

Manuel A. Iturralde-Vinent | Herminia Serrano Méndez

Peligros y vulnerabilidades
de la **zona marino-costera de Cuba:**
estado actual y perspectivas
ante el **cambio climático**
hasta el 2100

La Habana, 2015



© Agencia de Medio Ambiente, CITMA, 2015
© Sobre la presente edición: Editorial Academia, 2015

Edición científica: Dr. C. Manuel A. Iturralde-Vinent
MSc. Herminia Serrano Méndez

Edición y Corrección de estilo: Lic. Dulce María García Medina
Cubierta: D.i. Miguel Olano Valiente

Ilustraciones: autores, colaboradores y fuentes indicadas

Obra editada por:



Editorial Academia

Calle 20, N° 4110 entre 41 y 47, Playa,
La Habana, Cuba | CP 10 200

Teléfonos: 7 202 7920 ext. 129 | 7 214 4195

geditora@ceniai.inf.cu

ISBN: 978-959-270-338-4





Peligros y vulnerabilidades
de la **zona marino-costera de Cuba:**
estado actual y perspectivas
ante el **cambio climático**
hasta el 2100







Tendencias y respuestas del manglar ante la elevación del nivel del mar y los humedales costeros y vegetación de las dunas

Coordinadores: Dra. Leda Menéndez Carrera¹, MSc. José Manuel Guzmán Menéndez¹

Investigadores: Lic. Luis David Almeida¹, MSc. Lázaro Rodríguez Farrat¹, MSc. Fredy Morales Ruitiya¹

Estimación de las anomalías, tendencia y proyección durante el presente siglo, del nivel medio del mar en Cuba y estimar los períodos de retorno de los valores extremos del nivel del mar en Cuba a partir de mediciones de la Red Mareográfica Nacional

Coordinadores: Dr. Marcelino Hernández González², MSc. Orlando Marzo Lovaina³

Investigadores: Ing. Yudit Ríos Ortega³, MSc. Yanuary Garrido Lindsay³, MSc. Carlos Agustín Martínez Bayón², MSc. Jorge Olivera Acosta⁴, MSc. Sergio Luis Lorenzo Sánchez², Ing. Damián Montesino De Sologuren², Ing. Yudelsi Carrillo Betancourt², Ing. Idalmis Almeida Martínez⁴, Leidis Rebaca Santos Rodríguez², Lic. Claudia Bolívar Rodríguez², Lic. Martha María Rivero Fernández², Lic. Julieta Gutiérrez Hernández², Lic. Pedro Jorge Pérez Osorio⁵, Lic. Hugo Rodríguez⁵, MSc. Reynaldo Casals Taylor⁵

Actualización de las corrientes marinas en las condiciones extremas del estado del tiempo. Escenario actual y escenario máximo previsto por el cambio climático en el año 2100

Coordinadores: MSc. Ángel Lenin Rodríguez López³, Ing. Iván Reyes Cordero³

Investigadores: MSc. Jorge Luis Viamontes Fernández³, Ing. Rossana E. Cardet Barrios³, Ing. Daniel Estrada Pérez³, MSc. Daisy López García³, Téc. Miguel Blanco Concepción³, Ing. Laritza Expósito Fuentes³, Téc. Manuel Pedrosa Picos³, MSc. Oralys Alburquerque Bruck², Lic. Giselle Danay Vives Márquez³, Lic. Yanet Masjuán Piedra³, Téc. Joaquín Pérez Alfonso³, Téc. Reinier Mendoza Batista³, Dra. Liliam Arriaza Olivera², MSc. Jacqueline Simanca Cárdenas², Ing. Damián Montesino De Sologuren², Lic. Johan Navarro Padrón², MSc. Libertad Rodas Fernández², Lic. Claudia Bolívar Rodríguez², MSc. José Francisco Montalvo Estévez², Lic. Ileana García Ramil²

Determinación de datos batimétricos de zonas seleccionadas

Coordinador: MSc. Pavel Martínez Pérez³

Investigadores: Téc. Guillermo Rivero Larrinaga³, Téc. Roberto Caballero Isaac³, Téc. Eduardo Álvarez Casanova³, Ing. Miguel Ángel Plasencia Rodríguez³, Ing. Yicel Domingo Tabarez³

Localización y estado de deterioro de las crestas arrecifales en zonas priorizadas de Cuba

Coordinadores: MSc. Sergio Lorenzo Sánchez², Dr. Pedro Manuel Alcolado Menéndez²

Investigadores: Lic. Claudia Bolívar Rodríguez², MSc. Susel Castellanos Iglesias², Lic. Pedro Alcolado Prieto²

Actualización de la evolución de las playas para los años 2050 y 2100

Coordinadores: Dr. José Luis Juanes Martí², Ing. Raciél González Escalona³

Investigadores: Lic. Lourdes Rivas Rodríguez², Lic. Randy Joan Casellas², Téc. Hermes Salazar Salazar², Téc. Adrián Niévares Pérez², Ing. Ángel L. Chirino Núñez³, Ing. Luis. E. Reyes

Peligros y vulnerabilidades de la zona marino-costera de Cuba: estado actual y perspectivas ante el cambio climático hasta el 2100

Ferrer³, Ing. Bruce Luis Frías³, Lic. Pablo Sánchez Gallardo³, Ing. Héctor Rondón Yero³, Lic. Mario Nadal Llosa³, Téc. Luis del Herrera Rodríguez³, Lic. Pavel Morales Díaz², Lic. Lorena Caré Lim⁶, Lic. Adrián Martínez Suárez⁷, Lic. Elizabeth Dayana Curra⁷

Inundaciones costeras producidas por la surgencia y el oleaje de los eventos meteorológicos extremos. Situación actual y escenarios previstos para el 2050 y 2100

Coordinadores: Dr. Amaury Álvarez Cruz², Lic. Osvaldo Enrique Pérez López⁵

Investigadores: MSc. Reynaldo Casals Taylor⁵, Dra. Alina Rita Gutiérrez Delgado², Lic. Pedro Jorge Pérez Osorio⁵, MSc. José Manuel Guzmán Menéndez¹, Lic. Leda Menéndez Carreras¹, MSc. Aian Torres Rodríguez⁸, MSc. Orlando Marzo Lobaina³, Lic. Dayanis Montero Borges⁵, Lic. Mario Vázquez Díaz⁵, Lic. Rebeca Martínez Retureta⁹, Lic. Ivette Hernández Baños⁵, Lic. Yaimé Santiago Charcharbal⁵, Lic. Adrian García Bernal⁵

La intrusión salina en acuíferos costeros de Cuba producto de acciones antropogénicas, el cambio climático y el ascenso del nivel medio del mar

Coordinador: Ing. Arturo González Báez¹⁰

Investigador: Geól. Ernesto Flores Valdés¹⁰

Tendencia a la acidificación de los mares cubanos para los años 2050 y 2100

Coordinador: MSc. José Francisco Montalvo²

Investigadores: Lic. Ileana de los A. García Ramil², Téc. Ricardo Quintana Ibarra²

Evaluación de las vulnerabilidades ecológicas, económicas y sociales en la zona sumergida a partir de los escenarios de ascenso del nivel del mar para los años 2050 y 2100

Coordinadores: Dr. Fernando González Bermúdez¹¹ Jefe del Macroproyecto, MSc. Herminia Serrano Mendéz⁹

Investigadores: Acad. Dr. Manuel A. Iturralde Vinent⁹, MSc. Yaroslav Borrego Morejón¹¹, MSc. Julia R. González Garcíandía⁴, Dra. Beatriz Martínez Daranas¹², MSc. Ignacio Ramos García¹, Lic. Yolanda Guerra Sosa⁴, Lic. Ana Batte Hernández³, MSc. Odalys Díaz Gutiérrez³

Profundización de las vulnerabilidades al cambio climático en asentamientos costeros y otras áreas para los años 2050 y 2100 y la búsqueda de soluciones de adaptación

Coordinadores: MSc. Carlos M. Rodríguez Otero¹³, MSc. Lucía Favier González¹³

Investigadores: Lic. Fara Carreras Armenteros¹³, Lic. Maydolis González Blanco¹³, Dr. Yoel Linares Moreno¹⁴, Lic. Osvaldo Cruz García¹⁴, Lic. Ulandy Ruíz González¹⁴, Lic. Gresiy Lohuis González¹⁴, Ing. María de los Ángeles Moreira¹⁴, Lic. Aracelis I. Fonseca Díaz¹⁴, Lic. Yania González Cabrera¹⁴, Lic. Belicia Blanco Castro¹⁴, Lic. Oscar Luis Batista Pupo¹⁴, Lic. Yordan Infante Guilart¹⁴, Téc. Yonislav Acosta Pérez¹⁵, Lic. Lisset Montero Infante¹⁴, Ing. Armando Pérez Batista¹⁴, MSc. Carmen E. Medina Ricardo¹⁴





Manuel A. Iturralde-Vinent | Herminia Serrano Méndez

Colaboradores

Dr. Enrique Armando Castellanos Abella¹⁶, MSc. Sheila Chang Fente¹, MSc. María del Carmen Martínez Hernández⁴, MSc. Marisela Quintana Orovio⁴, MSc. Cecilia Ugalde Fariñas¹⁶, Téc. Adriana Serrano Priere⁹

Instituciones participantes

¹Instituto de Ecología y Sistemática (IES-CITMA)

²Instituto de Oceanología (IDO-CITMA)

³Grupo Empresarial GEOCUBA

⁴Instituto de Geografía Tropical (IGT-CITMA)

⁵Instituto de Meteorología (INSMET-CITMA)

⁶Facultad de Medio Ambiente (FAMA) del Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas (InSTEC)

⁷Facultad de Geografía de la Universidad de La Habana (FG-UH)

⁸Grupo Estatal de la Bahía de La Habana

⁹Agencia de Medio Ambiente (AMA-CITMA)

¹⁰Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH)

¹¹Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA)

¹²Centro de Investigaciones Marinas de la Universidad de La Habana (CIM-UH)

¹³Instituto de Planificación Física (IPF)

¹⁴Dirección Provincial de Planificación Física (DPPF)

¹⁵Dirección Municipal de Planificación Física (DMPF)

¹⁶Instituto de Geología y Paleontología (IGP)



Índice

- 1 Introducción**
- 3 El cambio climático**
- 4 División en tramos de las costas de Cuba**
 - 4 __ Tipos de tramos costeros**
 - 5 __ Tramos costeros de sustrato rocoso con terrazas marinas emergidas
 - 6 __ Tramos costeros de sustrato rocoso con acantilados sin terrazas
 - 6 __ Tramos costeros de sustrato areno-limo-turboso parcialmente inundados
- 7 Ocupación de las fajas costeras por el ascenso del nivel del mar**
- 11 Caracterización general de los ecosistemas marino-costeros**
 - 11 _ Crestas coralinas**
 - 11 _ Recomendaciones para proteger las crestas coralinas y reducir su vulnerabilidad al cambio climático
 - 13 _ Pastos marinos**
 - 13 _ Beneficios de los pastos
 - 13 _ Factores que los afectan
 - 14 _ Medidas de protección de los pastos marinos
 - 15 _ Playas arenosas**
 - 16 _ Pronóstico del desarrollo de las costas arenosas
 - 17 _ Bosques de mangles**
 - 18 _ Factores negativos (tensores) que afectan el bosque de mangle costero
 - 18 _ Estado actual de los manglares y humedales
 - 18 _ La protección de los ecosistemas de manglar
 - 20 _ Acidificación de las aguas marinas**
- 21 Escenarios de transformación de los ecosistemas costeros**
- 22 Caracterización detallada de los tramos costeros**
 - 22 _ Tramo I. De Cabo San Antonio (Punta Cajón) a Punta Gobernadora y Archipiélago de los Colorados**
 - 22 _ Corrientes marinas
 - 22 _ Comportamiento de las mareas y ascenso del nivel del mar
 - 22 _ Crestas coralinas
 - 23 _ Llanuras de pastos marinos
 - 23 _ Playas
 - 23 _ Manglares y humedales
 - 23 _ Intrusión marina en acuíferos costeros
 - 23 _ Peligros hidrometeorológicos



**24 _ Tramo II. De Punta Gobernadora a Playa Camacho**

- 24 _ Corrientes marinas
- 24 _ Comportamiento de las mareas y ascenso del nivel del mar
- 24 _ Crestas coralinas
- 24 _ Llanuras de pastos marinos
- 24 _ Playas
- 25 _ Manglares y humedales
- 25 _ Intrusión marina en acuíferos costeros
- 25 _ Peligros hidrometeorológicos

26 _ Tramo III. De Península de Hicacos a Nuevitas y Archipiélago Sabana-Camagüey

- 26 _ Corrientes marinas
- 26 _ Comportamiento de las mareas y ascenso del nivel del mar
- 26 _ Crestas coralinas
- 26 _ Llanuras de pastos marinos
- 27 _ Playas
- 27 _ Manglares y humedales
- 27 _ Intrusión marina en acuíferos costeros
- 28 _ Peligros hidrometeorológicos

29 _ Tramo IV. De Nuevitas a Gibara

- 29 _ Corrientes marinas
- 29 _ Comportamiento de las mareas y ascenso del nivel del mar
- 29 _ Crestas coralinas
- 29 _ Llanuras de pastos marinos
- 29 _ Playas
- 29 _ Manglares y humedales
- 30 _ Intrusión marina en acuíferos costeros
- 30 _ Peligros hidrometeorológicos

31 _ Tramo V. De Gibara a Baracoa

- 31 _ Corrientes marinas
- 31 _ Comportamiento de las mareas y ascenso del nivel del mar
- 31 _ Crestas coralinas
- 31 _ Llanuras de pastos marinos
- 31 _ Playas
- 32 _ Manglares y humedales
- 32 _ Intrusión marina en acuíferos costeros
- 32 _ Peligros hidrometeorológicos



33 _ Tramo VI. De Baracoa a Cajetón Blanco (oeste de Santiago de Cuba)

- 33 _ Corrientes marinas
- 33 _ Comportamiento de las mareas y ascenso del nivel del mar
- 33 _ Crestas coralinas
- 33 _ Llanuras de pastos marinos
- 33 _ Playas
- 34 _ Manglares y humedales
- 34 _ Intrusión marina en acuíferos costeros
- 34 _ Peligros hidrometeorológicos

35 _ Tramo VII. De Bahía Santiago (Cajetón Blanco) a Punta Farallones (Marea del Portillo)

- 35 _ Corrientes marinas
- 35 _ Comportamiento de las mareas y ascenso del nivel del mar
- 35 _ Crestas coralinas
- 35 _ Llanuras de pastos marinos
- 35 _ Playas
- 35 _ Manglares y humedales
- 35 _ Intrusión marina en acuíferos costeros
- 36 _ Peligros hidrometeorológicos

36 _ Tramo VIII. De Punta Farallones (Marea del Portillo) a Cabo Cruz

- 36 _ Corrientes marinas
- 36 _ Comportamiento de las mareas y ascenso del nivel del mar
- 36 _ Crestas coralinas
- 36 _ Llanuras de pastos marinos
- 36 _ Playas
- 36 _ Manglares y humedales
- 37 _ Intrusión marina en acuíferos costeros
- 37 _ Peligros hidrometeorológicos

38 _ Tramo IX. De Cabo Cruz a Punta Birama y Archipiélago de los Jardines de la Reina

- 38 _ Corrientes marinas
- 38 _ Comportamiento de las mareas y ascenso del nivel del mar
- 38 _ Crestas coralinas
- 38 _ Llanuras de pastos marinos
- 38 _ Playas
- 39 _ Manglares y humedales
- 39 _ Intrusión marina en acuíferos costeros
- 39 _ Peligros hidrometeorológicos



**40 _ Tramo X. De Punta Birama a Boca del Guaurabo**

- 40 _ Corrientes marinas
- 40 _ Comportamiento de las mareas y ascenso del nivel del mar
- 40 _ Crestas coralinas
- 40 _ Llanuras de pastos marinos
- 40 _ Playas
- 40 _ Manglares y humedales
- 41 _ Intrusión marina en los acuíferos costeros
- 41 _ Peligros hidrometeorológicos

41 _ Tramo XI. De Boca del Guaurabo a Playa Larga (Bahía de Cochinos)

- 41 _ Corrientes marinas
- 42 _ Comportamiento de las mareas y ascenso del nivel del mar
- 42 _ Crestas coralinas
- 42 _ Llanuras de pastos marinos
- 42 _ Playas
- 42 _ Manglares y humedales
- 42 _ Intrusión marina en acuíferos costeros
- 42 _ Peligros hidrometeorológicos

43 _ Tramo XII. De costa sur de Playa Larga a Cabo Francés y Archipiélago de Los Canarreos

- 43 _ Corrientes marinas
- 43 _ Comportamiento de las mareas y ascenso del nivel del mar
- 43 _ Crestas coralinas
- 44 _ Llanuras de pastos marinos
- 44 _ Playas
- 44 _ Manglares y humedales
- 44 _ Intrusión marina en acuíferos costeros
- 45 _ Peligros hidrometeorológicos

45 _ Tramo XIII. De Cabo Francés a Cabo San Antonio

- 45 _ Corrientes marinas
- 46 _ Comportamiento de las mareas y ascenso del nivel del mar
- 46 _ Crestas coralinas
- 46 _ Llanuras de pastos marinos
- 46 _ Playas
- 46 _ No hay manglares costeros
- 46 _ Intrusión marina en acuíferos costeros
- 46 _ Peligros hidrometeorológicos



