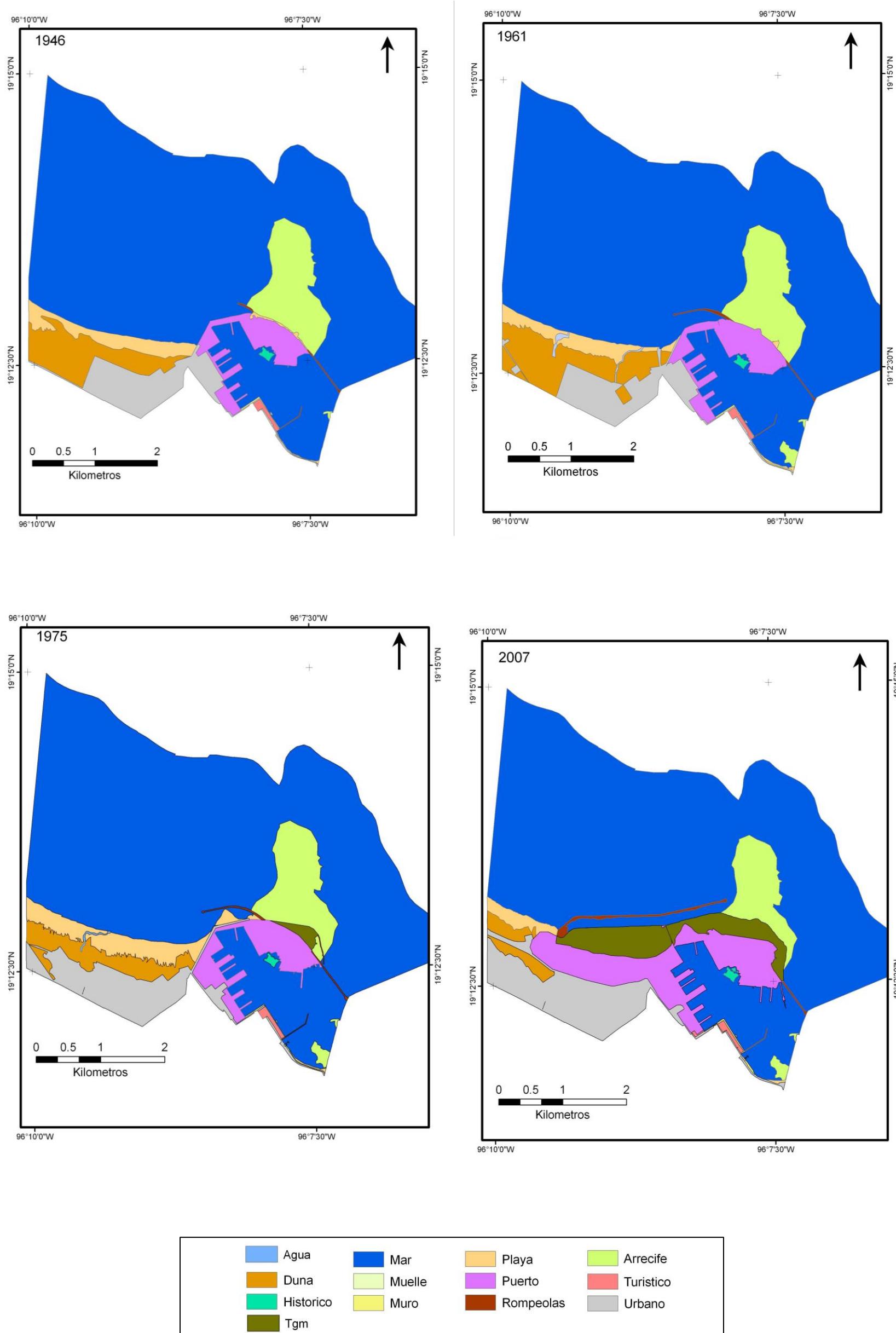
Yamano H, Shimazaki H, Kayanne H, Yokoki H, Yamaguchi T, Chikamori M, Tamura M, Murase T, Suzuki Y, Itu K, Hirose M, Sano S, Takagi H, Watanabe M, Akimoto F, Watanabe S, Yoshii S, Ishoda A, Leenders N, Forstreuter W. 2005. Efforts to generate maps of atoll countries. *Global Environmental Research* 9 (1): 35-46.

Wong PP. 2003. Where have all the beaches gone?. Coastal Erosion in the tropics.Singapore. *Journal of Tropical Geography* 24(1):111-132.