47 _ Tramo XIV. De costa sur de Isla de la Juventud de Cabo Francés a Punta del Este

- 47 _ Corrientes marinas
- 47 _ Comportamiento de las mareas y ascenso del nivel del mar
- 47 _ Crestas coralinas
- 47 _ Llanuras de pastos marinos
- 47 _ Playas
- 47 _ Manglares y humedales
- 47 _ Intrusión marina en acuíferos costeros
- 48 _ Peligros hidrometeorológicos

48 _ Tramo XV. De Isla de la Juventud de Cabo Francés a Punta del Este por el norte

- 48 _ Corrientes marinas
- 48 _ Comportamiento de las mareas y ascenso del nivel del mar
- 48 _ Tramo sin crestas coralinas
- 48 _ Llanuras de pastos marinos
- 48 _ Playas
- 49 _ Manglares y humedales
- 49 _ Intrusión marina en acuíferos costeros
- 49 _ Peligros hidrometeorológicos

50 Susceptibilidad de las zonas marino-costeras

52 Afectación a la infraestructura social

54 Conclusiones

55 Referencias y lecturas recomendadas

57 Anexos

- 57 - 59 Anexo 1. Mapa pronóstico de las áreas que quedarán ocupadas por el mar hasta el 2100, de acuerdo con el peor escenario estimado por Salas 2006. Este pronóstico no tiene en cuenta los factores locales (Macroproyecto).
- 60 - 62 Anexo 2. Mapa pronóstico del área de ocupación marina por el ascenso del nivel del mar hasta el 2100, de acuerdo con el pronóstico no lineal, más las anomalías y mareas máximas calculadas sobre la base del registro mareográfico (adaptado del IDO para el Macroproyecto).
- 63 - 65 Anexo 3. Mapa del estado actual de preservación de los bosques de mangle y humedales (adaptado del IES para el Macroproyecto).
- 66 - 68 Anexo 4. Herbazal de ciénaga amenazada de ocupación por aguas salobres y algunos manglares hasta el 2100. Bosque húmedo amenazado de ocupación parcial por aguas salobres y algunos manglares hasta el 2100 (adaptado del IES para el Macroproyecto).
- 69 Anexo 5. Mapa de las corrientes marinas en el entorno de Cuba (adaptado de Geocuba para el Macroproyecto).
- 70 Anexo 6. Mapa de la intrusión salina en Cuba (adaptado del INRH para el Macroproyecto).
- 71 Anexo 7. Localidades donde se han reportado inundaciones costeras en Cuba, desde 1901 hasta el 2006 (adaptado de Mitrani et al. 2007 INSMET para el Macroproyecto).
- 72 Anexo 8. Asentamientos costeros que pueden sufrir afectaciones por inundaciones permanentes debido al ascenso del nivel medio del mar (adaptado del IPF para el Macroproyecto).







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

A partir de la década del 60 del siglo pasado se proyectó una estrategia para reducir desastres y se conformó un sistema de defensa civil en el que la participación de la población, la base científica y la adecuada coordinación y cooperación entre todos sus componentes han constituido y constituyen sus principales fortalezas. Esa estrategia ha estado en un continuo desarrollo y perfeccionamiento, teniendo en cuenta los avances y logros en la materia, las insuficiencias, las nuevas exigencias del desarrollo económico y social, así como los compromisos establecidos a partir de los acuerdos internacionales para reducir los desastres.

El incremento de la frecuencia de eventos desastrosos es hoy un obstáculo para el desarrollo sostenible. En todo el proceso de perfeccionamiento de la estrategia cubana para reducir desastres, se ha profundizado en el alcance de las acciones para estimar y reducir los riesgos ante los diferentes peligros que afectan al país. En ello ha incidido la puesta en vigor, en el año 2005 de la Directiva No. 1 del vicepresidente del Consejo de Defensa Nacional, la cual se ha ido perfeccionando. En el año 2010 se publicó la segunda edición de esta directiva, con un cuerpo legal vigente y fortalecido.

Una herramienta que facilita la identificación de medidas y toma de decisiones, para reducir riesgos son los estudios e investigaciones de los peligros, vulnerabilidades y riesgos de desastres que el Grupo de Evaluación de Riesgos de la Agencia de Medio Ambiente del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente de Cuba organiza y coordina; con la participación de especialistas e instituciones científicas del país, de conjunto con el Estado Mayor Nacional de la Defensa Civil.

El Macroproyecto “Escenarios de peligro y vulnerabilidad de la zona costera cubana asociados al ascenso del nivel medio del mar para los años

2050 y 2100” fue estructurado en el año 2008, para coordinar el trabajo de más de 150 profesionales y especialistas de numerosas instituciones nacionales, sus delegaciones provinciales y municipales, que se organizaron en distintos proyectos, hasta un número de 13, encaminados a resolver problemas esenciales vinculados al cambio climático, la elevación del nivel del mar y sus consecuencias para la población, la infraestructura social y los ecosistemas. Un esfuerzo como este es posible solamente en un país como Cuba, donde el Estado otorga una alta prioridad a proteger la vida humana y los recursos que la sustentan.

Durante los primeros años del Macroproyecto se comenzó por recopilar, procesar y sintetizar la voluminosa información científica y observaciones sistemáticas atesoradas por las diversas instituciones participantes. Sobre esta base se fueron diseñando nuevas investigaciones para completar, verificar y actualizar la amplia data existente, a fin de mantener una adecuada gestión del conocimiento sobre los efectos del cambio climático en Cuba e ir perfeccionando sucesivamente los escenarios pronósticos hasta los años 2050 y 2100.

Desde el establecimiento del Macroproyecto se elaboraron anualmente distintos materiales que reflejaban el progreso de las investigaciones, los cuales se entregaron a la máxima dirección del país. Estos sirvieron de base para elaborar políticas y directivas encaminadas a proteger a la población y a los recursos contra las amenazas derivadas de la elevación del nivel del mar y en general del cambio climático.

Este libro, elaborado a partir de los resultados obtenidos por los proyectos que integran el Macroproyecto, sintetiza un gran volumen de información relevante para la toma de decisiones, científicamente fundamentada, dirigida a reducir los riesgos asociados a la elevación del nivel del mar por el calentamiento global y a los desastres en general, especialmente en las regiones costeras.

Aunque estamos satisfechos por la labor y empeño realizados, aún debemos continuar trabajando con ese mismo enfoque, a fin de elevar a un grado superior la precisión de los escenarios pronosticados.

Al presentar esta obra, quisiera felicitar a todos aquellos que han contribuido con ella cuyo aporte, independientemente de su magnitud, fue esencial para alcanzar estos resultados.

MSc. Herminia Serrano Méndez

Especialista principal del Macroproyecto
Agencia de Medio Ambiente del CITMA

Introducción







La emisión de gases de efecto invernadero, causante del “calentamiento global” y del cambio climático, no se ha podido controlar sobre todo, por la incapacidad de las naciones más desarrolladas para reducir la quema de combustibles fósiles, la tala de bosques, los incendios forestales, las guerras, y en general, la contaminación de la atmósfera. Ninguna de las conferencias celebradas hasta el 2014, incluyendo la 20ava Conferencia de las Partes realizada en Lima, Perú, han logrado llegar a un consenso capaz de enfrentar este problema y reducir satisfactoriamente sus causas.

En perspectiva está un nuevo acuerdo global sobre cambio climático, el cual se deberá adoptar en París, en diciembre del 2015; pero los compromisos para reducir emisiones estarán muy distantes de lo que la ciencia prevé se deberían alcanzar, si se quieren evitar interferencias peligrosas de la actividad humana con el clima.

Actualmente, la emisión de gases de efecto invernadero continúa incrementándose; la concentración media anual en 2013 fue de 396.48 partes por millón (ppm) de CO₂, mientras que en 2014 la concentración media mensual se elevó a 397.13 ppm. Para el período 2004-2013 se reportó un incremento anual de 2.07 ppm por año (<http://co2now.org/>).

Septiembre de 2014 fue el mes más cálido desde que se comenzaron a llevar los récords de temperatura en 1880. El año 2013 se une al 2003 como el cuarto más cálido desde igual fecha. Nueve de los 10 años más cálidos, en los últimos 134 años, han ocurrido desde el 2000 hasta la fecha. (NOAA Global Analysis 2013). El 2015 mantuvo esta tendencia, tal vez, como el año más caliente desde que existen registros climáticos, con temperaturas globales de 1.03 grados Fahrenheit más altas que el promedio para el período 1961-1990. Esto convierte al 2015 en el año 39 consecutivo, con una temperatura anual global anormalmente alta. En el 2015 se reportaron en Cuba temperaturas extremadamente altas y algunos máximos históricos fueron igualados y superados (INSMET).

También se ha determinado que el nivel medio del mar a nivel global, y en algunas zonas de la costa Atlántica de los EE.UU., se está elevando a mayor velocidad que la estimada anteriormente (AOSIS Science Update). Asimismo, los extremos de variabilidad climática están sobrepasando los valores históricos de las últimas decenas (NOAA).

La Organización Meteorológica Mundial reporta que en el 2014 el promedio mundial de aumento del nivel del mar se aceleró a 3 mm anuales; casi el doble del promedio de 1.6 mm, correspondiente al siglo xx. En algunos círculos extranjeros se ha puesto en duda la veracidad

del cambio climático, pero lo cierto es que hay suficientes evidencias que lo comprueban, aportadas por el aumento de la temperatura, el incremento del nivel del mar, el derretimiento de las nieves y los hielos polares, y los extremos alcanzados por la variabilidad climática desde hace varios lustros (Fig. 1).

En Cuba, de acuerdo con el Centro del Clima del Instituto de Meteorología (INSMET), la temperatura media aumentó 0.9 °C entre el año 1951 y el 2010, indicador en el cual influyó el incremento de la temperatura mínima promedio en alrededor de 1.9 °C. El país igualmente registra un aumento en la frecuencia de eventos de sequías más intensas y prolongadas, sobre todo, a partir de 1961. Esta tendencia constituye una de las variaciones climáticas más importantes observadas durante las últimas cinco décadas. El clima, según las proyecciones del INSMET, será más cálido y seco, con posibles incrementos en la temperatura media, de dos a tres grados para finales de la actual centuria; unida a una gran variabilidad del clima, de manera que los efectos del cambio climático están presentes desde inicios del siglo pasado (Planos Gutiérrez y otros, 2012).

Esto significa que los peligros derivados del calentamiento global y del cambio climático se mantienen latentes, con altas posibilidades de incremento, lo cual justifica las medidas que se deben tomar a nivel nacional y local para enfrentar esta amenaza, pues el escenario climático futuro puede ser peor. Por ello es necesario conocer mejor el estado actual de los ecosistemas marino-costeros, ya que de su buena salud dependerá su resiliencia, y estos conocimientos servirán de base para el pronóstico de futuros escenarios en las zonas costeras del archipiélago cubano.

La adopción de medidas de adaptación al cambio climático es un reto mayor para los países en desarrollo debido a las limitaciones económicas; pero tomar medidas a tiempo puede tener un efecto positivo y beneficioso a corto y largo plazo, sobre todo si se abordan las vulnerabilidades a las amenazas climáticas actuales. Por otra parte, adoptar medidas anticipadas es más efectivo (en términos económicos y ambientales), que encarar acciones remediales, una vez que tienen lugar los impactos.

El cambio climático

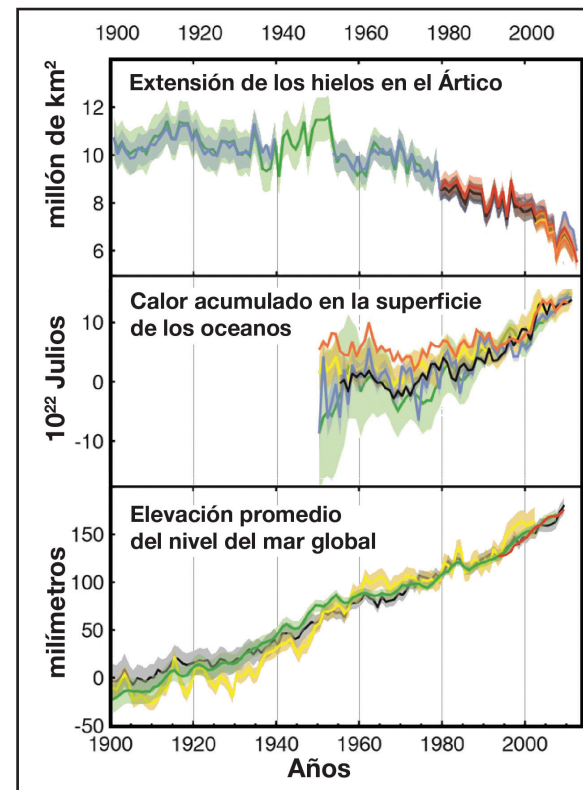


Fig. 1. Gráficos que demuestran la veracidad del cambio climático a nivel global, adaptado del Informe del IPCC (2013).



División en tramos de las costas de Cuba

Para caracterizar los ecosistemas marino-costeros, las costas de Cuba se subdividieron en 15 tramos, de acuerdo con una división primaria en tres tipos principales (Iturralde-Vinent, 2013). En esta subdivisión se tuvo en cuenta la morfología actual desde el canto del veril hasta la zona emergida colindante con la línea costera, asumiendo que esta morfología es consecuencia de tres procesos:

- La elevación del nivel del mar desde la última época interglaciaria que comenzó hace 20 o 25 mil años.
- La aceleración de este proceso debido al calentamiento global, derivado de la emisión de gases de efecto invernadero desde hace unos 150 años, como consecuencia de la revolución industrial.
- Los factores de carácter local como los movimientos tectónicos y la modificación de los ecosistemas por el cambio del uso del suelo.

Por estas razones, la morfología y la salud actual de los ecosistemas costeros son indicadores de su respuesta a los factores mencionados y a

su capacidad de adaptación ante la elevación del nivel del mar. En consecuencia, el estado actual de las fajas costeras sirve como base para el diseño de modelos de pronóstico de su futuro comportamiento, pues uno de los factores que generan las transformaciones observadas es el cambio climático, el cual continuará provocando el incremento de la velocidad de elevación del nivel del mar en los lustros siguientes.

Tipos de tramos costeros

- Tramos costeros de sustrato rocoso con terrazas marinas emergidas.
- Tramo costero de sustrato rocoso con acantilados sin terrazas marinas.
- Tramos costeros de sustrato areno-limo-turboso parcialmente inundados.

De acuerdo con esta clasificación, las zonas costeras de Cuba se dividen en 15 tramos, cuya distribución se muestra en la Fig. 2.

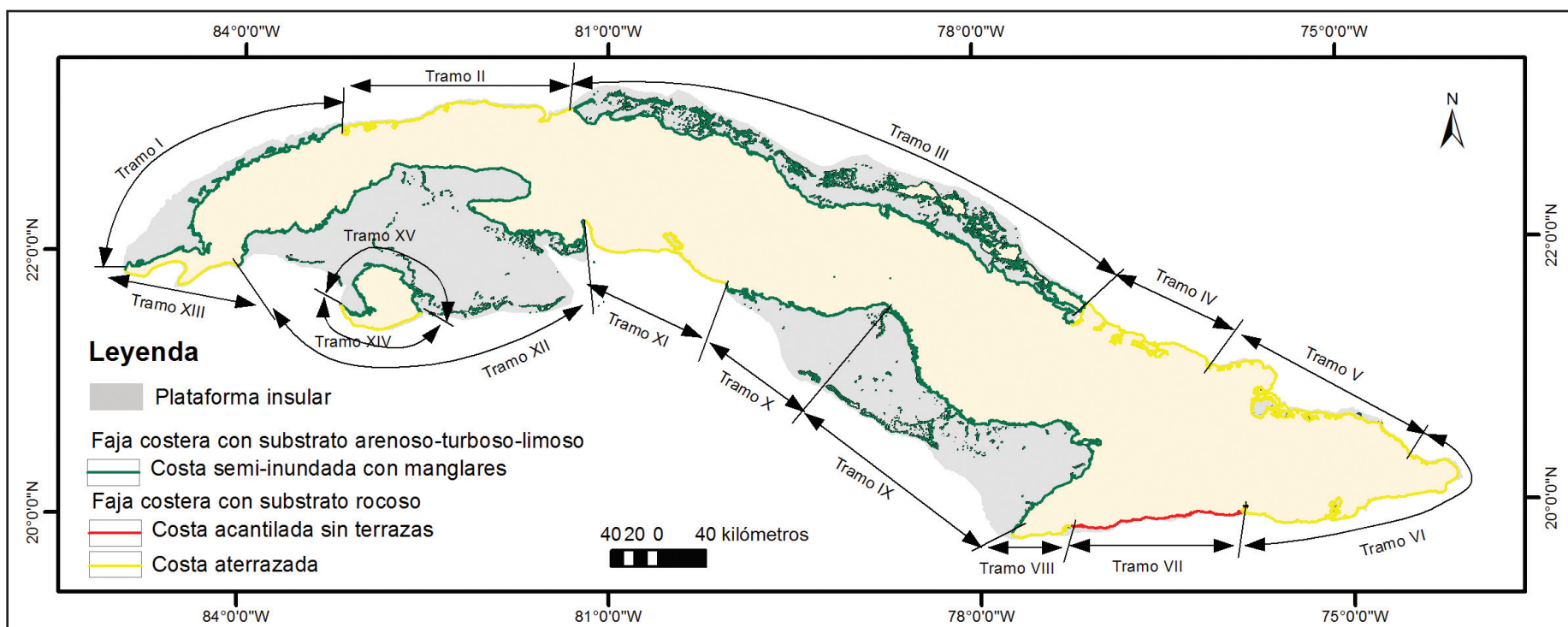


Fig. 2. Mapa de los tramos costeros (tomado de Iturralde-Vinent 2013).