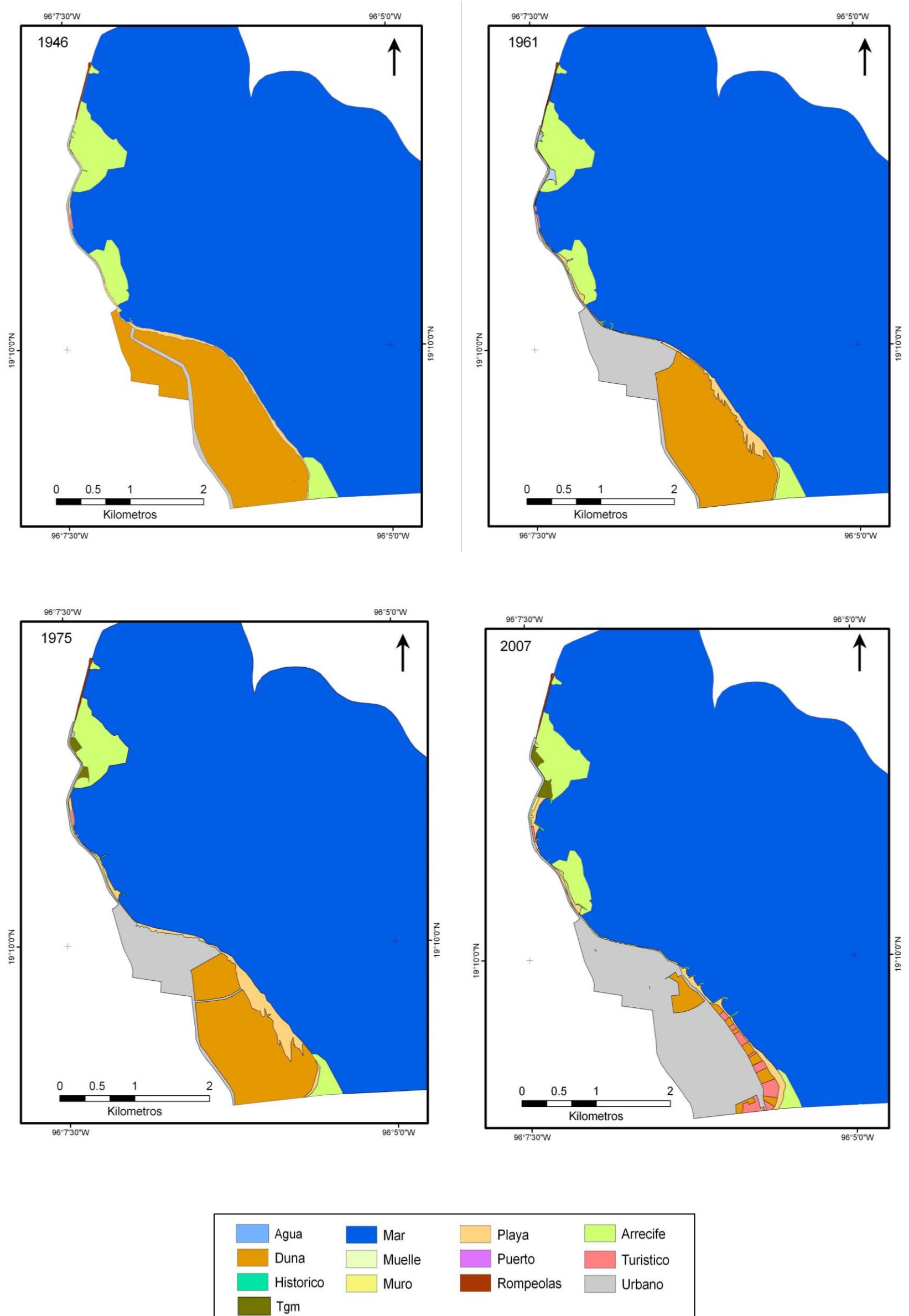
ANEXO

A. FIGURA 1. CAMBIOS DE USO DE SUELO CELDA I.....	169
A. FIGURA 2. CAMBIOS DE USO DE SUELO. CELDA II	170
A. FIGURA 3. CAMBIOS DE SO DE SUELO. CELDA III.	171
A. FIGURA 4.- VULNERABILIDAD EN PLAYA NORTE EN 4 TIEMPOS.....	172
A. FIGURA 5.- VULNERABILIDAD EN PLAYA REGATAS EN 4 TIEMPOS	173
A. FIGURA 6.- VULNERABILIDAD EN PLAYA VILLA DEL MAR EN 4 TIEMPOS.....	174
A. FIGURA 7.- VULNERABILIDAD EN PLAYA JOSÈ MARTÌ EN 4 TIEMPOS.....	175
A. FIGURA 8.- VULNERABILIDAD EN PLAYA COSTA DE ORO EN 4 TIEMPOS	176
A. FIGURA 9.- VULNERABILIDAD EN PLAYA MOCAMBO EN 4 TIEMPOS.....	177
A. FIGURA 10.- VULNERABILIDAD EN PLAYA SANTA ANA EN 4 TIEMPOS.	178
A. FIGURA 11.- VULNERABILIDAD EN PLAYA EL ESTERO EN 4 TIEMPOS	179
A. FIGURA 12.- EFECTOS DE LAS OBRAS DE PROTECCIÓN COSTERA EN PLAYA NORTE	180
A. FIGURA 13.- EFECTOS DE LAS OBRAS DE PROTECCIÓN COSTERA EN PLAYA REGATAS.....	181
A. FIGURA 14.- EFECTOS DE LAS OBRAS DE PROTECCIÓN COSTERA EN PLAYA VILLA DEL MAR.....	182
A. FIGURA 15.- EFECTOS DE LAS OBRAS DE PROTECCIÓN COSTERA EN PLAYA JOSÉ MARTÍ.	183
A. FIGURA 16.- EFECTOS DE LAS OBRAS DE PROTECCIÓN COSTERA EN PLAYA COSTA DE ORO.....	184
A. FIGURA 17.- EFECTOS DE LAS OBRAS DE PROTECCIÓN COSTERA EN PLAYA MOCAMBO	185
A. FIGURA 18.- EFECTOS DE LAS OBRAS DE PROTECCIÓN COSTERA EN PLAYA SANTA ANA.....	186
A. FIGURA 19.- EFECTOS DE LAS OBRAS DE PROTECCIÓN COSTERA EN PLAYA EL ESTERO.....	187

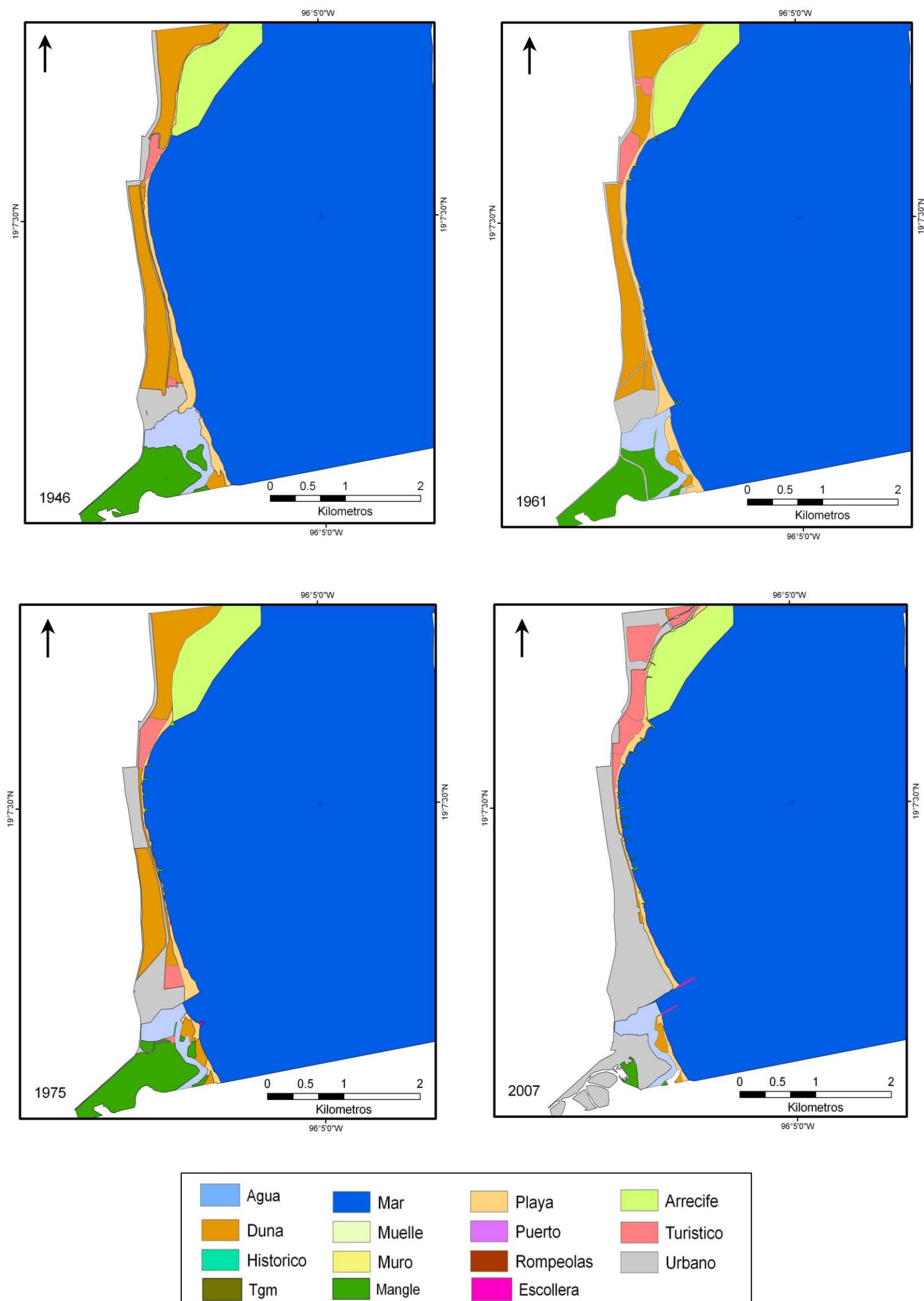
A. FIGURA 1. CAMBIOS DE USO DE SUELO CELDA I



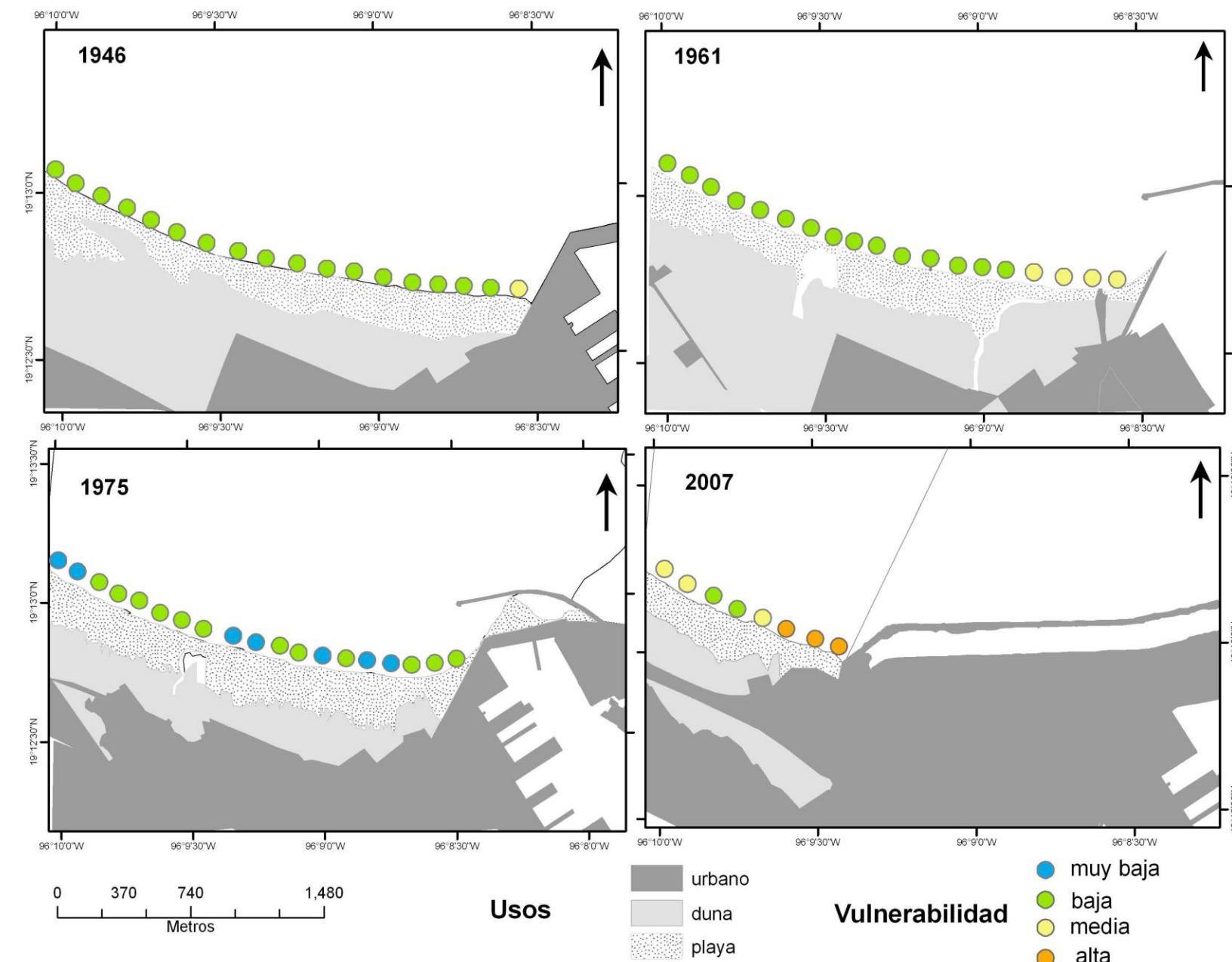
A. FIGURA 2. CAMBIOS DE USO DE SUELO. CELDA II



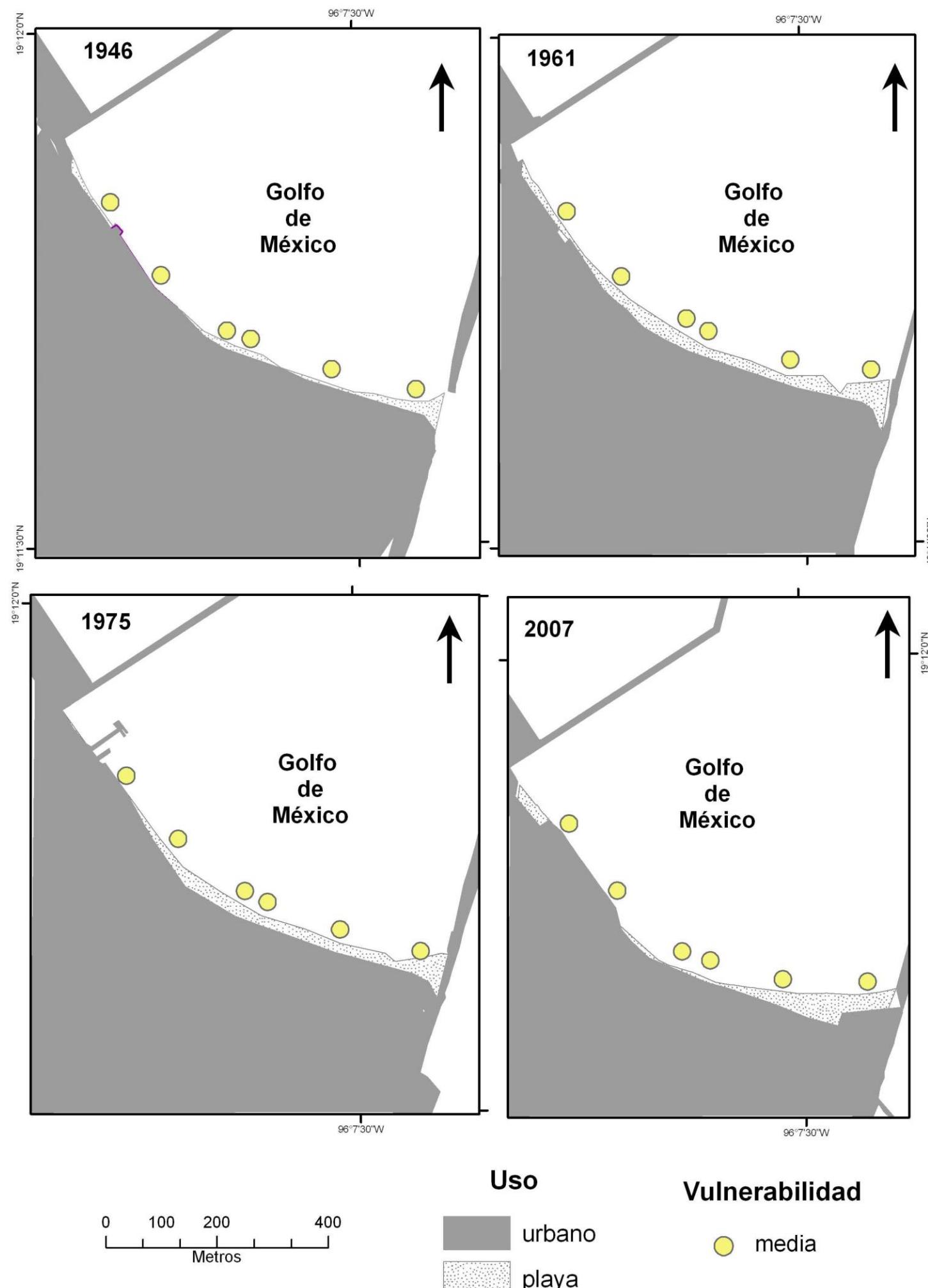
A. FIGURA 3. CAMBIOS DE SO DE SUELO. CELDA III.



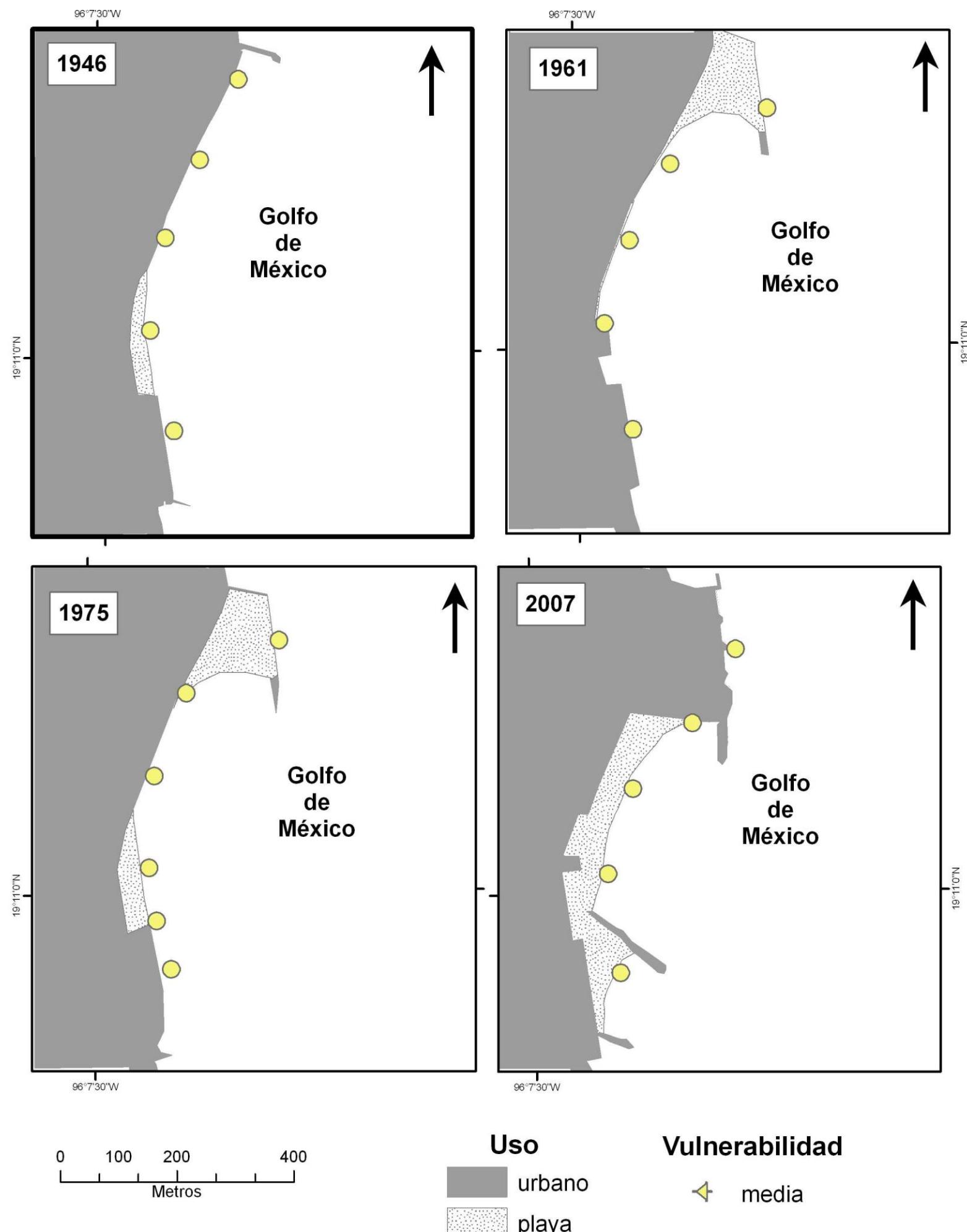
A. FIGURA 4.- VULNERABILIDAD EN PLAYA NORTE EN 4 TIEMPOS.