Cada tramo incluye la plataforma y talud insular, los cayos y bajos asociados, las crestas coralinas, las llanuras de pastos marinos y los ecosistemas marino-costeros (manglares, humedales, playa-dunas y costas rocosas).

Tramos costeros de sustrato rocoso con terrazas marinas emergidas.

Son por lo general topográficamente “altos”, pues el límite entre el mar y la tierra está bien definido, ya que con frecuencia las rocas calizas del sustrato están expuestas, de modo que existe un paso brusco o escalón entre el nivel medio del mar y el terreno, con excepción de los segmentos de playa, estuarios y bahías (Figs. 2, 3). Sobre la primera terraza emergida hasta 2 m de altura, y sobre la segunda terraza hasta 5 m de altura se observan con frecuencia bloques de roca coralina expulsados por el mar (huracanolitos), que en la costa norte raramente alcanzan más de un metro cúbico, mientras que en la costa sur pueden llegar a 20 y más metros cúbicos. Estos son indicadores de la ocurrencia de eventos de oleaje extremo, con un máximo en Peñas Altas de Santiago de Cuba, donde se encuentra más de una veintena de

bloques grandes hasta 50 m de la costa. En esas costas hay ensenadas, bahías y caletas donde se presentan manglares y playas. En algunas de estas fajas costeras se observa la inundación permanente por el mar y el retroceso de la línea de costa.

Como se detallará posteriormente estos terrenos se pueden ver afectados en casos de penetraciones del mar por eventos hidrometeorológicos intensos, ya que en esos tramos la mayoría de los ecosistemas están distintamente deteriorados, de manera que no constituyen una buena protección para las fajas costeras.

Se puede pronosticar que en estos tramos es más probable que la ocupación por el mar y la transformación de los ecosistemas costeros, a causa de la elevación progresiva del nivel del mar hasta el año 2100, pueda alcanzar los terrenos situados hasta un metro de altura. Por eso se debe trazar una estrategia a corto y mediano plazo para trasladar o proteger las comunidades costeras situadas por debajo de dicha cota, las cuales estarán cada vez más amenazadas por el aumento de la salinidad de las aguas subterráneas y superficiales y por los eventos de oleaje extremo.

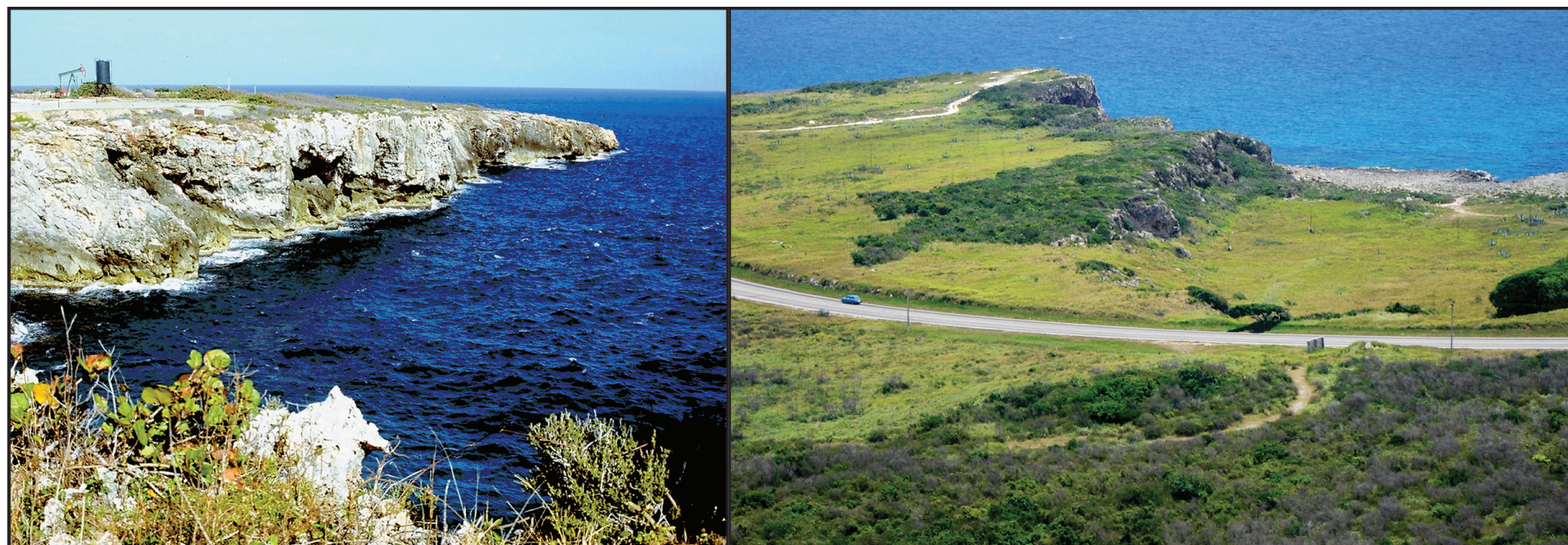


Fig. 3. Ejemplos de costas con terrazas marinas en el norte de Mayabeque.



Tramos costeros de substrato rocoso con acantilados sin terrazas marinas

El tramo costero (Fig. 2, tramo VII) al sur de la Sierra Maestra es topográficamente “alto”, pues están expuestas las rocas volcánicas y plutónicas del substrato, lo cual determina que el límite entre el mar y la tierra esté bien definido por un paso brusco o escalón entre el nivel medio del mar y el terreno (Fig. 4). Característico de esta costa es la existencia de caletas y ensenadas donde se pueden encontrar playas de poca extensión con arenas muy gruesas con guijarros y bloques redondeados, además de pequeños parches de mangle rojo situados, como regla, en la desembocadura de los ríos de montaña.

En este tramo la mayoría de los ecosistemas marino-costeros están deteriorados o la costa está desprotegida, de manera que está altamente expuesto al mar abierto. Sin embargo, de acuerdo con su morfología, las inundaciones costeras por eventos hidrometeorológicos extremos afectarán solo una estrecha faja de tipo pie de monte y sobre todo las costas con playas, caletas, estuarios y valles pluviales. Se puede pronosticar que hasta el año 2100 en ese tramo será poco significativa la ocupación del terreno por el mar, excepto las zonas bajas mencionadas. En esta costa existen pequeñas poblaciones e instalaciones turísticas que se pueden evacuar temporalmente, proteger, reubicar o dismantelar, según sea más conveniente; aunque a largo plazo se debe valorar su reubicación hacia locaciones más protegidas.



Fig. 4. Costa acantilada al sur de la Sierra Maestra.

Tramos costeros de substrato areno-limo-turboso parcialmente inundados.

En estos tramos (Fig. 2) la transición entre el mar propiamente dicho y la tierra “firme” ocurre a través de una amplia zona inundada, que aumenta durante la pleamar, de manera que en la transición tierra-mar se encuentran humedales, manglares e infinidad de cayos y lagunas, así como algunos sectores de playas (Fig. 5). Los terrenos costeros son por lo general arenosos, limosos y turbosos, poco resistentes a la erosión y la mayoría de los ecosistemas están distintamente deteriorados, de manera que no constituyen una buena protección para las fajas costeras, que son muy vulnerables a los eventos hidrometeorológicos extremos.

En algunos de estos tramos se observa el retroceso de la línea de costa tierra adentro, aunque a distintas velocidades, como se expondrá posteriormente. Por consiguiente, se puede pronosticar que en estas costas es muy probable que continúe avanzando la ocupación por el mar de los terrenos bajos y la consecuente transformación de los ecosistemas producto de la elevación progresiva del nivel del mar hasta el año 2100.

En estos tramos es prioritaria la protección de los ecosistemas naturales (corales, pastos marinos, playas, manglares y humedales), porque de su salud depende la sostenibilidad de las inversiones existentes en las áreas costeras. Se debe trazar una estrategia a corto y mediano plazo para trasladar o proteger las comunidades situadas por debajo de la cota 1 m, que estarán también amenazadas por eventos frecuentes de oleaje extremo y por el aumento de la salinidad de las aguas subterráneas y superficiales.



Fig. 5. Costa baja con manglares y laguna litoral, norte de Ciego de Ávila.

El nivel del mar se ha venido elevando desde hace miles de años como resultado del calentamiento posglacial, la expansión térmica de los océanos, el derretimiento de los glaciares, y de los hielos y las nieves polares (Fig. 6). A estos cambios del nivel del mar se les denomina “eustáticos”, los que se han acelerado en los últimos lustros como consecuencia del cambio climático. Para poder preparar una respuesta adecuada a este peligroso proceso, que viene provocando la inundación progresiva de las zonas costeras de todo el mundo, los especialistas del Panel Internacional para el Cambio Climático elaboraron varios escenarios pronósticos del comportamiento del ascenso progresivo del nivel medio del mar hasta el 2050 y el 2100 (IPCC, 2007, 2012, 2013).

A los efectos del Macroproyecto, para los cálculos de la inundación en las zonas costeras se adoptaron los valores de incremento eustático del nivel del mar de 27 cm para el 2050 y de 85 cm para el 2100, correspondientes a una sensibilidad climática alta dentro del escenario A1C (IPCC 2007). Estas cifras se basaron en los escenarios alternativos propuestos para los años 2030, 2050, 2070, 2100 por el IPCC como se aprecia en la tabla 1 (Salas et al. 2006). Teniendo en cuenta la sensibilidad climática alta dentro del escenario A1C se elaboraron los mapas del Anexo 1.

Es necesario subrayar que los pronósticos del IPCC son una estimación de la tendencia del nivel medio del mar global o regional, que no refleja las verdaderas condiciones locales en cada tramo de costa, ya que localmente operan procesos con distinta intensidad y consecuencias. Por ejemplo: la variabilidad estacional de las corrientes marinas, la dinámica de la marea astronómica —principalmente de sus componentes diurna y semidiurna—,

Tabla 1. Proyecciones del ascenso del nivel medio del mar debido al cambio climático para el archipiélago cubano según Salas et al. (2006). Se muestran en negrita los valores adoptados por el Macroproyecto; T- incremento de la temperatura global en grados Celsius; nivel del mar en centímetros

Escenarios según el IPCC 2007	Sensibilidad climática según IPCC 2007	Proyecciones de la posición del nivel medio del mar en Cuba (cm)			
		Año 2030	Año 2050	Año 2070	Año 2100
A1C	Baja (T 1.5°)	4	8	14	22
	Media (T 2.6°)	9	17	30	49
	Alta (T 4.2°)	15	27	48	85
B2	Baja (T 1.5°)	4	7	10	15
	Media (T 2.6°)	10	16	13	35
	Alta (T 4.2°)	15	26	40	62

las anomalías intraestacionales del nivel del mar y los desplazamientos verticales del terreno (tectónicos). Estos eventos y procesos pueden acelerar o frenar la elevación del nivel del mar en un tramo costero y, lo más importante, ellos regulan el desplazamiento de la línea de costa.

Para determinar la altura del nivel del mar se utilizan los mareógrafos que están instalados y georeferenciados en las zonas costeras, los cuales dan la posibilidad de analizar y calcular la tendencia del nivel medio del mar relativo (Pugh 1996). Estos equipos miden la diferencia entre los cambios eustáticos del nivel medio del mar y los cambios de la altura del terreno donde están instalados; los cambios de la altura del terreno dependen de los movimientos tectónicos (locales). Sin embargo, debido a que no se dispone de suficientes datos sobre los movimientos del terreno en cada tramo de costa cubana, ni estos datos tienen la misma precisión que los datos de los mareógrafos, no se puede calcular la elevación eustática del nivel del mar con los mareógrafos cubanos.

Es obvio que para que el escenario de inundación costera se pueda pronosticar correctamente, se debería conocer la velocidad y sentido de los movimientos del terreno por causas geológicas, pues algunas costas de Cuba se están levantando, mientras otras están descendiendo, con una tasa anual que puede alcanzar la decena de mm (Díaz et al., 2011). En los tramos costeros donde el terreno se está levantando, el avance del mar tierra adentro se desacelera. Por el contrario, si el terreno está descendiendo, se incrementa la velocidad de avance del mar hacia el interior de las zonas costeras bajas. No obstante, es necesario continuar realizando estas mediciones durante algunos años más antes de utilizar esos datos, ya que la información disponible en este momento tiene que precisarse más.

Otro efecto local sobre la posición del nivel del mar está vinculado a las

Ocupación de las fajas costeras por el ascenso del nivel del mar

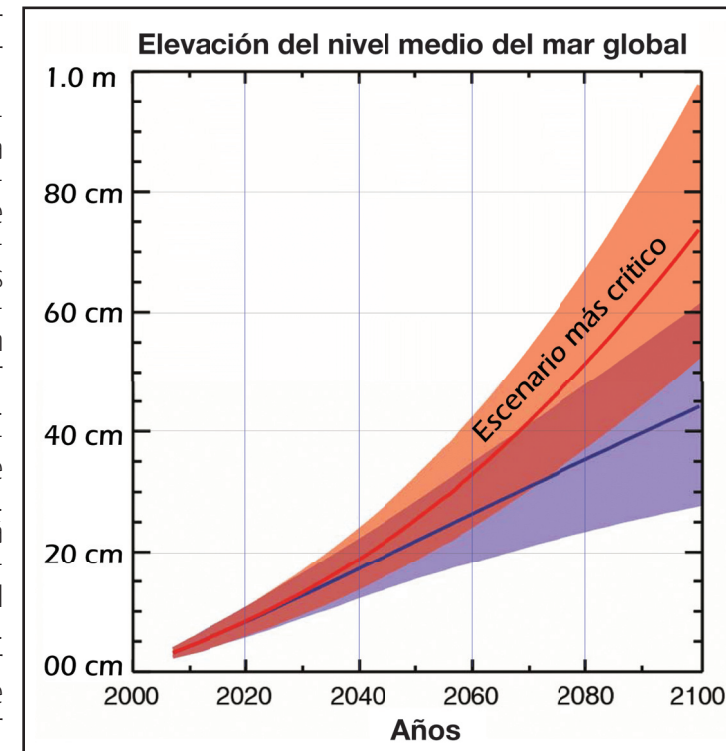


Fig. 6. Pronósticos de la elevación eustática del nivel del mar como consecuencia del calentamiento global donde se denota el nivel de incertidumbre de estos modelos. Sin embargo, su extremo más crítico indica que el ascenso alcance 1 m hasta el 2100. Adaptado del IPCC (2013).

corrientes marinas, ya que la altura del nivel medio del mar varía en función de la intensidad de las corrientes, que aumenta en el hemisferio norte hacia la costa situada a la derecha del flujo y disminuye hacia la izquierda. A estas variaciones del nivel del mar se añaden las oscilaciones de las mareas, que durante algunas horas del día (marea alta astronómica) incrementan el nivel del mar, principalmente durante las lunas llena y nueva, dando lugar a que los terrenos bajos se afecten más por las aguas salinas, a veces acompañado de oleaje. En las costas cubanas, al igual que en otras localidades y regiones del planeta, también se han registrado anomalías intraestacionales relacionadas a veces con procesos vinculados a la variabilidad del clima como “El Niño, Oscilación del Sur (ENOS)”, que en Cuba pueden alcanzar casi 40 cm por encima del nivel medio del mar (Blázquez, 1989; Hernández-González y Marzo, 2009).

Las corrientes generadas por el flujo y reflujo de las mareas constituyen otro agente muy agresivo, que contribuye a la transformación del relieve costero, con gran impacto en los ecosistemas, pues excavan canales y movilizan detritos hacia el mar; al tiempo que provocan la salinización de las aguas y suelos tierra adentro. Cuando los ecosistemas costeros no están estabilizados, estos procesos alteran su funcionamiento y se afectan su salud.

Una información fidedigna sobre el comportamiento del nivel del mar en las costas se obtiene de los registros mareográficos, aunque son válidos solo para el entorno de cada estación. Este registro permite conocer la posición relativa del nivel del mar en cada momento con respecto al terreno donde está ubicado.

En Cuba se cuenta con una red de estaciones mareográficas ubicadas en distintas localidades de la costa norte y sur (Fig. 7), con la



Fig. 7. Estaciones mareográficas de Cuba con registro de observaciones mayor de 10 años.



limitación de que el período de observación más largo es de 40 años (Estación Siboney en La Habana y La Isabela en Villa Clara). Por eso las posibilidades de realizar cálculos confiables sobre la posición que alcanzará el nivel del mar hasta el año 2100, basándose en estos datos, está limitada por los cortos períodos de observaciones.