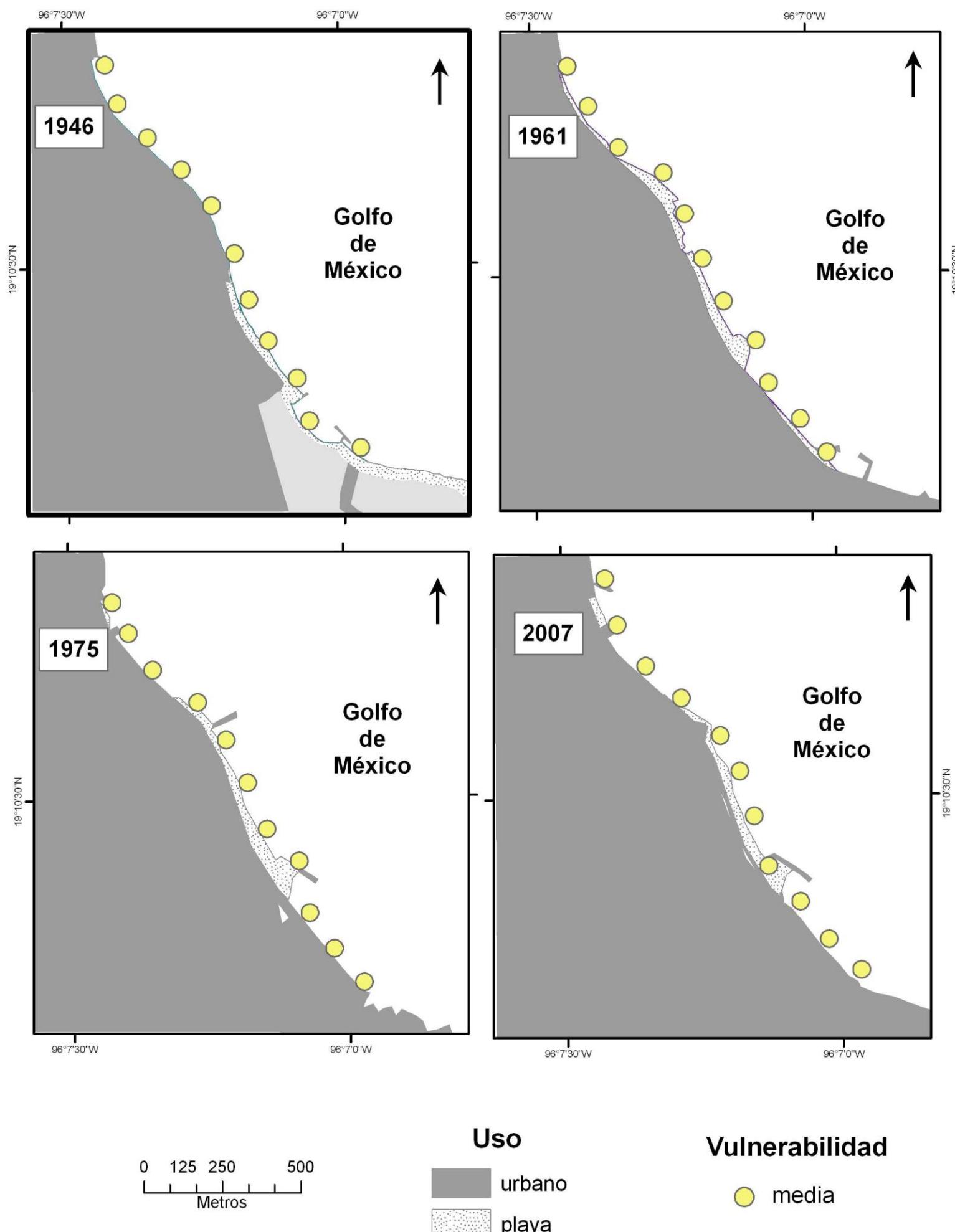
A. FIGURA 5.- VULNERABILIDAD EN PLAYA REGATAS EN 4 TIEMPOS.



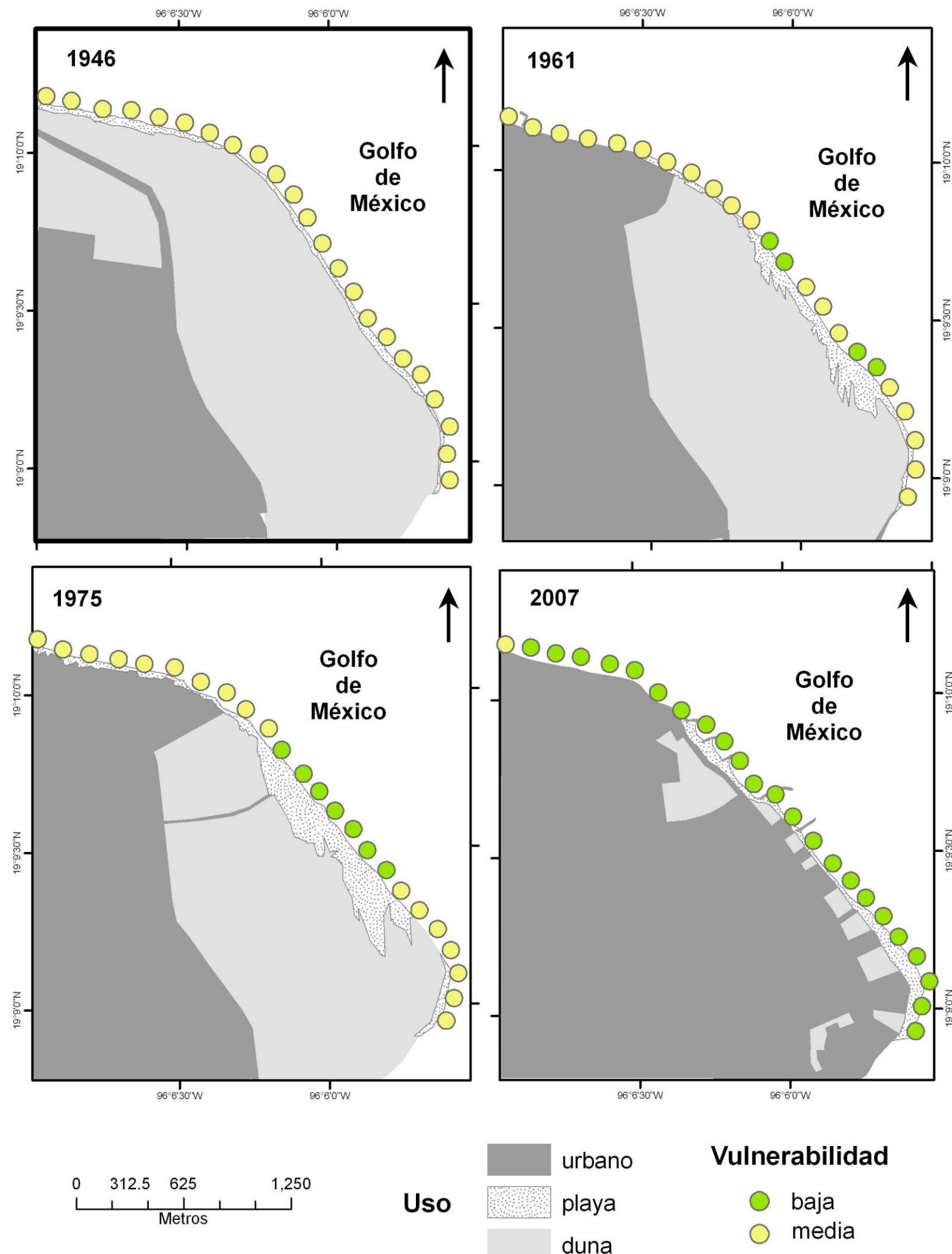
A. FIGURA 6.- VULNERABILIDAD EN PLAYA VILLA DEL MAR EN 4 TIEMPOS.



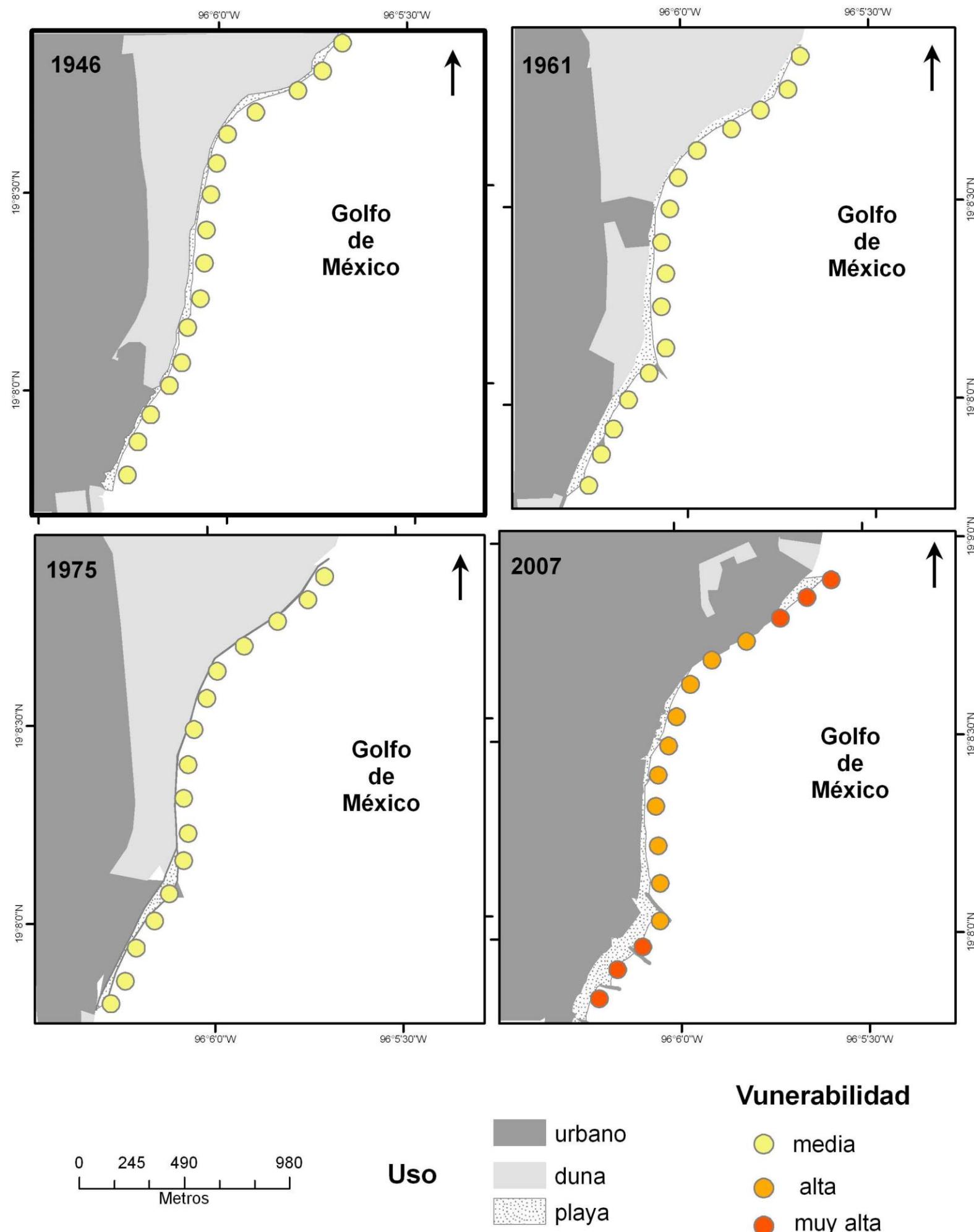
A. FIGURA 7.- VULNERABILIDAD EN PLAYA JOSÉ MARTÍ EN 4 TIEMPOS.



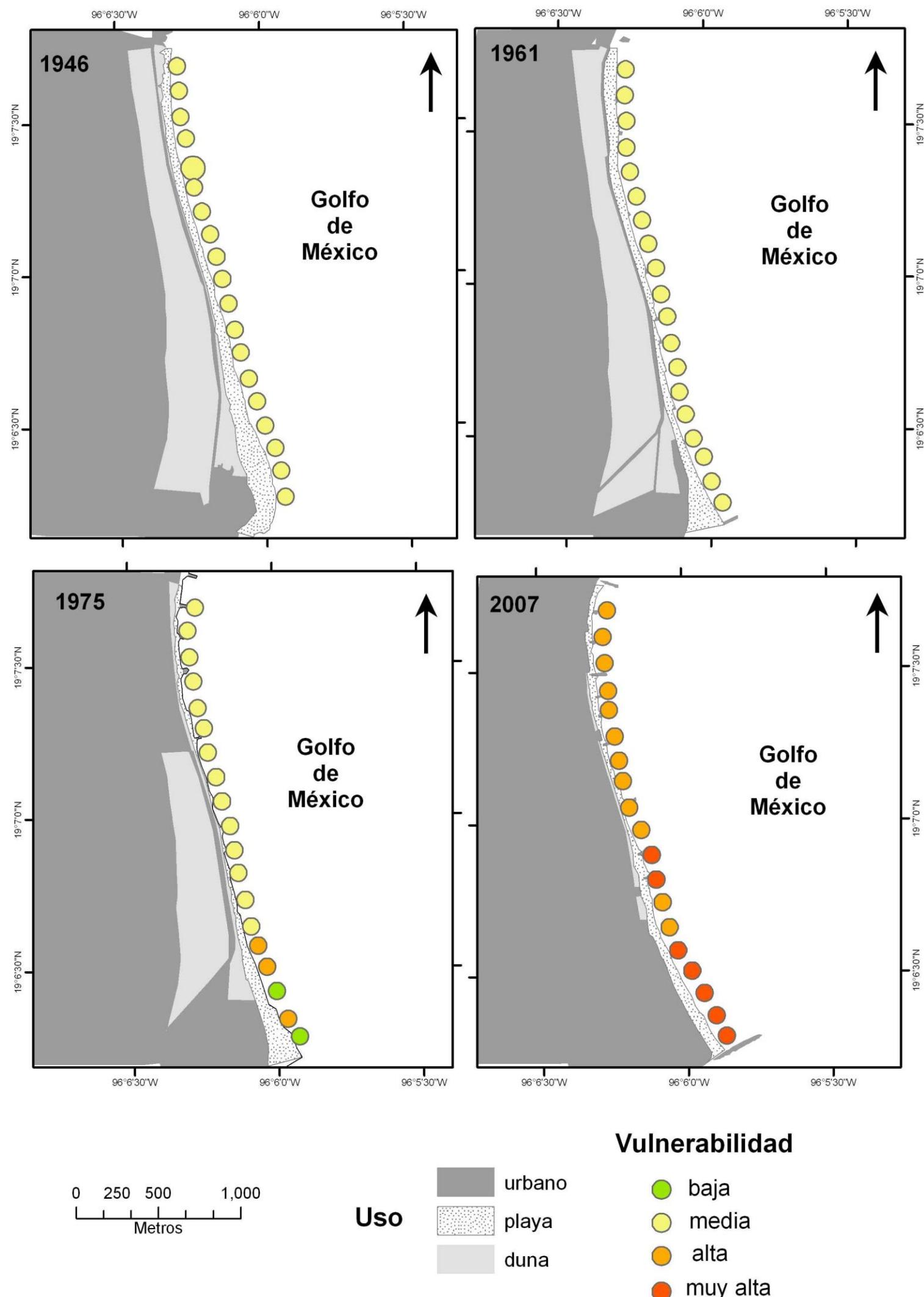
A. FIGURA 8.- VULNERABILIDAD EN PLAYA COSTA DE ORO EN 4 TIEMPOS.



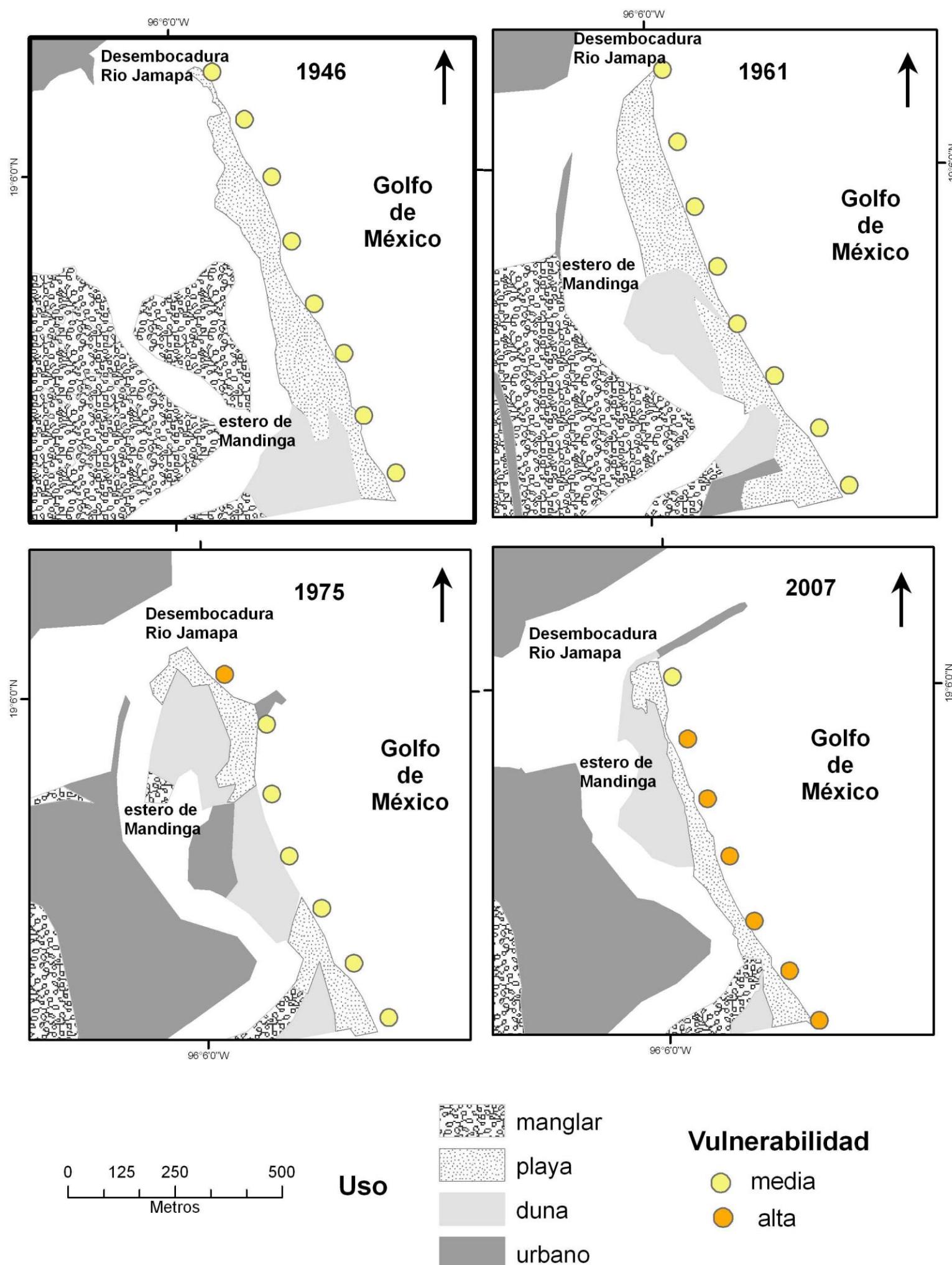
A. FIGURA 9.- VULNERABILIDAD EN PLAYA MOCAMBO EN 4 TIEMPOS.