Al analizar los registros históricos (Hernández-González et al. 2010) se constata que el levantamiento del nivel medio del mar relativo a la costa se ha estado manifestando de modo singular en cada estación (Tabla 2), desde una tendencia al descenso de -1.95 mm/año (en la bahía de Santiago de Cuba), hasta una tendencia al ascenso de 2.14 mm/año (en la costa de La Habana). Estos resultados, obtenidos a partir de valores medios anuales del nivel del mar, excluyen los picos (valores extremos) provocados por los eventos hidrometeorológicos (mar de leva, marejadas, mareas extremas), pues son de corta duración.

Al comparar estas cifras con la velocidad de ascenso eustático del nivel medio del mar en el hemisferio norte, medida por satélites (2.4 ± 0.4 y 3.2 ± 0.4 mm/año), es notable que están por encima del intervalo de valores calculados en Cuba, lo que evidencia cómo los factores locales determinan la posición del nivel del mar.

Los valores medios anuales del nivel del mar en Cuba se muestran en la figura 8, de acuerdo con el registro de los mareógrafos. Se aprecia

que en algunos años, el nivel medio anual ha alcanzado valores más altos que en otros, lo cual provoca mayor inundación en las zonas bajas costeras, probablemente debido al factor ENOS.

El hecho de que en algunas estaciones cubanas el nivel medio del mar, de acuerdo con los datos históricos, prácticamente no haya ascendido en las últimas décadas o por el contrario, haya descendido, sugiere que los movimientos del terreno y otros factores locales, de algún modo, están regulando el grado de inundación por el ascenso del nivel del mar.

Para alcanzar un pronóstico más acertado de la subida máxima del nivel del mar en cada tramo de costa se deben tener en cuenta las oscilaciones del nivel del mar debidas a las mareas, incluyendo el valor máximo de la marea diaria (marea astronómica) y de la oscilación debida al ciclo anual (anomalías intraestacionales). La oscilación diaria de la marea astronómica alcanza hasta 25, 50 y 80 cm en distintos sectores

Tabla 2. Tasa de elevación relativa del nmm calculado a partir de los registros de cada mareógrafo, ordenadas de mayor a menor y de positivo a negativo

Estaciones	Latitud N	Longitud W	Intervalo de tiempo registrado	Tasa de elevación del nmm (mm)
Siboney	23° 05,6'	82° 28,2'	1966-2005	2.14
Cabo Cruz	19° 50,4'	77° 43,7'	1993-2013	1.71
Guantánamo	19° 09,0'	75° 15,0'	1937-1971	1.64
Gibara	21° 06,5'	76° 07,5'	1976-2013	1.63
Puerto Padre	21° 12,1'	76° 36,0'	2002-2010	1.44
Bufadero	21° 33,6'	77° 14,2'	1992-2013	1.23
Punta de Prácticos	21° 36,2'	77° 05,9'	1992-2013	1.00
Los Morros	21° 54,0'	84° 54,4'	1973-2013	0.52
La Isabela	22° 56,4'	80° 00,8'	1973-2013	0.50
Casilda	21° 45,2'	79° 59,5'	1972-1995	0.05
Cayo Loco	22° 09,1'	80° 27,3'	1992-2013	-0.21
La Coloma	22° 14,2'	83° 34,3'	1991-2001	-1.21
Santiago de Cuba	19° 59,1'	75° 52,5'	1993-2013	-1.95

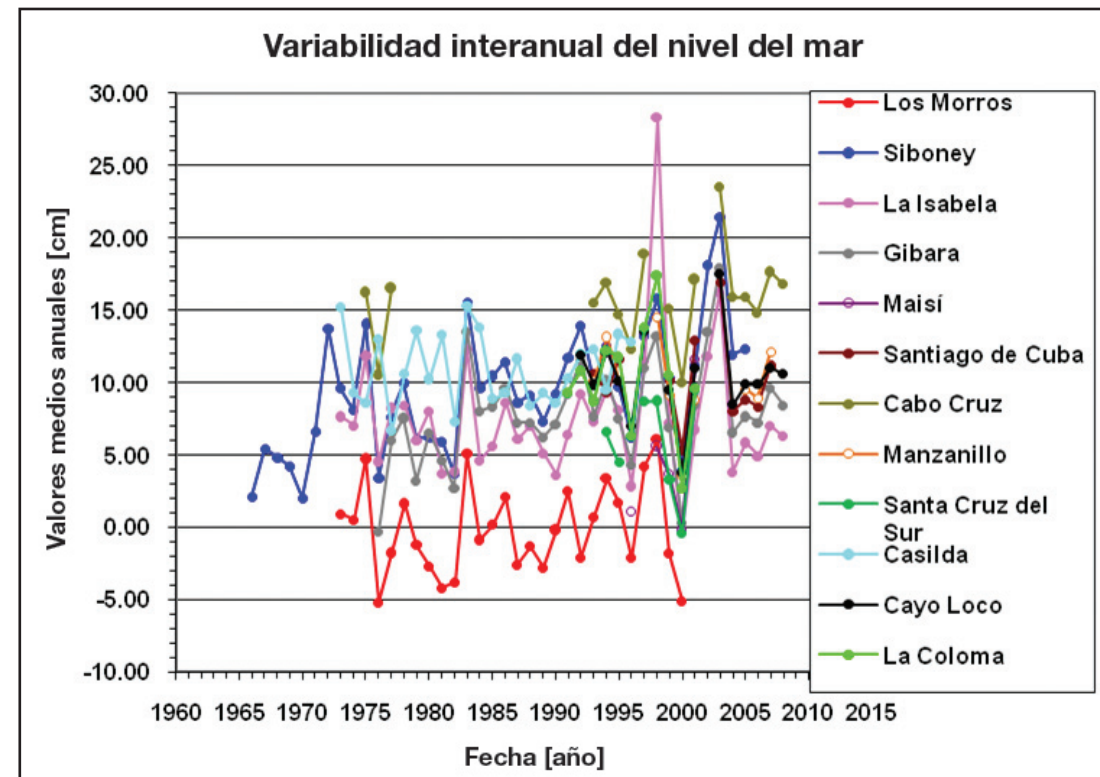


Fig. 8. Gráfico del valor promedio anual de la posición del nivel del mar, según los registros mareográficos.



costeros de Cuba; mientras que las anomalías intraestacionales han alcanzado picos históricos de elevación desde 15 cm hasta 37 cm, que se pueden mantener así durante varios meses y hasta un año.

En la figura 9 se observa el ciclo anual del nivel medio del mar, de acuerdo con los registros mareográficos, que entre los meses de junio a noviembre se mantiene en una posición más elevada (anomalía estacional) y más baja entre los meses de diciembre a mayo, aunque este comportamiento es diferente en cada estación mareográfica y puede superar los 10 cm de diferencia.

Por eso, un estimado adecuado del nivel máximo que puede alcanzar el nivel del mar hasta el 2100 en cada tramo costero, debe tener en cuenta el efecto combinado (suma algebraica) de tres variables, a saber:

- La proyección de la elevación del nivel medio del mar basada en la tasa histórica (Tabla 2);
- El máximo histórico de la marea astronómica;
- El máximo histórico de las anomalías intraestacionales.

En algunos tramos costeros los valores proyectados de elevación del nivel del mar hasta el 2100, obtenidos mediante los cálculos mareográficos, superan los valores recomendados para Cuba por Salas et al. (2006), ya que estos últimos no tienen en cuenta los efectos locales antes expresados ni los máximos históricos (comparar los Anexos 1 y 2).

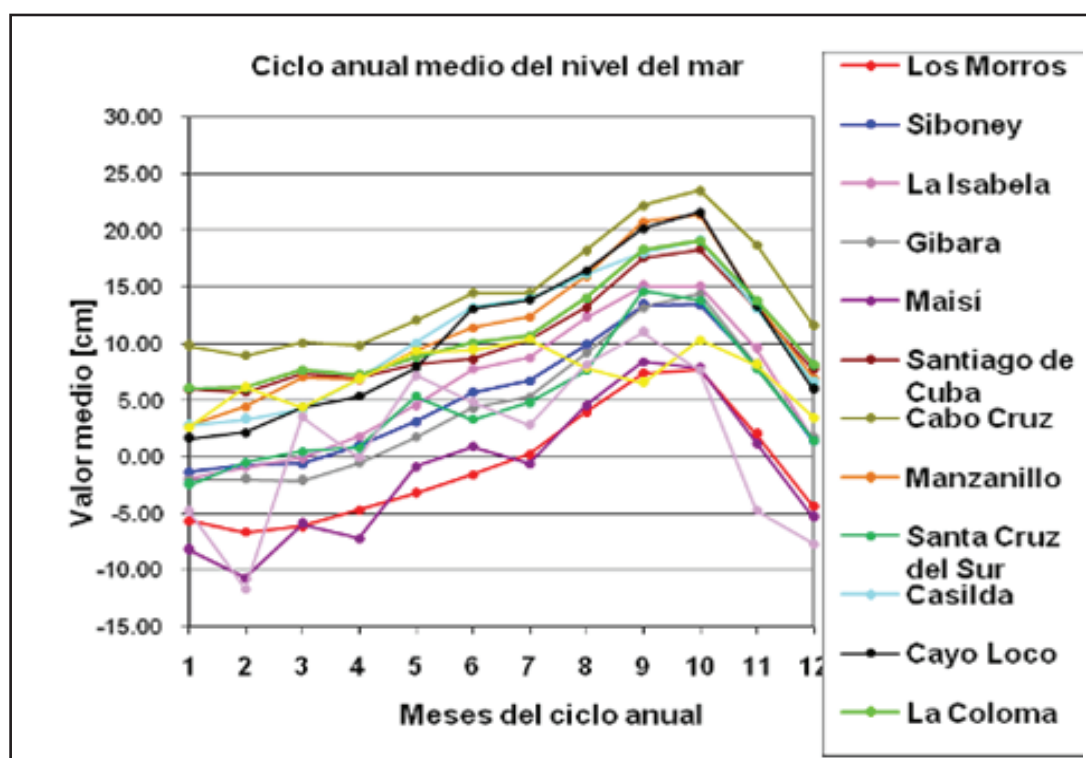


Fig. 9. Gráfico de la posición promedio mensual del nivel del mar registrado por los mareógrafos donde se evidencia el ciclo anual de la marea.



En este apartado se ofrece una caracterización general de los ecosistemas de la plataforma insular y las costas de Cuba, así como una valoración de su estado de preservación, según los resultados de las investigaciones realizadas por el Macroproyecto, con recomendaciones para su protección y restablecimiento siempre que sea posible. Solo la protección de estos ecosistemas permitirá frenar los procesos negativos derivados del cambio climático y la actividad humana, contenido que se expone ampliamente en esta obra.

Crestas coralinas

El archipiélago cubano está orlado por extensas crestas coralinas que constituyen uno de los ecosistemas más importantes para la protección de la plataforma insular y las costas. Al valorar el proceso de afectación de las crestas y su posible desarrollo futuro se debe tener en cuenta, para elaborar los pronósticos, que la tendencia actual del calentamiento del mar se mantenga y ocurra la acidificación del agua. En este escenario general, es presumible que las crestas coralinas puedan sufrir la disminución de la densidad del cubrimiento del fondo por corales, de manera que con el tiempo la cresta dejaría de ser un arrecife para convertirse en un fondo colonizado por corales de pequeño tamaño, resistentes a las condiciones imperantes, pero con limitada efectividad como disipadores del oleaje. En esas condiciones habría cesado el proceso de acreción arrecifal, mientras la erosión provocada por el oleaje y las aguas cargadas de sedimentos, además de la bioerosión y la posible disolución del carbonato del fondo por el aumento de la acidificación del agua, conducirían al aplanamiento y desaparición del camellón remanente de la antigua cresta. Estos procesos llevarían a la transformación de las crestas actuales, que se convertirían en un fondo rocoso aplanado con corales dispersos y de escasa altura, y se perdería la protección contra el oleaje de las costas, así como la función de refugio de fauna marina que representan las colonias coralinas (Fig. 10).

Para caracterizar el deterioro de las crestas coralinas se estableció una clasificación de cinco grados (Tabla 3) sobre la base de aspectos que se pueden determinar a simple vista, la cual es utilizada por los miembros profesionales y voluntarios de la Red de Monitoreo de Alerta Temprana de Arrecifes Coralinos de Cuba.

La figura 11 muestra el grado de deterioro de las crestas cubanas, con una tabla que indica el porcentaje de las crestas con diferentes grados de deterioro, según observaciones hasta octubre de 2012.

Las fuentes de información incluyen publicaciones, datos de archivo y de proyectos, consultas a especialistas y reportes de la Red de Monitoreo Voluntario de Alerta Temprana de Arrecifes Coralinos de Cuba. Las marcas

indican la posición aproximada de los sitios de observación que, dadas las dimensiones del mapa, puede abarcar varias crestas cercanas.

Recomendaciones para proteger las crestas coralinas y reducir su vulnerabilidad al cambio climático

Aunque los efectos del cambio climático son muy difíciles de eliminar a nivel local, un comportamiento adecuado puede reducir la vulnerabilidad de los arrecifes y extender su vida. Algunas recomendaciones en este sentido son:

- Protección de los peces loros y otros peces herbívoros de los arrecifes.
- Recuperación de las poblaciones de peces carnívoros de los arrecifes.
- Control de la pesca furtiva en arrecifes y de las artes pesqueras destructivas prohibidas por la ley (tranques y chinchorros de arrastre de fondo).



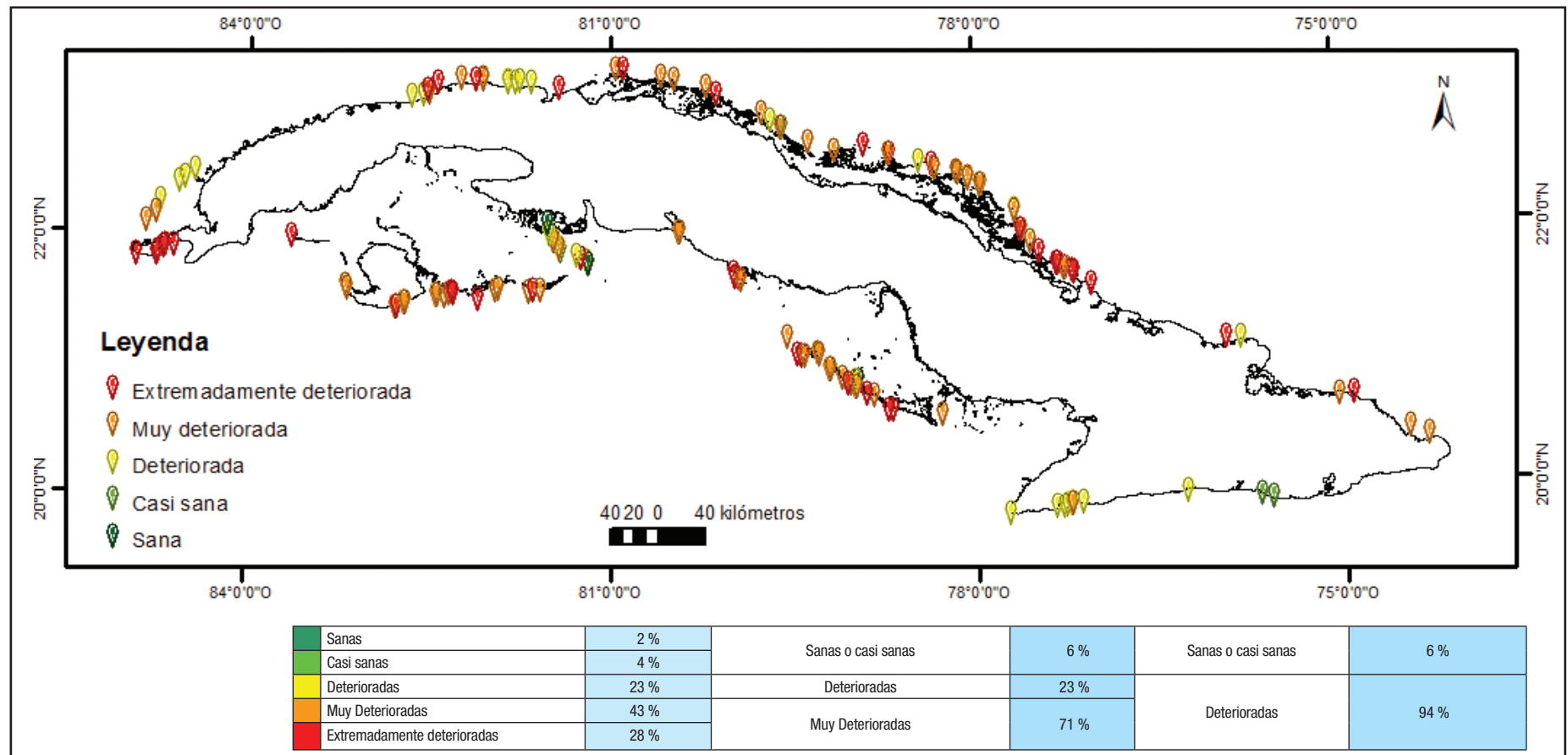
Fig. 10. Los arrecifes coralinos son un ecosistema rico en biodiversidad y en particular, una importante defensa de las costas contra el oleaje. Su desaparición o aplanamiento implica un incremento de la vulnerabilidad de las zonas costeras. Cresta al norte de Ciego de Ávila donde se disipa el oleaje (Foto aérea mirando al SE del mar hacia la tierra).