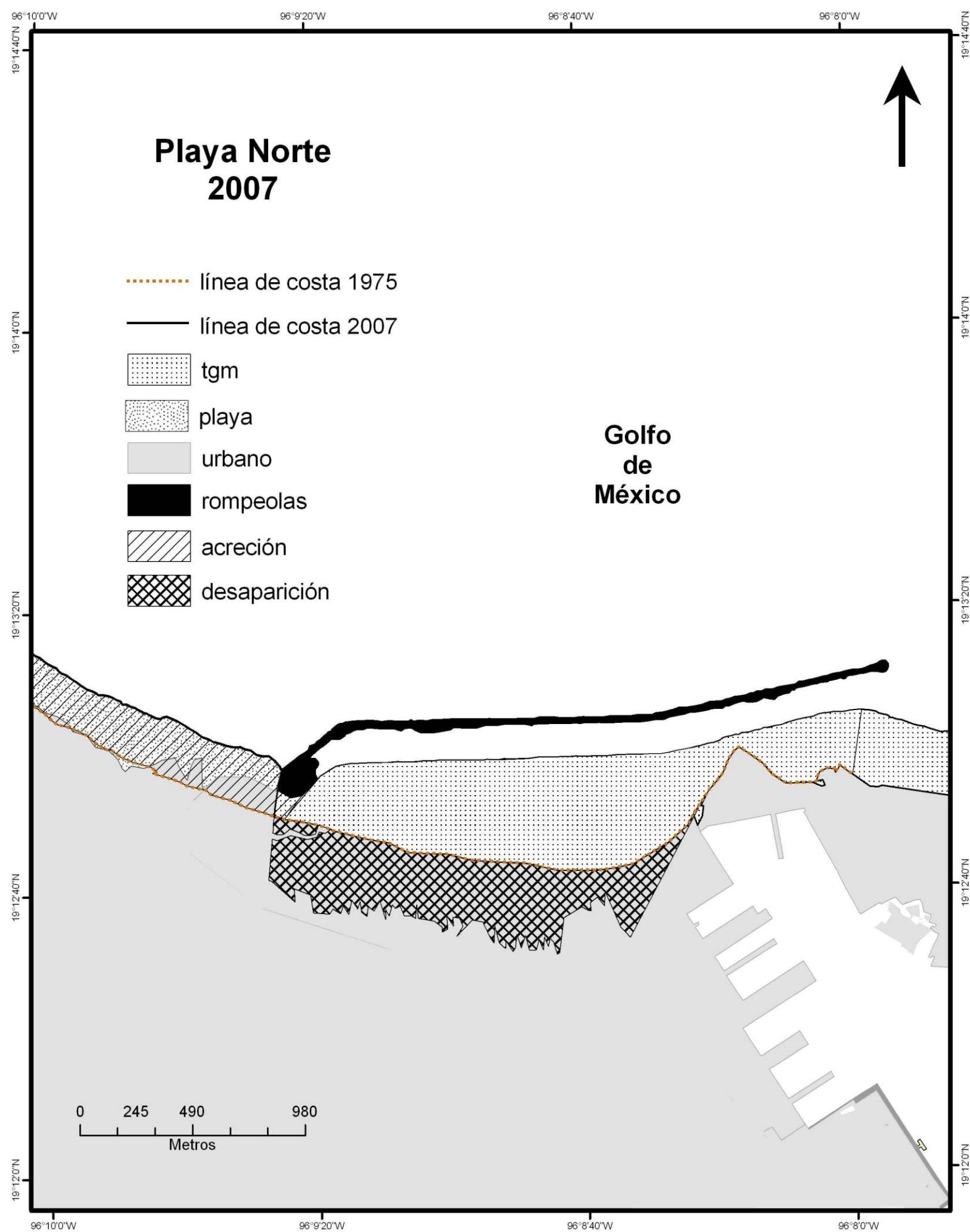
A. FIGURA 10.- VULNERABILIDAD EN PLAYA SANTA ANA EN 4 TIEMPOS.



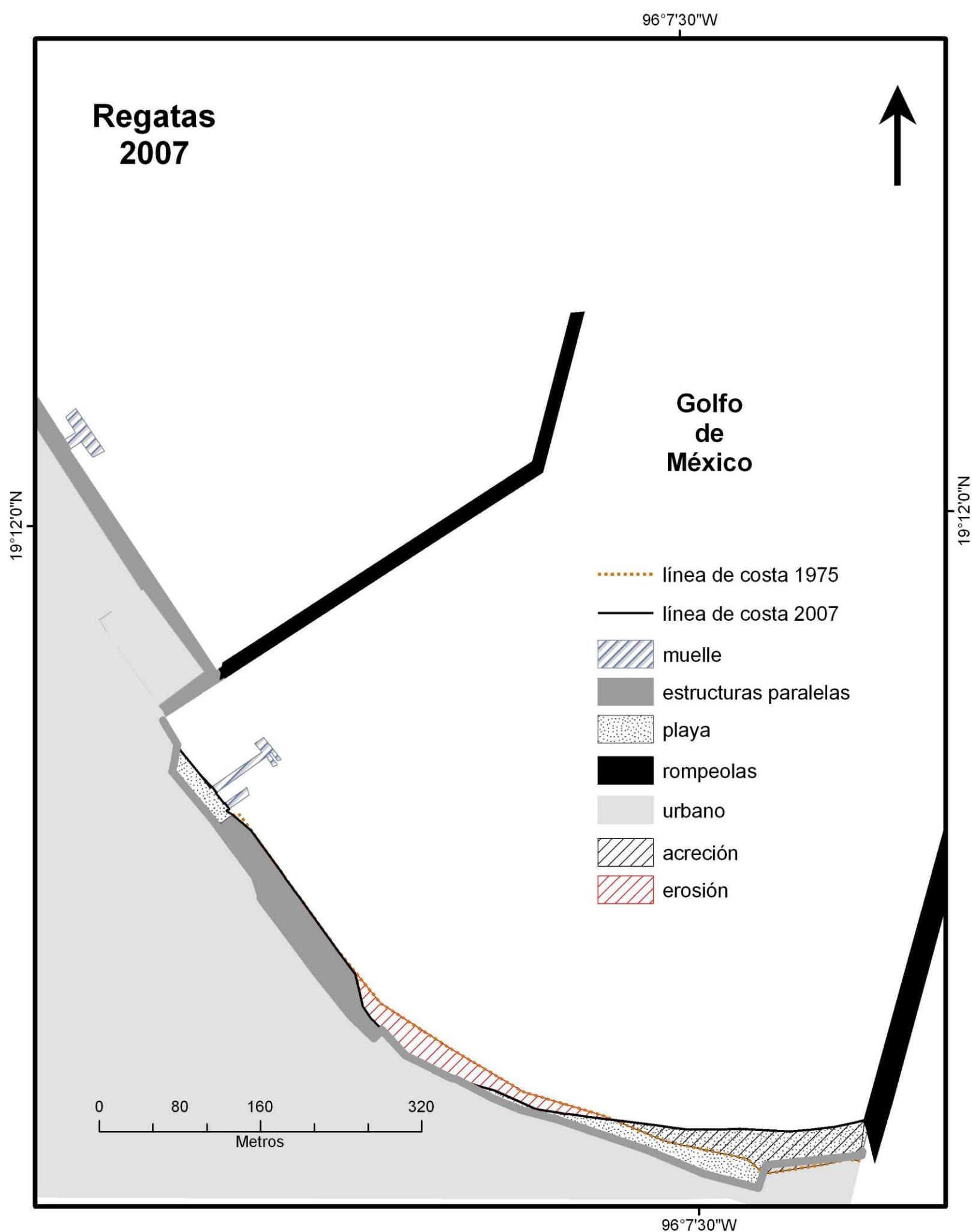
A. FIGURA 11.- VULNERABILIDAD EN PLAYA EL ESTERO EN 4 TIEMPOS.