Caracterización general de los ecosistemas marino-costeros



Tabla 3. Escala semicuantitativa del deterioro de las crestas. Los colores en la primera columna se corresponden con los del mapa esquemático (Fig. 11)

Grado de deterioro	Condición visual
1 Sana	Cresta tupida con cubrimiento coralino mayor del 45 % con gran predominio de acropóridos (corales orejones o de tarritos). Las ramas de los corales casi se tocan o entrelazan. Casi todos los corales están saludables
2 Casi sana	Cresta no tupida, pero con corales abundantes y cubrimiento del 41 % al 45 %. Dominan los acropóridos, pero las ramas no se tocan ni entrelazan. Se observan evidencias de daños, por ejemplo, corales muertos en pie o cierta abundancia de fragmentos de coral orejón
3 Deteriorada	Cresta con corales vivos pero más bien dispersos y cubrimiento del 25 % al 40 %, con algunos acropóridos, aunque dominan el coral de fuego (<i>Millepora</i>) u otros. Se observan claras evidencias de daños como corales muertos en pie o fragmentos de corales en el fondo
4 Muy deteriorada	Quedan pocos corales, para un cubrimiento del 11 % al 24 %. Se observan orejones, casi todos muertos, aunque todavía en pie. El fondo puede presentar un relieve muy bajo o casi aplanado, como si ya no se tratara de una cresta. En este último caso se le denomina cresta aplanada
5 Extremadamente deteriorada	Casi no quedan corales, pues el cubrimiento de coral es menor del 10 %. Se observan algunos orejones, casi todos muertos, aunque aun en pie. El relieve del fondo marino es bajo, prácticamente aplanado

**Fig. 11.** Mapa esquemático y porcentaje del grado de deterioro de las crestas arrecifales de Cuba.



- Control de la contaminación de las aguas y de la erosión costera, y en las cuencas interiores para reducir el traslado de sedimentos hacia los arrecifes.
- Llevar a cabo un buceo turístico responsable con la carga de visitantes adecuada.
- Prohibir la extracción de corales, salvo los estrictamente autorizados para obtener hidroxiapatita con fines medicinales.
- Mantener el monitoreo de los arrecifes.

Pastos marinos

Los pastos marinos son extensiones cubiertas por plantas marinas (angiospermas o plantas con flores) semejantes a hierbazales, que crecen sobre fondos con sedimentos no consolidados, arenosos o limosos, los cuales ocupan un 50 % de la plataforma insular cubana (Fig. 12). Las especies principales de angiospermas marinas de Cuba, según su abundancia y cobertura, se encuentran de mayor a menor tamaño: *Thalassia testudinum* (conocida como seiba), *Syringodium filiforme* y *Halodule wrightii*. Se pueden encontrar otras tres especies de menores dimensiones y limitada abundancia: *Halophila decipiens*, *H. engelmanni* y *Ruppia maritima*.

Beneficios de los pastos

En el pasado el hombre empleaba los pastos marinos como suplemento dietético; también para alimentar a los animales, construir techos, paredes y diques; para elaborar papel, empaques y otros enseres; para el filtrado de aguas residuales; en el mejoramiento de los suelos para cultivos; o para usos ceremoniales y religiosos. En la actualidad se valora más su importancia por los servicios y beneficios que prestan, ya que:

- Favorecen la productividad y la diversidad biológica por la alta tasa de producción primaria del ecosistema, de modo que sustentan la trama trófica (cadena alimentaria) y, en consecuencia, la mayor parte de la pesquería en la plataforma marina cubana. Sirven como refugio, zonas de cría y alimentación para especies como la langosta espinosa (*Panulirus argus*), el molusco cobo (*Strombus gigas*) y el manatí (*Trichechus manatus*).
- Mejoran la calidad del medio marino al amortiguar la energía del oleaje y retener partículas suspendidas en el agua, además de su transparencia. Al absorber los nutrientes del agua y los sedimentos, actúan como filtros.
- Favorecen la estabilización de los sedimentos y reducen su suspensión, protegiendo a las costas contra la erosión y a los arrecifes coralinos contra la sedimentación. La acumulación de hojas en las playas

disipa la energía de las olas y retiene los sedimentos. Son fuente de arena, a partir de los esqueletos carbonatados de los organismos que viven entre los pastos (moluscos, algas, equinodermos) o sobre sus hojas (foraminíferos).

- Se ha comprobado su potencialidad como productoras de sustancias bioactivas, con aplicación en las industrias farmacéutica y de cosméticos, entre otras.
- Participan en la regulación del clima debido a su producción de oxígeno y a su capacidad de capturar el dióxido de carbono disuelto en el agua, y actúan como sumideros de carbono. Se ha calculado que los pastos marinos son capaces de inmovilizar más carbono en los sedimentos, por unidad de área, que un bosque en buen estado. Por ello se recomienda incluir a los pastos marinos en los planes de adaptación y de mitigación del cambio climático.

Factores que los afectan

Hay fenómenos naturales que pueden impactar severamente la salud de los pastos marinos como la erosión durante eventos extremos (tormentas o marejadas); la reducción de la luminosidad del agua; quedar sepultados por sedimentos provenientes de la tierra emergida; y los cambios bruscos de salinidad. Los pastizales también se afectan por la presencia de otros organismos que compiten por los recursos, por las enfermedades y por el incremento del consumo de este pasto. Sin embargo, las mayores pérdidas de pastos marinos en el mundo se derivan de la actividad humana, entre las que se destacan:

Eutrofización: por la descarga excesiva de nutrientes (sobre todo nitrógeno y fósforo) en las aguas albañales, en la industria y en los fertilizantes agrícolas. El incremento de nutrientes en la columna de agua favorece el desarrollo del plancton y de algas oportunistas de crecimiento rápido que obstruyen el paso de la luz hasta las plantas.

Contaminación química: contaminación de los mares por sustancias o elementos tóxicos para las plantas y los animales como metales pesados, hidrocarburos y herbicidas.

Sedimentación: algunas construcciones costeras, los dragados y la deforestación, tanto en la costa como en la ribera de los ríos, provoca el aumento de la erosión y del transporte de sedimentos hasta el mar, lo que impide la llegada de la luz o produce el enterramiento de los pastos.

Daños mecánicos: se producen por artes de pesca que accionan contra el fondo como el chinchorro de arrastre (prohibido en la plataforma cubana por la resolución 503/12 del Ministerio de la Industria Alimentaria), las anclas y los dragados, así como la turbulencia generada por embar-



caciones de motor en zonas turísticas o de mucho tráfico marino.

Cambios hidrológicos: algunas construcciones costeras (edificios, viaductos, dragados y diques) producen cambios en la hidrodinámica marina, lo que causa la muerte de los pastos.

Especies exóticas: la introducción de especies exóticas ha provocado la disminución de los pastos marinos en diversas regiones del mundo como por ejemplo el alga tropical (*Caulerpa taxifolia*), que ha desplazado a las angiospermas en amplias zonas del Mar Mediterráneo. Recientemente se ha observado una especie de angiosperma del Océano Índico (*Halophila stipulacea*), que está desplazando a las especies nativas en el Caribe oriental, la cual pudiera aparecer en el futuro en la plataforma insular cubana.

Cambio climático: las observaciones de la salud de los pastos marinos durante largos períodos de tiempo son escasas y por ello, los efectos del cambio climático no están bien documentados, lo cual se complica por el impacto directo de la actividad humana. No obstante, existen

algunos pronósticos sobre la posible degradación de los pastos marinos como consecuencia del cambio climático:

- ◆ El incremento de la temperatura superficial del mar aumenta la tasa de respiración, por lo que se generarán eventos de hipoxia (falta de oxígeno) en los fondos, cambios en la distribución de las especies a escala global y mortalidad de organismos, con cambios significativos en la trama trófica a nivel de ecosistema. Estos efectos serán más intensos en los cuerpos de agua someros con poco intercambio con el océano.
- ◆ El ascenso del nivel medio del mar producirá cambios en la erosión y distribución de los sedimentos, y en consecuencia, la reducción en la disponibilidad de la luz en los fondos, lo que provocará mortalidad en los pastos de las áreas más cercanas a la costa y de las zonas profundas. Estos efectos serán más fuertes en las costas donde haya pérdida del frente de mangle rojo.
- ◆ La intensificación y mayor frecuencia de los eventos de oleaje extremo (asociados a ciclones tropicales y tormentas severas), provocan que se desprendan las plantas o se cubran con sedimentos. También las lluvias intensas pueden ocasionar mortalidad por cambios bruscos de salinidad, arrastre de sedimentos hacia el mar y largos períodos de turbidez del agua. Estos impactos serán mayores en zonas amplias de la plataforma (golfs de Batabanó, Ana María y Guacanayabo), cuyos fondos están afectados por el oleaje, así como las áreas cercanas a la desembocadura de ríos (Fig. 13).

Medidas para proteger los pastos marinos

Existen medidas destinadas a conservar la biodiversidad marina a escala local mediante un manejo adecuado, vinculadas al control y disminución de las acciones que estén afectando los pastos, para así facilitar su adaptación natural al cambio climático. Las principales acciones que se deben tener en cuenta para ello son:

- Reducir al mínimo posible los factores de origen humano (antrópico) que provoquen impactos de forma directa o indirecta sobre los pastos marinos. En especial, evitar el vertimiento de contaminantes y residuos al medio marino; tratar los residuales líquidos de cualquier origen antes de verterlos al mar; gestionar adecuadamente los residuos sólidos para evitar que lleguen al medio marino; evitar la deforestación en manglares y vegetación ribereña y reforestar si ya están afectados; evitar los daños físicos con el empleo de artes de pesca que no alteren el medio; definir puntos de amarre en lugares

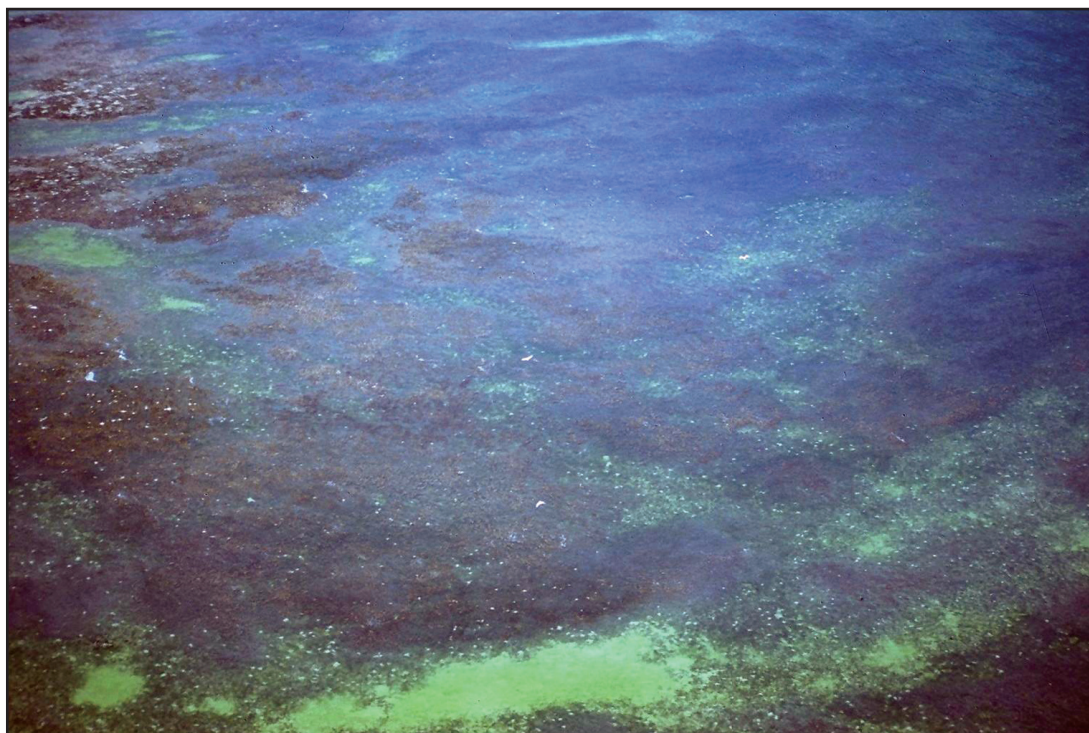


Fig. 12. Foto aérea del fondo de la plataforma insular cubana con abundante vegetación de pasto marino.



con gran afluencia de embarcaciones; no arrancar los pastos marinos en áreas turísticas; y evitar el uso excesivo de vehículos marinos de motor en zonas bajas donde existan corales.

- Incluir este ecosistema en las estrategias y acciones para el enfrentamiento y adaptación al cambio climático, además de la educación y concientización sobre la importancia de los pastos marinos.
- Incorporar los pastos marinos a las evaluaciones de impacto ambiental, tanto de las inversiones existentes como de las nuevas, y en los planes estratégicos de desarrollo.
- Mantener de manera sistemática el monitoreo de los pastos marinos con fines de diagnóstico y manejo, y evaluar su estado de conservación hacia las áreas no estudiadas.
- Fortalecer las capacidades técnicas y científicas del país para investigar, monitorear, manejar y rehabilitar los pastos marinos.
- Continuar las investigaciones dirigidas al efecto del cambio climático sobre los organismos marinos.
- Mantener e incrementar las áreas marinas protegidas con pastos marinos.
- Posibilidad de reforestar los fondos marinos.

En los países desarrollados se han probado diferentes métodos para sembrar pastos marinos en zonas afectadas, pero es muy costoso y el porcentaje de éxito es bajo. Además, porque el éxito depende, ante todo, de eliminar las causas que vienen ocasionado su mortalidad. En Cuba, hasta el momento no se ha realizado ninguna acción al respecto, aunque sería útil ensayar algunas de las técnicas empleadas en otros países.

Playas arenosas

Las playas arenosas son elementos muy importantes de las costas cubanas, pues hay cientos de ellas, algunas de gran extensión, las cuales disipan la energía del oleaje y protegen las costas; pero sobre todo, constituyen lugares privilegiados para la recreación y el turismo.

En Cuba se reconocen playas cuyas arenas son de composición biógena, es decir, con predominio de granos calcáreos representados por fragmentos o elementos enteros de invertebrados microscópicos (foraminíferos, briozoos, alcionarios, entre otros), algas calcáreas y moluscos, esponjas, erizos y corales. También hay playas denominadas terrígenas, con granos detríticos derivados de la erosión de rocas preexistentes, acarreados hacia la costa por los ríos o las lluvias torrenciales. Algunas playas tienen arenas constituidas por una mezcla de granos terrígenos y biógenos. También se distinguen playas interiores y exteriores, de acuerdo con su posición en la costa. Las

playas interiores son aquellas situadas en las costas de la isla mayor, protegidas de la acción directa del mar abierto por extensas plataformas, barreras coralinas, cayos e islotes. Las playas exteriores están más expuestas al mar abierto; se localizan en cayos de la periferia de las plataformas, o donde la plataforma insular es muy estrecha o no existe, aunque algunas pueden estar parcialmente protegidas por barreras coralinas o cayos de pequeñas dimensiones.

Las playas cubanas en su gran mayoría muestran indicios de erosión moderada, un número importante tienen erosión intensa, y unas pocas ya están totalmente destruidas, aunque una minoría apenas presenta afectaciones. Las causas dominantes de la erosión de las playas cubanas son naturales (sin la intervención directa del hombre), pero esta situación se refuerza donde se han realizado construcciones o modificaciones del sistema playa-duna; ya sea por extracción de arena, construcción sobre la playa o la duna, siembra de árboles que alteran la dinámica costera, construcción de espigones y otros tipos de barreras que desvían o limitan la libre circulación de las corrientes marinas.

Según el grado de erosión, las playas se clasifican con “erosión intensa”, cuando el escarpe activo ha sufrido un retroceso mayor de 1.2 m por año y con “erosión moderada”, cuando el escarpe ha retrocedido menos de 1.2 m por año.

Hasta el 2013 se han clasificado 413 playas en todo el territorio, de las cuales 243 se han estudiado y tienen información técnica. De estas últimas,



Fig. 13. Erosión y depósito de desechos en la boca del río Almendares, La Habana.



204 (84 %) tienen algún indicio de erosión y solo 39 (16 %) no tienen indicio de erosión. Las observaciones sucesivas determinaron que 18 playas presentan erosión intensa y 186 erosión moderada, lo que constituye un escenario preocupante respecto a su futuro.

Para prolongar el ciclo de vida de las playas se deberá velar por el estricto cumplimiento del Decreto Ley 212, y de manera especial, atender a la correcta localización de las nuevas inversiones turísticas y poblacionales, para no alterar su perfil dinámico.

Pronóstico del desarrollo de las costas arenosas

En el futuro, como consecuencia de la elevación del nivel medio del mar, las afectaciones de las crestas coralinas y la pérdida de algunos pastos marinos, es muy probable que continúe el deterioro de las playas arenosas, lo que incluye la desaparición de algunas de ellas.



Fig. 14. Edificaciones destruidas por el oleaje, por haberse construido sobre la duna (Varadero).

Las playas más vulnerables son:

1. Aquellas donde está ocurriendo la erosión de las dunas (actuales y antiguas).
2. Las que están colocadas sobre costas donde el relieve terrestre no les permite migrar y trasladarse tierra adentro.
3. Aquellas donde existen construcciones (casas, hoteles, caminos, embarcaderos, etc.) sobre la duna o la berma y en general cerca del mar. Las afectaciones en este último caso incidirán sobre la playa, la duna, y en las propias instalaciones, que pueden terminar totalmente destruidas (Fig. 14).

Los estudios realizados hasta el presente permiten establecer cinco tipos de perfiles de playa y su posible respuesta ante la elevación del nivel del mar:

- Playa con duna activa,
- Playa con duna poco desarrollada,
- Playa apoyada a la terraza acantilada,
- Playa apoyada a una duna fósil (duna antigua inactiva),
- Playa frontal de terraza fluvial.

Cada uno de estos tipos de playa presenta un comportamiento singular ante la elevación progresiva del nivel del mar. A continuación se caracterizan brevemente:

Playa con duna activa: este tipo de perfil es común en la costa de Playas del Este, en La Habana, en algunas de Varadero, y es más frecuente en los cayos del norte y del sur de la isla. Para protegerlas es importante lograr la estabilización de la duna mediante la siembra de la vegetación apropiada. En estas costas la arena es movida por el viento tierra adentro y eventualmente el sistema playa-duna puede migrar en esa misma dirección, siempre que el relieve lo permita.

Playa con duna poco desarrollada: este tipo de perfil es frecuente en las costas de Cuba y presentan a menudo una laguna costera detrás de la duna. En estas playas es un fenómeno generalizado el traspaso de arena hacia detrás de las dunas, debido a la ocurrencia de eventos de oleaje extremo, lo que puede dar lugar al relleno de la laguna y la transformación del bosque de mangle. Estas playas, con la elevación del nivel del mar, pudieran migrar tierra adentro, siempre que el relieve se los permita.

Playa apoyada a la terraza acantilada: se presenta principalmente en la península de Guanahacabibes, en las costas acantiladas de la provincia de Cienfuegos y del sur de las provincias de Granma, Santiago de Cuba y Guantánamo. En estas playas se puede for-



mar al pie del acantilado de la terraza un depósito de materiales lanzados hacia tierra por el oleaje (Fig. 15). Por lo regular estas playas tienen escasez de arena en la pendiente submarina y afloramientos rocosos en la berma, lo que muestra indicios de erosión y presupone un insuficiente ingreso de arena a la playa.

En esas condiciones la elevación del nivel del mar propiciará el lavado de los depósitos apoyados al acantilado, lo que durante un tiempo servirá para el abastecimiento de arena a la costa, pero al aumentar el nivel de erosión costera todos los depósitos serán lavados durante los eventos de oleaje extremo, conduciendo a la desaparición definitiva de la playa.

Playa apoyada a una duna fósil: se presenta en la costa sur de Cayo Largo del Sur (Fig. 16) y en algunos cayos de los archipiélagos de los Canarreos y Sabana-Camagüey. Por lo regular en estas costas hay colinas de composición caliza constituidas por arena consolidada (paleodunas), las cuales son erosionadas por el oleaje, y el material arenoso arrancado se incorpora a la playa o es arrastrado hacia otras localidades cercanas. La elevación del nivel del mar y el desgaste progresivo de las colinas costeras (paleodunas) provocará la ruptura de estas, como ya se observa en varias localidades. En estas condiciones, el sistema playa-duna actual pudiera migrar hacia el interior de los cayos o quedar destruido.

Perfil de playa frontal de terraza aluvial: son playas arenosas que se encuentran en las terrazas aluviales cerca de la desembocadura de los ríos, sobre todo en Cuba oriental, Cienfuegos y Pinar del Río, de las que son excelentes ejemplos Baconao, Sabanalamar y Daiquirí. Este tipo de playa se forma cuando los depósitos de arena transportada por los ríos, son modelados por las olas y las corrientes marinas formando bermas. Un caso particular de estas playas son las barras paralelas a la costa que dan origen a los tibaracónes de los ríos Toa y Duaba en la costa norte de la provincia de Guantánamo.

Bosques de mangles

Las costas de Cuba, en la mayor parte de su extensión, están orladas por bosques de mangle, que se prolongan a veces más de un kilómetro hacia el interior de las islas y cayos, también formando humedales costeros, o en bahías, estuarios y en el curso inferior de algunos ríos (Menéndez y Guzmán, 2006). El estado actual de conservación (salud) de estos bosques de mangle se puede utilizar como criterio para pronosticar su desenvolvimiento futuro ante la elevación del nivel medio del mar (Fig. 17). En la medida que el bosque esté más sano, mayor será su resiliencia y en consecuencia, su capacidad como protector de la línea costera. La afectación de los manglares está determinada, entre otros factores, por las tensiones a que están sometidos muchas de ellas derivadas de la actividad humana (Fig. 18). Para

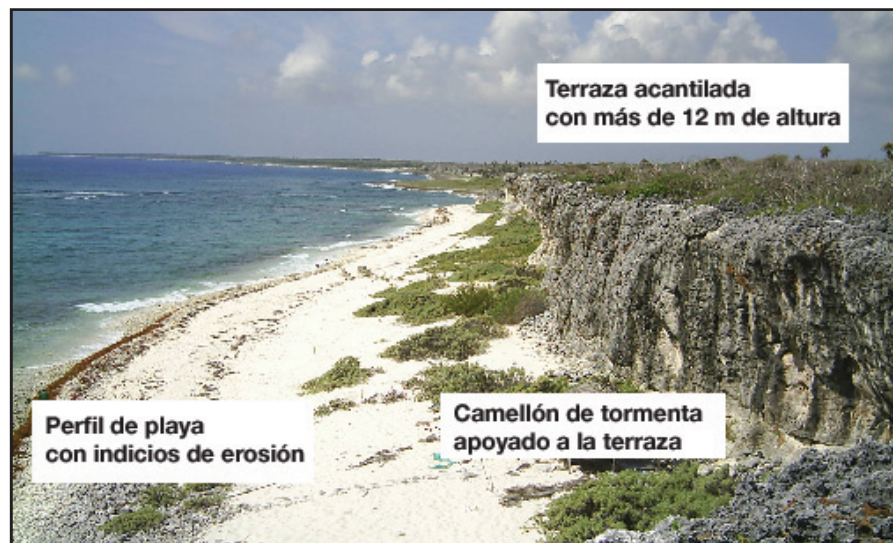


Fig. 15. Playa apoyada contra una terraza acantilada. Playa Perjuicio, Guanahacabibes.



Fig. 16. Playa apoyada contra una colina costera (paleoduna). Playa Blanca, Cayo Largo del Sur.



determinar el estado del manglar se estableció un grupo de criterios que se definen en la tabla 4.

Factores negativos (tensores) que afectan el bosque de mangle costero

Los tensores son aquellos procesos cuya acción sobre el manglar afecta de modo negativo la salud y la dinámica natural del ecosistema, pues reducen su resiliencia y el bosque puede enfermar y deteriorarse hasta alcanzar un nivel de transformación que conduzca a su destrucción total. Después de la acción inicial de uno u otro tensor, se pueden afectar más componentes del ecosistema y, por efectos secundarios, generarse una sinergia a menudo superior a la sumatoria de todos los efectos de los tensores individuales. En muchos casos los efectos secundarios pueden encubrir el impacto de los tensores originales que desencadenaron estos procesos. Los tensores y su acción sobre el manglar operan del modo que explica la tabla 5.

Estado actual de los manglares y humedales

El mapa del estado actual de los bosques de manglares y humedales (Anexos 3 y 4) constituye una síntesis del grado de protección que proveen estos



Fig. 17. Ejemplo de costas bajas con manglares y lagunas en el litoral norte de Ciego de Ávila.

ecosistemas a las zonas costeras, de modo que es fundamental para evaluar el nivel de riesgo de los tramos costeros. Aquellas costas donde los bosques están más afectados, la protección es menor (Fig. 17); en tanto, en aquellos donde la salud de los ecosistemas naturales es relativamente buena y la resiliencia es alta, la protección es máxima.

La protección de los ecosistemas de manglar

En la tabla 5 se relacionan una serie de recomendaciones y soluciones para mantener la salud de los manglares y protegerlos de la acción de factores de riesgo, cuya distribución se muestra en los mapas Anexos 3 y 4. En los párrafos siguientes se resumen esas recomendaciones, a fin de mantener y/o elevar la resiliencia de los manglares y su capacidad de adaptación a los escenarios cambiantes que está provocando el cambio climático. Por eso es recomendable, si se va a realizar alguna acción que modifique el ecosistema, conocer y aplicar las medidas siguientes:

- Manejo adecuado del agua. El bosque de mangle necesita una proporción de agua dulce y salada para subsistir, por eso se debe evitar alterar el flujo y reflujo de las aguas al construir represas, canales, diques, viales y todo tipo de obra en el entorno del bosque.
- Correcto diseño de los viales. Los viales (carretera, pedraplenes, terraplenes) que sean imprescindibles construir sobre áreas de manglares deben

Tabla 4. Clave para calificar el estado de salud de un manglar

Valor y estado del manglar	Significado
1. Sin deterioro	No existen tensiones —o estas son muy bajas— de modo que no afectan la dinámica natural del ecosistema
2. Poco deteriorado	Existen tensiones con una baja incidencia sobre el funcionamiento y la estructura del manglar y se mantiene la dinámica natural del ecosistema
3. Moderadamente deteriorado	Las tensiones han comenzado a incidir sobre el funcionamiento y la estructura del manglar, pero el umbral de resiliencia aun es alto, aunque el ecosistema comienza a presentar alteraciones
4. Deteriorado	Las tensiones que inciden sobre el funcionamiento y estructura del manglar están muy cercanas al umbral de resiliencia del ecosistema, por lo que la dinámica natural del bosque está alterada
5. Muy deteriorado	Las tensiones que inciden sobre el manglar sobrepasan el umbral de resiliencia del ecosistema y las posibilidades de recuperación son escasas o nulas. La dinámica natural del bosque está alterada por completo

**Tabla 5.** Factores que afectan el bosque costero, sus consecuencias y soluciones

Tensores	Consecuencias por la acción de los tensores sobre los manglares y soluciones
Represamiento de ríos	Puede provocar una disminución sensible por la llegada de agua dulce a las áreas costeras con manglares, así como la reducción del aporte de nutrientes y energía al ecosistema. Este tensor provoca la elevación de la salinidad en los sustratos y en el agua, con una fuerte influencia negativa en el desarrollo estructural del bosque de mangle, pues los bosques alcanzan poca altura y bajo desarrollo) Solución: al diseñar las represas, se deben tomar medidas para permitir el paso de una cantidad adecuada de agua hacia el manglar, a fin de mantener el nivel de salinidad aceptable por el ecosistema
Construcción de viales a través del manglar	Los viales y pequeños diques dentro del manglar pueden funcionar como represas que obstruyan o dificulten la libre circulación de las aguas, tanto desde el mar como provenientes de tierra adentro, necesario para el desarrollo de estos bosques. Estos viales pueden fragmentar (parcelar) el bosque, sobre todo los que se construyen paralelos y sobre la línea de costa. Los pedraplenes u otros viales construidos sobre el mar o lagunas costeras tienen consecuencias similares a los diques, no solo para los bosques de mangles, sino para la biota en general Solución: se deben construir conductos bajo los viales y diques, que permitan regular el paso de las aguas, sobre la base de un estudio del funcionamiento del ecosistema
Canalizaciones y drenajes en los manglares o en su vertiente tierra adentro	Las construcciones en áreas de bosques de mangles o detrás de ellos reducen los ingresos de agua dulce, nutrientes y materia orgánica hacia este ecosistema, pues desvían los flujos acuáticos Solución: los canales y drenajes se deben controlar mediante compuertas, que permitan regular el paso del agua y reducir las pérdidas innecesarias
Tala y extracción de madera desde el manglar	Cuando este proceso no se controla puede afectar el manglar, ya que repercute en el ciclo de nutrientes, provoca la elevación de la temperatura del sustrato y/o del espejo de agua, e incrementa la salinidad; por lo que se pueden esperar cambios como la disminución de la altura de las plantas y en la composición de especies Solución: cuando el bosque esté destinado a la producción de madera y carbón es necesario planificar la tala sobre la base de un estudio adecuado. Asimismo, hay que continuar evitando las talas no autorizadas que pueden perjudicar el ecosistema
Ganadería en la faja costera	El establecimiento de áreas de pastizales, colindantes con el manglar tierra dentro, puede conllevar a la eliminación de la vegetación boscosa, incluido el bosque de ciénaga y una parte del propio manglar. En el caso de la ganadería bufalina el daño puede ser más severo, ya que requiere de condiciones de inundación que en ocasiones se producen por diezmar el bosque de mangle Solución: controlar el desarrollo de la ganadería en las áreas costeras
Cultivo de la caña de azúcar en la faja costera	Cuando el cultivo de caña se realiza contiguo al bosque de mangle, se eliminan los humedales interiores, y se abren canales y viales; factores que ponen en peligro la salud del manglar, al alterar el flujo de agua y nutrientes Solución: es importante evitar o minimizar la continuación de esta práctica en el futuro y, donde ya el manglar está afectado, promover la reforestación con plantas adecuadas
Cultivo del arroz en las fajas costeras	Estas plantaciones requieren modificar el terreno e inundarlo, así como aplicar abonos químicos y pesticidas; factores que afectan negativamente el manglar Solución: teniendo en cuenta las necesidades de producción de arroz, se debe priorizar y minimizar el flujo de residuales sin cortar la afluencia de agua dulce hacia el manglar, tomando las medidas ingenieriles y agrotécnicas adecuadas
Derrames de petróleo	La prospección y explotación de hidrocarburos en la faja costera requiere de la construcción de viales, así como el desbroce y aplanamiento del terreno para la instalación de las maquinarias, con diversas consecuencias negativas para los bosques de mangle. Sobre todo, porque los manglares son muy sensibles a los hidrocarburos que, al impregnar las raíces, obstruyen los poros y lenticelas que permiten la ventilación e intercambio gaseoso de las plantas, además de diezmar las poblaciones de microorganismos del suelo Solución: evitar o minimizar estas afectaciones mediante un diseño correcto del sistema petrolero y tomar medidas regulatorias durante los trabajos de exploración y explotación
Contaminación industrial	Sus consecuencias negativas están en dependencia del tipo de residuo, que puede llegar a ser letal para el manglar como los derrames de los mostos producidos por las fábricas de bebidas alcohólicas y de torula Solución: mantener un control estricto para evitar o minimizar el flujo de contaminantes hacia el manglar
Urbanización y asentamientos humanos	Históricamente se ha reducido la extensión de los bosques de mangle, o se han fragmentado y debilitado al desbrozarlos para desarrollar obras constructivas Solución: respetar la ley de costa para la construcción o expansión de futuros asentamientos y, en las ciudades y asentamientos ya establecidos, desarrollar programas de protección de los bosques de manglar situados en el entorno urbano
Actividad portuaria	El desarrollo portuario a menudo ha estado acompañado de la destrucción de los manglares y construcción de distintas obras de infraestructura, y los bosques de mangles remanentes están expuestos a la contaminación con hidrocarburos que causan su defoliación y muerte Solución: tomar medidas para minimizar el desbroce del manglar y su contaminación
Huracanes y tormentas	Los fuertes vientos, el oleaje y las inundaciones conducen a la caída total o parcial de los árboles, proceso natural que puede ser beneficioso para el ecosistema cuando no tiene otros factores que lo estén afectando, ya que la renovación del bosque es importante durante su ciclo de vida Solución: procurar mantener la buena salud del ecosistema, eliminando otros factores negativos, sobre todo de naturaleza humana



utilizar una tecnología de bajo impacto y su diseño debe tener sistemas que garanticen el flujo de las aguas en los volúmenes necesarios.

- Control de contaminantes. Se deben evitar los vertimientos de desechos de todo tipo en las áreas de manglares.
- Protección del ecosistema costero. Se deben evitar la desecación y relleno de las lagunas costeras.
- Control de la tala del manglar. Autorizar solo la tala controlada con fines económicos y eliminar la deforestación no autorizada.
- Legislación. Mejorar el marco legal adecuado para que se garantice la condición del manglar como bosque protector.
- Monitoreo. Asegurar los recursos para mantener el monitoreo de los manglares, para detectar a tiempo y controlar los factores que puedan conducir a su destrucción.
- Restauración. Realizar proyectos de restauración en las áreas afectadas de los manglares, siguiendo criterios ecológicos que no están solamente centrados en la siembra de mangle, sino también en recuperar las condiciones ambientales que favorezcan el desarrollo natural del bosque.
- Educación. Elaborar e implementar un programa de educación y concientización ambiental dirigido a las comunidades y autoridades competentes, que tenga como objetivo proteger los manglares.



Fig. 18. Bosque de mangle destruido por la construcción de un vial y consecuente afectación a todo el tramo costero (sur de Mayabeque).



Fig. 19. Algunas construcciones costeras (edificios, viaductos, dragados y diques) producen cambios en la hidrodinámica marina, lo que causa la muerte de los pastos.