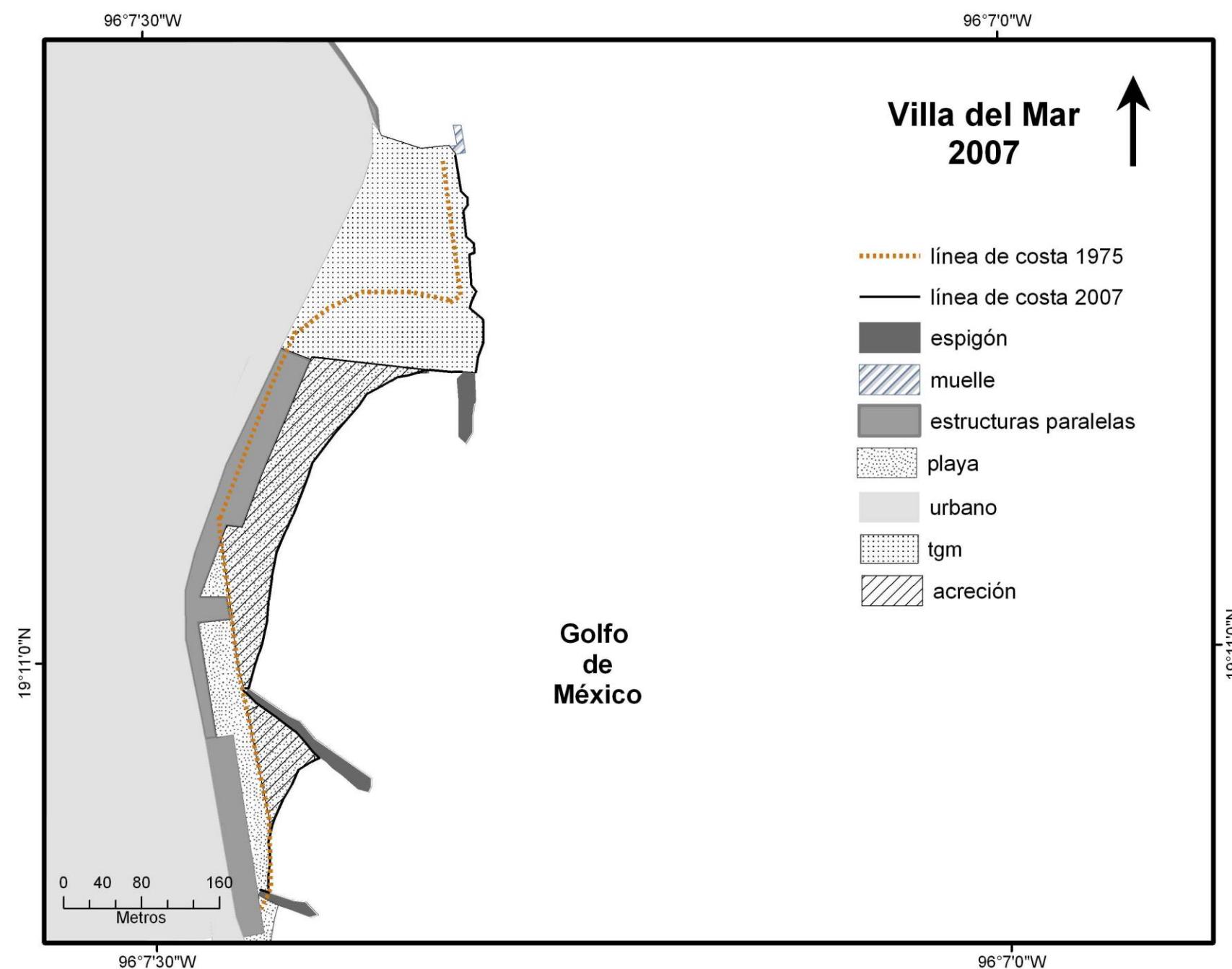
A. FIGURA 12.- EFECTOS DE LAS OBRAS DE PROTECCIÓN COSTERA EN PLAYA NORTE



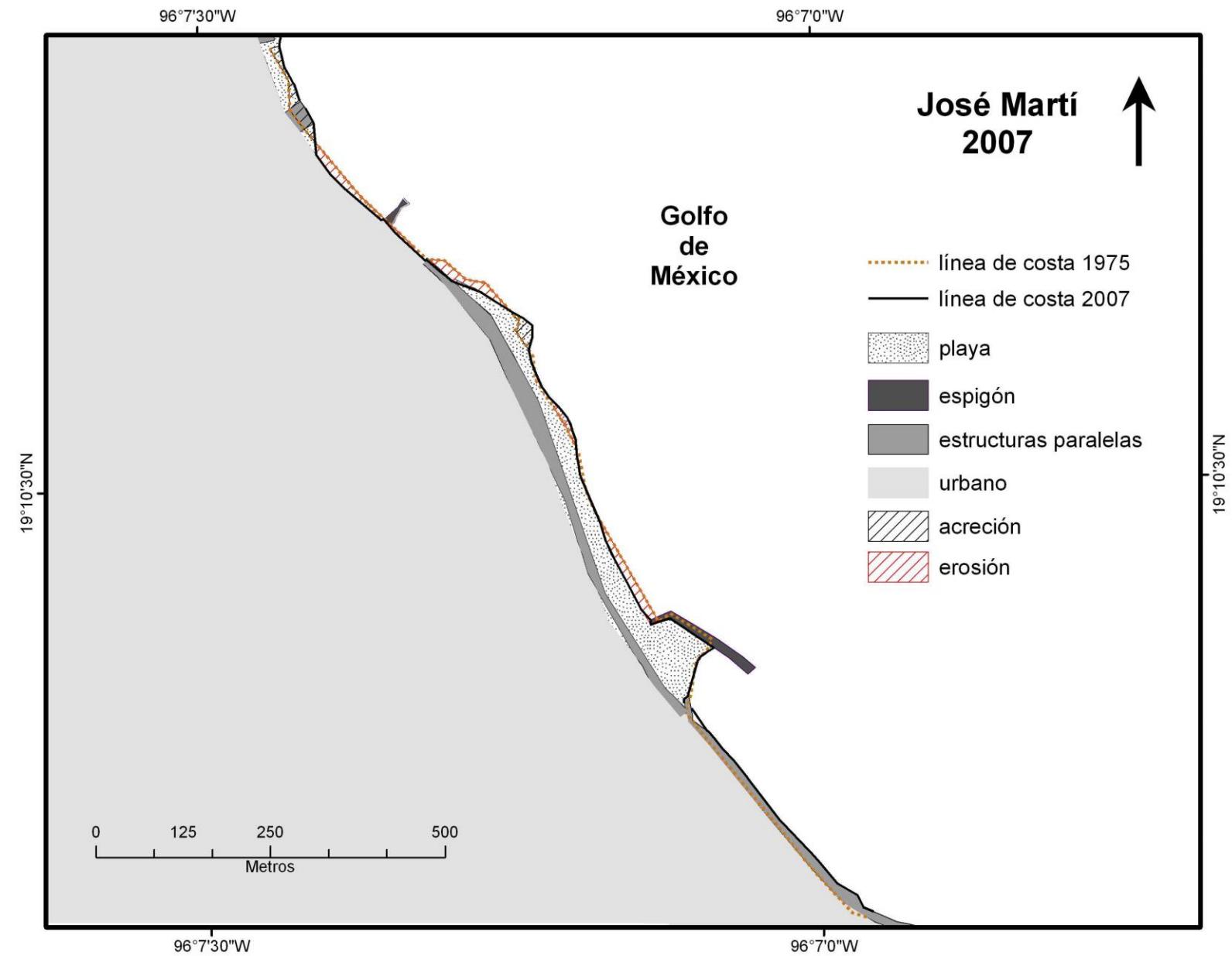
A. FIGURA 13.- EFECTOS DE LAS OBRAS DE PROTECCIÓN COSTERA EN PLAYA REGATAS



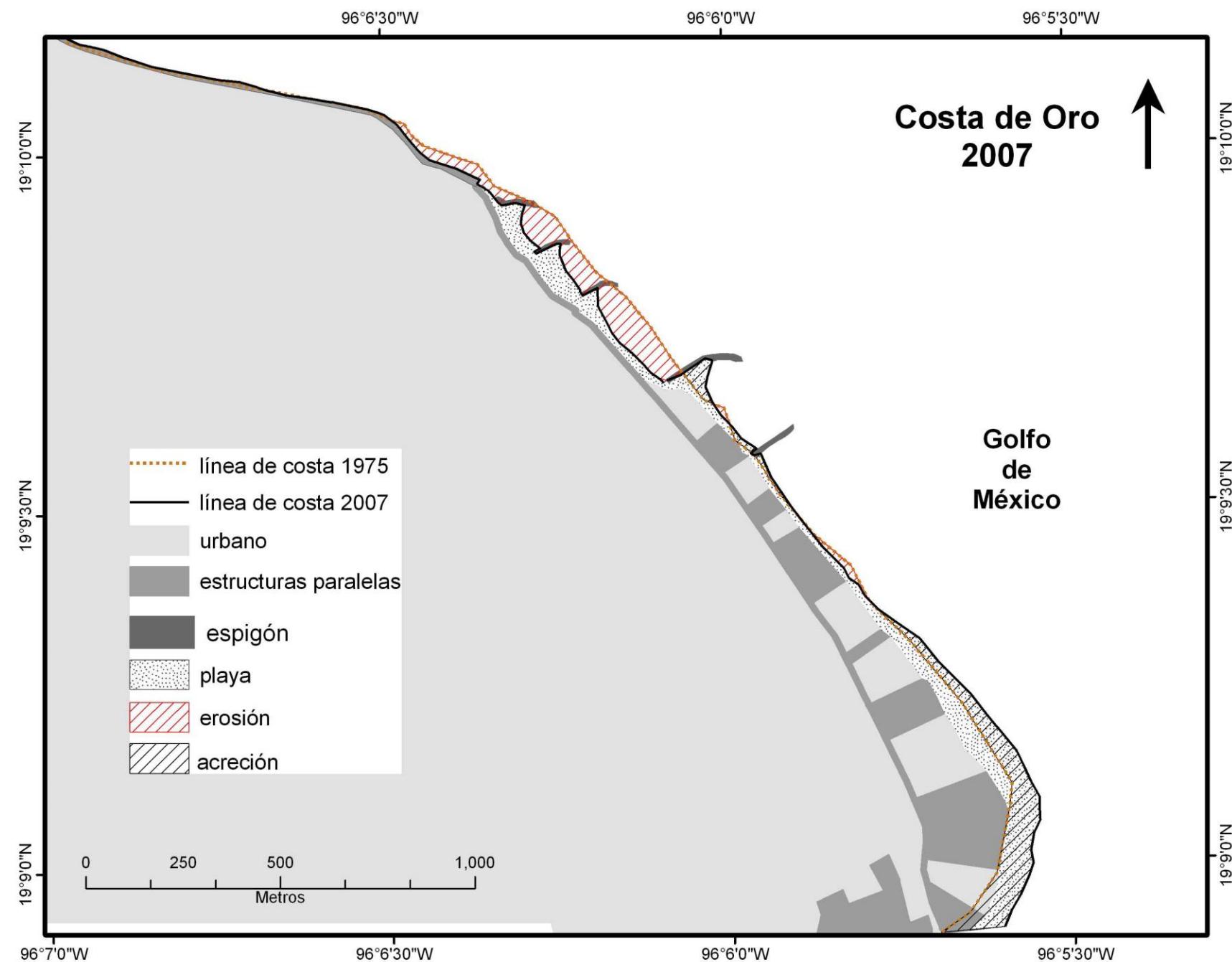
A. FIGURA 14.- EFECTOS DE LAS OBRAS DE PROTECCIÓN COSTERA EN PLAYA VILLA DEL MAR.