Acidificación de las aguas marinas

Un peligro derivado del calentamiento global y del cambio climático es la posible acidificación de las aguas marinas y su efecto para la salud de los ecosistemas. Por ello se realizaron investigaciones preliminares que indican que durante el período de enero-agosto del 2013, en las aguas oceánicas alrededor de Cuba, se manifestó una tendencia al predominio de la emisión de dióxido de carbono desde la superficie del mar hacia la atmósfera; mientras que en las aguas interiores de la plataforma marina cubana, la absorción de CO_2 desde el aire (efecto sumidero) prevaleció sobre la emisión del gas hacia la atmósfera. La disparidad de los muestreos realizados, sin embargo, no permitió establecer una tendencia estacional en estos flujos. Se determinó, asimismo, que las aguas superficiales de la zona marino-costera cubana estuvieron sobresaturadas en carbonato de calcio (típico de ambientes marinos que aún no muestran acentuados procesos de acidificación), lo cual concuerda con los resultados del análisis de los compuestos del ciclo del CO_2 que indican la no manifestación de procesos de acidificación en esas aguas. Ello significa que todavía hay tiempo para tomar medidas preventivas y reducir el incremento de la acidificación de los mares en el entorno, mediante la disminución de la carga contaminante que fluye hacia la atmósfera y la plataforma, y cuidando la salud de los ecosistemas costeros.

Se recomienda controlar la actuación de estos factores negativos, ya que en el futuro debe continuar el ritmo del calentamiento actual, de manera que no se puede descartar que el pH de las aguas pudiera decrecer a razón de unas 0.05 unidades por año a partir del 2023 y la concentración de carbonato de calcio descender desde $250 \mu\text{mol kg}^{-1}$ hasta unos $170 \mu\text{mol kg}^{-1}$, con consecuencias indeseables para los organismos con estructuras carbonatadas.



Algunas personas consideran que con la elevación del nivel del mar, las costas sufrirán una inundación paulatina y desaparecerán los ecosistemas costeros, pero ese no es el escenario a esperar.

En realidad los ecosistemas están preparados para sufrir distintas afectaciones (vientos extremos, oleaje intenso, penetraciones del mar, incendios forestales, contaminación por polvo y sedimento); sin embargo, de acuerdo con su salud y resiliencia se recuperan de esas afectaciones al cabo de cierto tiempo. Asimismo, desde hace algunos miles de años, el nivel del mar se ha venido elevando paulatinamente, y durante algunos años (cuando ocurre el evento ENOS) el nivel medio del mar se puede mantener decenas de centímetros por encima del promedio anual durante varios meses, sin que los manglares sean destruidos.

Como consecuencia del cambio climático se ha acelerado la elevación del nivel del mar y la frecuencia de eventos extremos; lo que hace pensar en una desaparición total de los ecosistemas marino-costeros. No obstante, la vida ha demostrado que tiene la capacidad para recuperarse de eventos como el choque de un bólido espacial con la Tierra hace 65 millones de años, el cual cambió el clima terrestre súbitamente y durante algunos miles de años; pero muchos organismos se transformaron y adaptaron, logrando la supervivencia. También hay ejemplos bien conocidos de especies que han dejado de observarse durante decenas de años, para después reaparecer y establecerse en sus antiguos medios. Por eso no es necesario presuponer un escenario de total destrucción y desaparición de los ecosistemas marino-costeros como consecuencia del cambio climático. Al contrario, lo más probable es que los ecosistemas sufran transformaciones y se adapten a las nuevas condiciones que se vayan estableciendo; pues, aunque la elevación del nivel medio del mar provoque la ocupación permanente de nuevos terrenos con aguas marinas, en esos mismos terrenos ocurre la alimentación con agua dulce desde manantiales provenientes de las aguas subterráneas.

Hay experiencias que demuestran que ante la elevación del nivel medio del mar, los ecosistemas costeros tienden a trasladarse tierra adentro, siempre que las condiciones físico-geográficas se lo permitan, pero el terreno ocupado permanentemente por las aguas marinas no necesariamente se transforma en un ecosistema marino. En ciertos casos se ha observado una renovación del conjunto de especies y la implantación de otras que soportan mejor las nuevas condiciones. Por ejemplo, en las crestas coralinas empiezan a estar más presentes las especies de bajo porte como *Porites* en sustitución de *Acropora palmata*. En los bosques de mangle, el mangle rojo (*Rhizophora mangle*) puede soportar la elevación del nivel del mar de distintas maneras e invadir nuevos territorios avanzando a lo largo de los canales de marea, lagunas y cursos fluviales. En algunas regiones los árboles de mangle rojo han crecido para protegerse de la subida del nivel del mar. En contraste, los árboles de mangle prieto (*Avicennia germinans*), ante la elevación del nivel del mar alargan sus pneumatóforos para que sobresalgan fuera del agua y así poder sobrevivir.

Asimismo, en diversas regiones costeras detrás de los bosques de mangle hay humedales (como en la Ciénaga de Zapata), donde es posible que con la salinización, ocurra una renovación de las especies y los mangles comiencen paulatinamente a colonizar esas áreas. Incluso en costas rocosas expuestas a vientos fuertes, se puede encontrar el mangle convertido en plantas reptadoras.

En conclusión, aunque la elevación del nivel del mar y los eventos extremos más frecuentes, inevitablemente transformen los ecosistemas marino-costeros, aun es muy temprano para pronosticar su destrucción total, ya que la resiliencia de estos puede generar nuevos ecosistemas mejor adaptados a las nuevas condiciones físico-geográficas.

Escenarios de transformación de los ecosistemas costeros



Caracterización detallada de los tramos costeros

Después de haber examinado cada uno de los ecosistemas que están vinculados a las fajas marino-costeras de Cuba, a continuación se resume la información existente hasta el 2013 sobre el estado actual de esos ecosistemas, para cada tramo en que se han subdividido las costas cubanas. Con esta información se puede valorar el peligro que acecha a las zonas marino-costeras cubanas, pues en aquellos tramos, cuyos ecosistemas están muy alterados (tienen poca salud), es donde existe la mayor posibilidad de que ocurran profundas afectaciones como consecuencia de la elevación del nivel del mar y la ocurrencia de eventos extremos. Para cada tramo también se ofrecen datos históricos sobre las penetraciones del mar tierra adentro durante huracanes de gran intensidad en el pasado, su pronóstico para el futuro, así como el comportamiento de las mareas y la elevación del nivel del mar, de acuerdo con los datos mareográficos y satelitales.

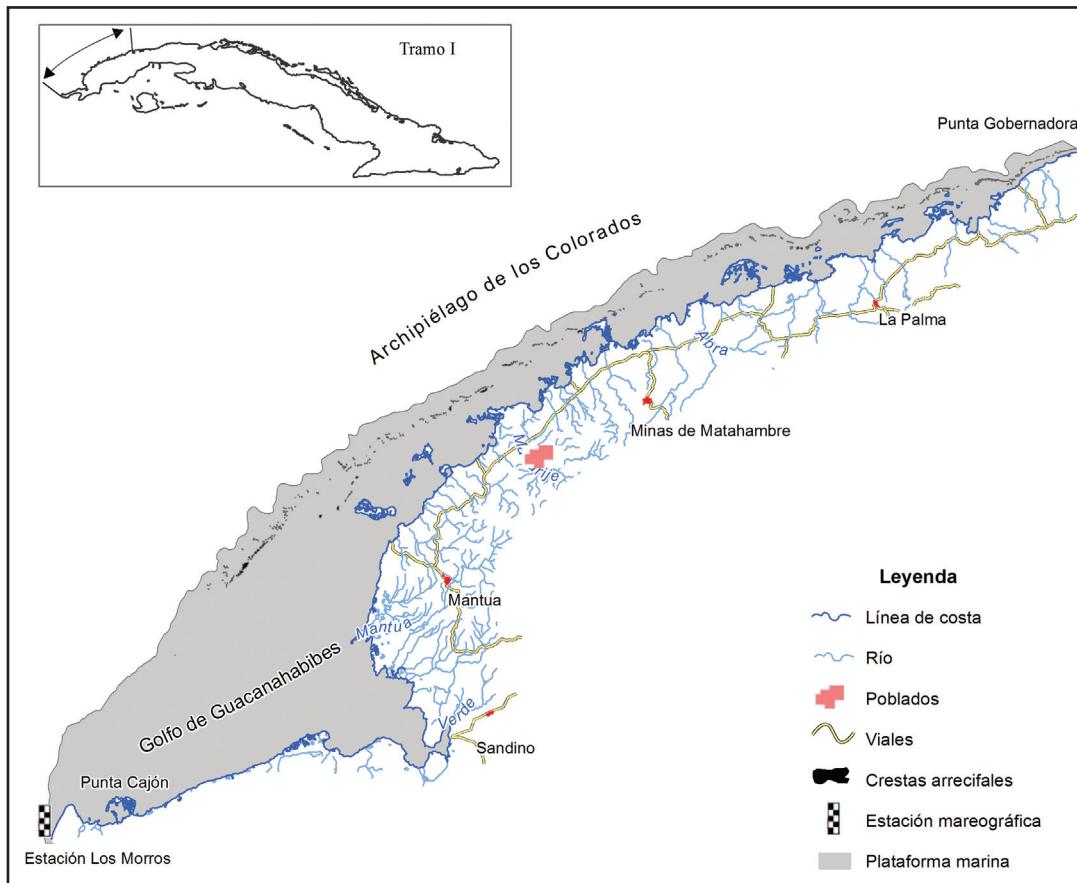


Fig. 20. Mapa del tramo I.

Tramo I. De Cabo San Antonio (Punta Cajón) a Punta Gobernadora y Archipiélago de los Colorados

Abarca la costa norte de la península de Guanahacabibes, el archipiélago de los Colorados y la costa norte de los municipios de Sandino, Mantua, Minas, Viñales, La Palma y el sector Oeste de Bahía Honda (Fig. 20). Esta es una zona muy expuesta a los huracanes y vientos nortes, acompañados de marejadas y tormentas; situada donde ocurre la inflexión de la Corriente del Golfo antes de dirigirse al Atlántico. La plataforma insular es relativamente ancha, orlada de crestas coralinas y con numerosos cayos del Archipiélago de los Colorados. La costa de la isla es baja, muy irregular, con bosques de mangle. Hay playas, tanto en la isla como en los cayos. En la costa hay varias poblaciones, instalaciones turísticas e industriales relacionadas con la minería que emiten contaminantes al mar.

Corrientes marinas

Fuera de la plataforma insular fluye una rama de la corriente de Yucatán que al girar hacia el este y este-noreste forma un giro anticiclónico al norte de Pinar del Río con velocidades promedio de 40 cm/s. En el borde de la plataforma fluye una contracorriente costera hacia el suroeste, la que se refuerza con los vientos del primer cuadrante, cuya velocidad no supera los 50 cm/s. Entre los cayos actúan corrientes de marea, débiles a moderadas, moduladas por la acción de los vientos, la topografía del fondo marino y la configuración de las costas (Anexo 5).

Comportamiento de las mareas y ascenso del nivel del mar

Marea astronómica: de este a oeste, varía de semidiurna irregular a diurna irregular, con una amplitud media de la marea mayor de cada día de 50 cm.

Variabilidad estacional: el máximo estacional se observa en octubre y el mínimo en febrero. Las anomalías mensuales pueden alcanzar 16 cm sobre el nivel medio del mar.

La velocidad lineal del ascenso del nivel medio del mar según el mareógrafo de Los Morros alcanzó 0.52 mm/año. La marea astronómica más alta sumada a la anomalía mensual más alta varía entre 59 cm y 78 cm.

Crestas coralinas

Longitud de 142.2 km con crestas deterioradas (Grado 3). Se pronostica gran deterioro y aplanamiento de las crestas hasta el 2100.



Llanuras de pastos marinos

Se cuenta con información reciente acerca del estado de los pastos en algunas áreas de esta zona. La información cualitativa indica que, al menos en el Golfo de Guanahacabibes y desde Puerto Esperanza hasta el Cabo San Antonio, los pastos marinos se encuentran en buen estado. Por ser una costa baja con manglares, los pastos marinos serán afectados por la erosión ocasionada por el incremento del nivel del mar hasta el 2100, fundamentalmente donde ocurra la tala del manglar costero. Posiblemente haya cierta afectación en las zonas de mayor desarrollo turístico, minero y poblacional. Se recomienda incluir a los pastos marinos en los estudios de impacto ambiental ante posibles acciones de desarrollo turístico en la zona costera y evaluar su estado de conservación.

Playas

En el tramo hay 22 playas, incluidas 4 en los cayos, aunque se tiene información de 12. Predomina el tipo de playa lineal y protegida por barreras de arrecifes o por cayos. La mitad de las playas son de arenas terrígenas y la otra mitad de arenas biogénicas. La erosión de las playas en general es moderada y hay algunas con erosión intensa por causas, tanto naturales como antrópicas. En el futuro esta situación debe empeorar con el deterioro de las crestas coralinas y los pastos.

Manglares y humedales

Extensos bosques de mangle poco deteriorado que conforman una franja casi continua, con buen grado de salud. Se destaca la necesidad de mantener una política de gestión que contemple la conservación de estos manglares para que sigan en buen estado.

Intrusión marina en acuíferos costeros

Se encuentran depósitos turbo-cenagosos con calizas, arenas y arcillas subyacentes, que no constituyen acuíferos importantes por la poca cantidad y baja calidad de sus aguas. Predominan las aguas de SST > 1 G/L. Sus escasos recursos hídricos subterráneos tienden a reducirse y a deteriorarse cada vez más, de modo que las captaciones de agua son del tipo someras y horizontales (Anexo 6).

Peligros hidrometeorológicos

Durante el período de 1851 al 2005 los huracanes categoría 3 produjeron una surgencia máxima de 2.3 m con períodos de máximo retorno de 1/17 Casos/Años; y los huracanes categoría 5 tuvieron una surgencia máxima de 4.51 m, con período de máximo retorno de 1/106 Casos/Años.

El huracán Wilma (octubre 23, 2005) al pasar por el norte de la isla generó una surgencia de 1.54 m asociada a una penetración de 50 m a 800 m, que afectó los poblados de La Fe, Arroyos de Mantua, Dimas, Santa Lucía, Puerto Esperanza, Playa Pajarito, Carenero, El Morrillo y Río del Medio.

Pronósticos hasta el 2050

Surgencia (S):

huracanes categoría 1-S = 0.63 m, categoría 3-S = 1.73 m y categoría 5-S = 3.42 m.

Sobreelevación de las olas promedio (SOP):

huracanes categoría 1-SOP = 0.59 m, categoría 3-SOP = 0.75 m y categoría 5-SOP = 1.13 m.

El peor escenario de penetración del mar tierra adentro por eventos extremos hasta el 2050 se pronostica como promedio de 2.8 km y máxima de 12.8 km.



Tramo II. De Punta Gobernadora a Playa Camacho

Abarca las costas de los municipios Bahía Honda, Mariel, Caimito, Bauta, Playa, Plaza de la Revolución, Centro Habana, Habana Vieja, Habana del Este, Santa Cruz del Norte, Matanzas y Cárdenas (Figs. 21 y 22). Es una costa rocosa con ensenadas y bahías donde crecen los bosques de mangles y playas relativamente extensas. La plataforma insular es muy estrecha y presenta distintas crestas coralinas cercanas a la costa. En este tramo están situadas ciudades, industrias y puertos importantes (Mariel, La Habana, Matanzas).

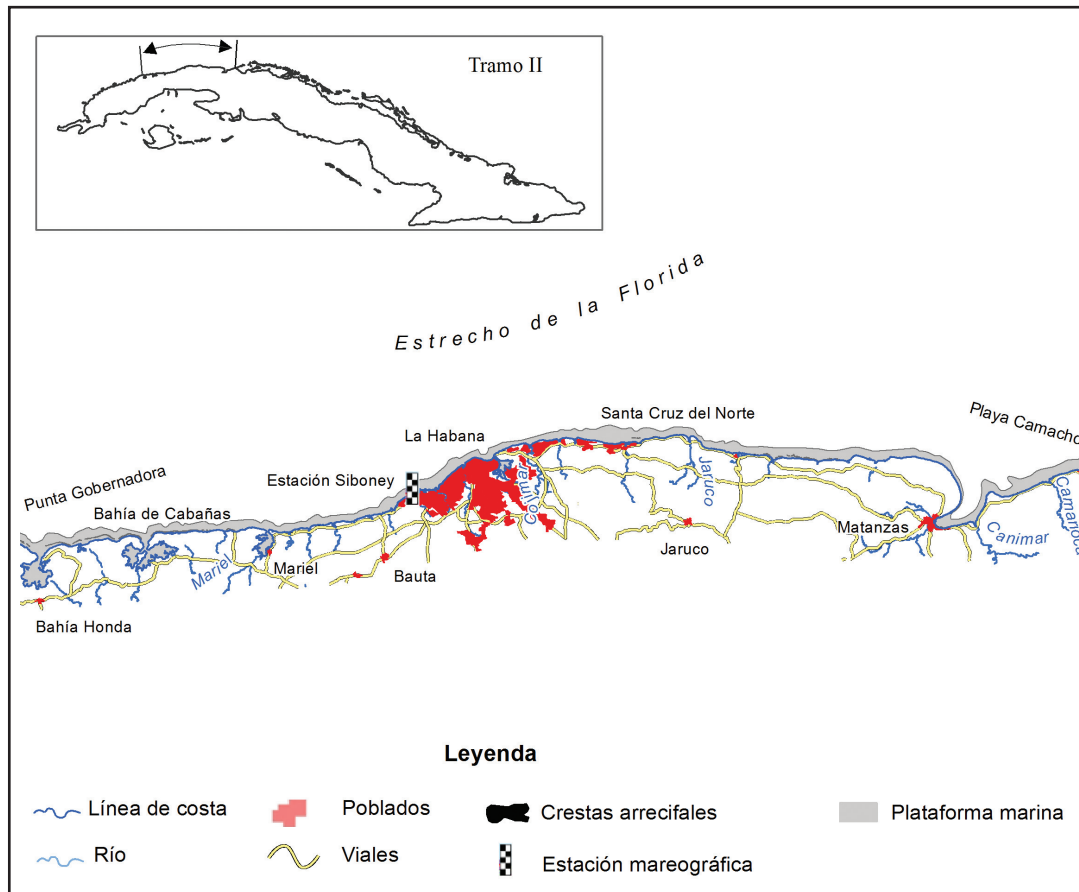


Fig. 21. Mapa del tramo II.