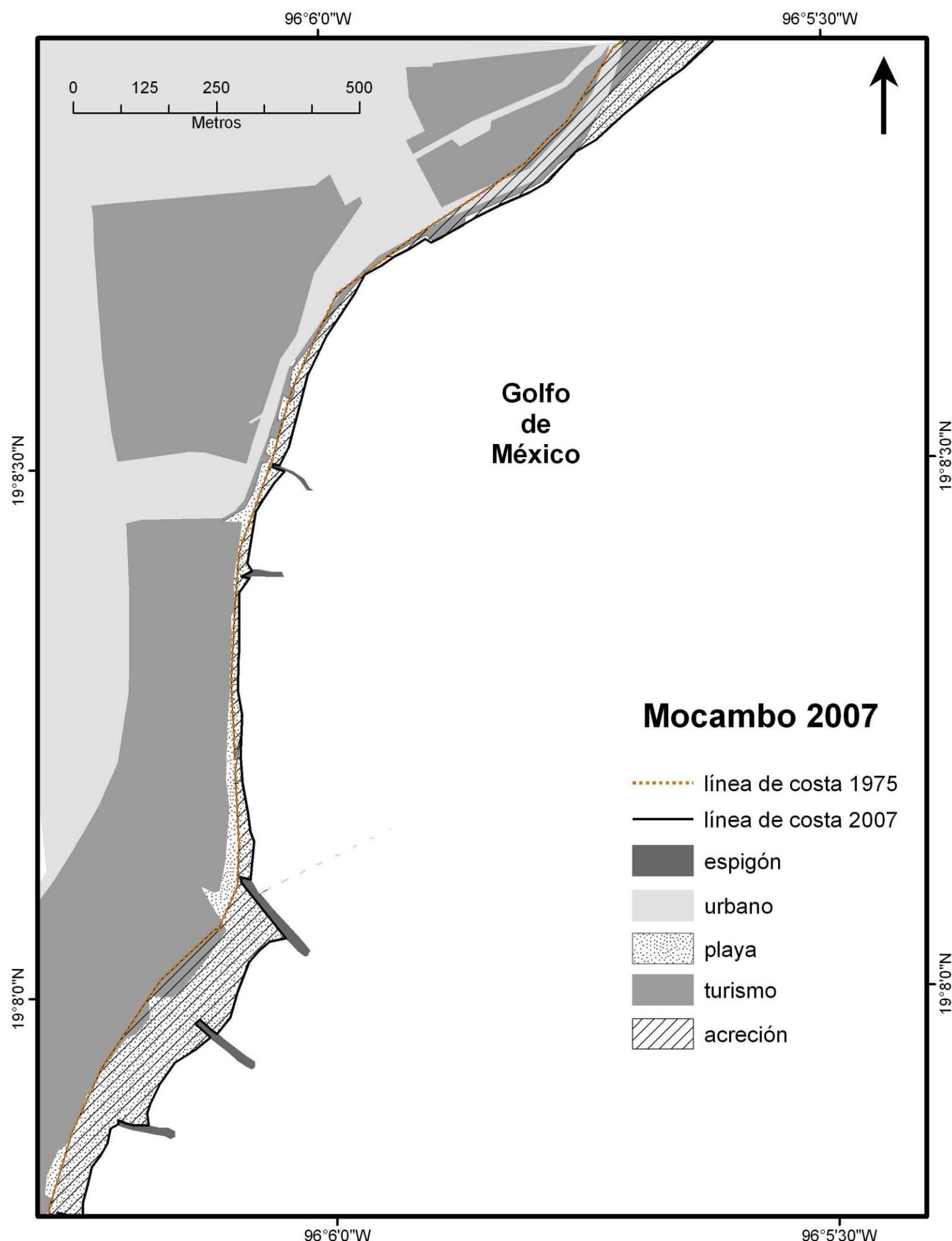
A. FIGURA 15.- EFECTOS DE LAS OBRAS DE PROTECCIÓN COSTERA EN PLAYA JOSÉ MARTÍ.



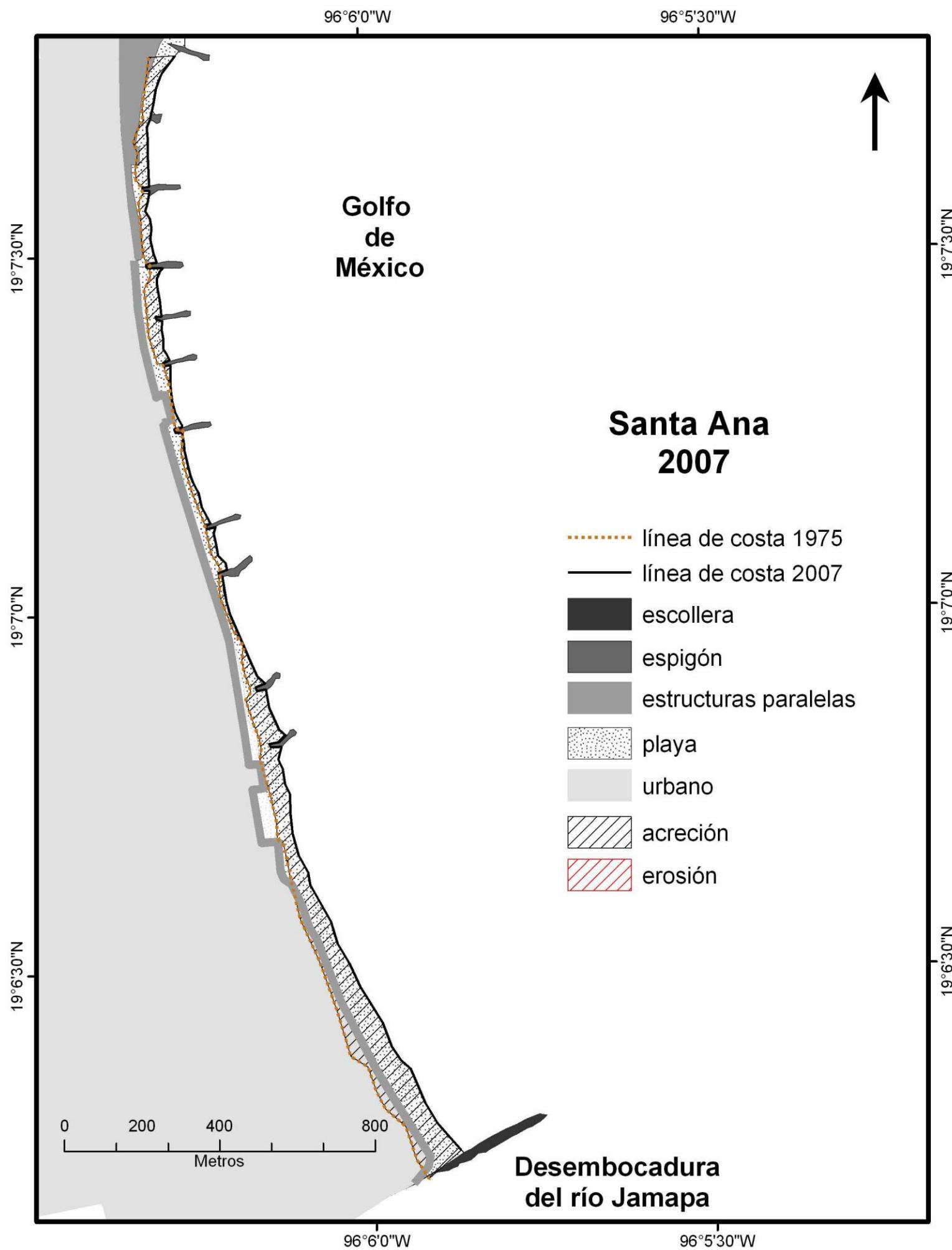
A. FIGURA 16.- EFECTOS DE LAS OBRAS DE PROTECCIÓN COSTERA EN PLAYA COSTA DE ORO.



A. FIGURA 17.- EFECTOS DE LAS OBRAS DE PROTECCIÓN COSTERA EN PLAYA MOCAMBO



A. FIGURA 18.- EFECTOS DE LAS OBRAS DE PROTECCIÓN COSTERA EN PLAYA SANTA ANA.



A. FIGURA 19.- EFECTOS DE LAS OBRAS DE PROTECCIÓN COSTERA EN PLAYA EL ESTERO