Corrientes marinas

En la parte oeste del tramo, la corriente se encuentra conformada por un giro anticiclónico al norte de Pinar del Río y una débil (entre 4 cm/s y 9 cm/s) corriente costera al oeste. Al occidente del tramo predominan las corrientes hacia el este en todo el año, con velocidades que en ocasiones superan los 50 cm/s. Por el borde exterior de la plataforma prevalecen las corrientes de marea con sus componentes principales hacia el este-oeste y velocidades medias entre 12 cm/s y 20 cm/s (Anexo 5).

Comportamiento de las mareas y ascenso del nivel del mar

Marea astronómica: semidiurna irregular con una amplitud media de la marea mayor de cada día de 50 cm hasta la Bahía de Matanzas y de 80 cm en la Península de Hicacos.

La velocidad lineal del ascenso del nivel medio del mar, según el mareógrafo de Siboney, alcanzó 2.14 mm/año.

Variabilidad estacional e interanual: el máximo estacional se observa en octubre y el mínimo en enero. Las anomalías mensuales históricas han alcanzado 26 cm sobre el nivel medio del mar. Las anomalías estacionales han alcanzado hasta 27 cm durante varios meses, el mismo valor que se pronosticó por el IPCC para el 2025. La marea astronómica histórica más alta y la anomalía mensual más alta van desde 69 cm hasta 74 cm.

Crestas coralinas

Tienen una longitud de 25 km con predominio de crestas deterioradas (Grado 3), algunas extremadamente deterioradas (Grado 5) y una con porciones casi sanas en Rincón de Guanabo (Grado 2). Se pronostica un gran deterioro con pérdida de la condición de arrecife y aplanamiento de las crestas hasta el 2100.

Llanuras de pastos marinos

En esta zona la plataforma es estrecha y los pastos marinos se encuentran en bahías, ensenadas y lagunas marinas protegidas por la cresta arrecifal. Se cuenta con información de pocos puntos, donde los principales factores que les afectan son el desarrollo urbano y la contaminación, en especial en la costa de La Habana y en las bahías de Mariel, Cojimar y La Habana. Son vulnerables a los frentes fríos y los huracanes. Se recomienda controlar los vertimientos de los residuos líquidos y sólidos, sobre todo desde los ríos e instalaciones cercanas a la costa.

Playas

En el tramo hay 34 playas; se tiene información de 21, donde predomina el tipo lineal sin barreras protectoras. Las estudiadas tienen arenas biogé-



nicas, con indicios de erosión moderada en la mayoría de ellas, aunque existen casos de erosión intensa con afectación hasta la duna y algunas sin signos de erosión. Las más degradadas son por la extracción de arena y las que tienen construcciones e instalaciones en la playa y duna. En el futuro esta situación debe tender a empeorar.

Manglares y humedales

Entre Punta Gobernadora y La Boca de Mariel son parches de mangle poco deteriorado, donde el manglar conforma una franja casi continua, aunque en algunos sitios es muy estrecha debido al avance de la frontera agrícola y por la actividad portuaria. Al oeste de playa Camacho se presentan parches de mangle deteriorado. Se recomienda realizar acciones de restauración para evitar afectaciones mayores.

Intrusión marina en acuíferos costeros

Esta se comporta distintamente a lo largo del tramo (Anexo 6). Entre Punta Gobernadora y Mariel las aguas subterráneas son altamente vulnerables a la intrusión salina y en algunas partes presentan elevada mineralización mayor de 1 G/L. Los acuíferos en rocas calizas carsificadas y en medios granulares son libres y abiertos al mar, con muy limitado espesor de agua dulce, de modo que su aprovechamiento es muy restringido. Con la elevación del nivel del mar la salinización se incrementará y avanzará tierra adentro. Se recomienda limitar al máximo el uso de las aguas en la faja costera y cambiar paulatinamente por métodos de captación horizontal.

Entre Mariel y La Habana los recursos hídricos subterráneos relativamente ricos son muy vulnerables a la intrusión salina. Las aguas subterráneas están contenidas en calizas carsificadas y marga de buena acuosidad como el ejemplo de Santa Fe. Con la elevación del nivel del mar la salinización debe avanzar más tierra adentro, razón por la cual se debe mantener un estricto control de la explotación. Desde La Habana hasta la Bahía de Matanzas las aguas subterráneas no son abundantes y presentan elevada mineralización, generalmente más de 1 G/L. Es un acuífero libre localizado en rocas carbonatadas carsificadas, con poco espesor de la lámina de agua dulce, muy vulnerable a la intrusión marina. Con la elevación del nivel del mar tendrá lugar el incremento de la salinización, de modo que se debe mantener un control de los volúmenes de explotación para evitar su deterioro total. Desde Bahía de Matanzas a Playa Camacho las aguas subterráneas son relativamente abundantes, aunque están contaminadas por sobreexplotación, con salinidad mayor de 1 G/L. Son acuíferos conformados por calizas carsificadas, de gran acuosidad, con salinidad alta debido a la explotación en la franja litoral. La

elevación del nivel del mar incrementará la salinización tierra adentro, de modo que se debe mantener un control de las extracciones.

Peligros hidrometeorológicos

Durante el período de 1851 a 2005 los huracanes categoría 3 estuvieron asociados a una surgencia máxima de 2.62 m, con períodos de máximo retorno de 1/20 Casos/Años, y los de categoría 5 produjeron una surgencia máxima de 5.19 m con períodos de máximo retorno de 1/124 Casos/Años. El huracán Wilma (24 de octubre de 2005) fue el evento más desastroso que ocurrió en la costa norte, pues produjo una surgencia de 1.54 m que afectó los municipios de Artemisa, La Habana y Mayabeque. Los huracanes Rita (20 de septiembre de 2005) y Katrina (27 de agosto de 2005) produjeron inundaciones moderadas en los cinco municipios costeros de La Habana. El huracán Michelle (4 de noviembre de 2001) provocó fuertes inundaciones en el municipio Centro Habana, con olas superiores a los 4 m y vientos del norte-oeste que alcanzaron los 100 km/h.

Pronósticos hasta el 2050

Surgencia (S):

huracanes categoría 1 = 0.63 m, categoría 3 = 1.73 m y categoría 5 = 3.42 m.

Sobreelevación de las olas promedio (SOP):

huracanes categoría 1= 0.59 m,
categoría 3= 0.75 m y categoría 5= 1.13 m de altura.

El peor escenario de penetración del mar tierra adentro por eventos extremos hasta el 2050 se pronostica como promedio de 0.7 km y máxima de 3.43 km.



Fig. 22. Tramo II terrazas marinas al oeste bahía de Matanzas.

Tramo III. De Península de Hicacos a Nuevitas y Archipiélago Sabana-Camagüey

Abarca la costa de los municipios Cárdenas, Martí, Corralillo, Quemado, Sagua La Grande, Encrucijada, Camajuaní, Caibarién, Yaguajay, Chambas, Morón, Esmeralda, Cubitas, Minas y Nuevitas (Fig. 23). En este tramo la plataforma insular es bastante ancha, orlada por extensas crestas coralinas, con numerosos cayos e islotes, en cuya costa septentrional se encuentran las más importantes playas turísticas de Cuba (Varadero y el Archipiélago Sabana-Camagüey). En la costa de la isla hay importantes ciudades y puertos pequeños. En la isla y los cayos están presentes extensos bosques de mangle. Para acceder a los cayos se han construido viales (pedraplenes) que han limitado la circulación de las aguas interiores entre los cayos y la isla.

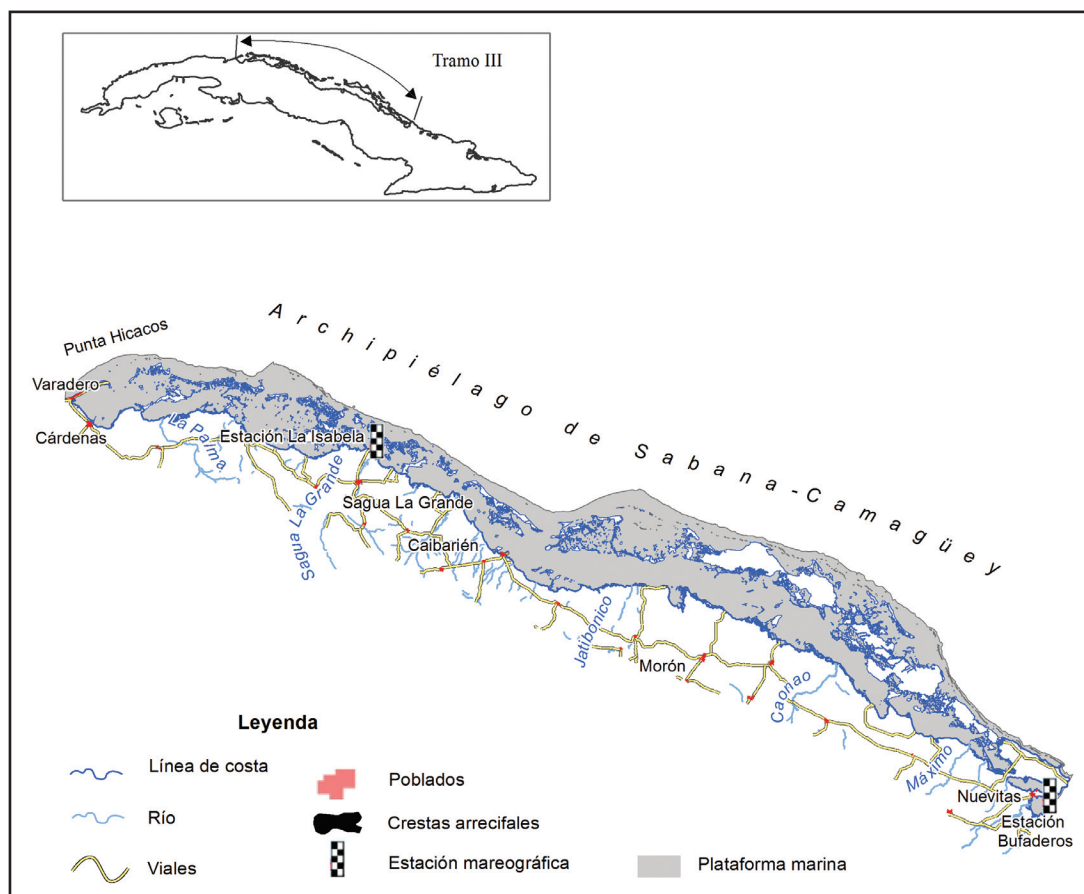


Fig. 23. Mapa del tramo III.

Corrientes marinas

En las aguas oceánicas se registra un flujo superficial hacia el este y predominan los giros ciclónicos y anticiclónicos, donde es difícil determinar el patrón de circulación de las corrientes marinas. En la plataforma imperan las corrientes de marea, con intensidades moderadas (entre 15 cm/s y 30 cm/s) y un flujo neto al oeste (Anexo 5).

Comportamiento de las mareas y ascenso del nivel del mar

Marea astronómica: semidiurna irregular, con excepción de su sector central (cayos de las Cinco Leguas a Bahía de Santa Clara), donde existe transición de semidiurna irregular, hasta la Bahía de Sagua La Grande, a semidiurna hasta la Bahía de Nuevitas. La amplitud media de la marea mayor de cada día varía de 80 cm en el oeste a 50 cm hacia el este.

La velocidad lineal del ascenso del nivel medio del mar, según los mareógrafos, alcanza en La Isabela 0.50 mm/año, y en Bufadero 1.23 mm/año.

Variabilidad estacional e interanual: el máximo estacional se observa en octubre y el mínimo en marzo. Las anomalías mensuales pueden alcanzar 30 cm sobre el nivel medio del mar. Las anomalías estacionales de la elevación del nivel del mar han llegado a ser mayores que el incremento del nivel medio del mar pronosticado por el IPCC para el 2050 (27 cm). La marea astronómica más alta, además de la anomalía mensual más alta oscila entre 67 cm y 84 cm.

Crestas coralinas

Tienen una longitud de 164.4 km, donde predominan crestas muy deterioradas (Grado 4) o extremadamente deterioradas (Grado 5). Hay una cresta casi sana (Grado 2) al oeste de Cayo Frágoso. Se pronostica que alcance un extremo deterioro con pérdida de la condición de arrecife y aplanamiento hasta el 2100. En este tramo, además de seguir las recomendaciones generales antes expresadas, se debe disminuir la salinidad de las aguas marinas interiores (bahías) mediante canalizaciones en o entre cayos seleccionados y limpieza de los canales que estén obstruidos como en Cayo Romano, a fin de aumentar la entrada de agua desde el mar abierto.

Llanuras de pastos marinos

Archipiélago de Sabana: los pastos marinos se están afectando por el aumento de la turbidez debida a la eutrofización natural o antrópica y suspensión de los sedimentos, sobre todo en las zonas más cercanas a la costa y en las llamadas "bahías" de Cárdenas, Santa Clara, Isabela de Sagua y San Juan de los Remedios, que constituyen pequeños mares interiores. Se estima una afectación al 25 %-40 %



del área que potencialmente pudiera tener pastos marinos. Se recomienda el tratamiento de los residuales líquidos de origen industrial y albañales, y una adecuada gestión de los residuos sólidos, sobre todo provenientes de los ríos.

Archipiélago de Camagüey: los pastos marinos se están afectando por el aumento de la turbidez por suspensión de los sedimentos en zonas más cercanas a la costa de Cuba, y por hipersalinización en las bahías Buena Vista, Perros, Jigüey y La Gloria. Se estima una afectación al 80 %-90 % del área que potencialmente pudiera tener pastos marinos. Se recomienda mejorar la gestión del agua y proyectar obras ingenieriles que permitan una mayor comunicación con el océano de las aguas interiores de las llamadas “bahías” de Buena Vista, Los Perros, Jigüey y La Gloria, para disminuir los niveles de salinidad y temperatura del agua; y eliminar la práctica incorrecta de arrancar los pastos en zonas turísticas, pues acaba con la fuente proveedora de arena a las playas.

En todo el tramo hubo daños al fondo marino debido a las pesquerías con chinchorro arrastrero, que se eliminó a nivel nacional desde el 2012.

Playas

En el tramo hay 62 playas con dominio de arenas biogénicas, de ellas 23 pertenecen a los cayos, y se tiene información de 47. Entre las playas exteriores predomina el tipo lineal con barreras protectoras; las playas interiores, situadas en la costa de Cuba, son también lineales y están protegidas por los cayos (Fig. 24). En las playas de los cayos domina la erosión moderada, aunque algunas presentan erosión intensa por causas naturales como son las playas Coral y Varadero (península de Hicacos) y las de Cayo Guillermo, donde la erosión ha llegado hasta la duna en algunos casos. En las playas interiores predomina la erosión moderada debido a la presencia de asentamientos poblacionales costeros. En el futuro esta situación debe tender a empeorar.

Manglares y humedales

Entre Playa Camacho e Isabela de Sagua hay extensos bosques de mangle moderadamente deteriorados. En este tramo la exploración y explotación petrolera, la construcción de viales y salinerías han afectado los manglares, pero el umbral de resiliencia es aun alto. Entre Isabela de Sagua y Turiguanó hay extensos bosques de mangle deteriorado con afectaciones que inciden sobre su funcionamiento y estructura. Entre Turiguanó y Santa Lucía hay extensos bosques de mangle moderadamente deterio-

rados que conforman una franja casi continua pero estrecha en algunos sitios, tanto por condiciones naturales como por acciones de carácter antrópico, pero su umbral de resiliencia es aun alto. Desde Cayos Blancos a Cayo Santa María y de Cayo Guillermo a Cayo Sabinal hay extensos bosques de mangle sin deterioro. Se deben ejecutar medidas de conservación y restauración de los bosques que estén afectados, aplicar lo establecido en el Decreto-Ley 212, ya que la salud de estos manglares puede tender a empeorar hasta el 2100 (Fig. 25).

Intrusión marina en acuíferos costeros

Las características de los acuíferos varían lateralmente en este tramo (Anexo 6). En la península de Hicacos las aguas subterráneas contienen rocas calcáreas y porosas, que presentan alta salinidad SST > 1 G/L y contaminación biológica debido a la sobreexplotación. Localmente puede haber una lámina superficial de agua dulce, de equilibrio químico muy



Fig. 24. Tramo III. Playa con duna protegida por vegetación en Varadero.



inestable. Con la elevación del nivel del mar la mineralización de estas aguas se incrementará y la explotación del acuífero requerirá desalinización y purificación.

Entre Camajuaní y Remedios hay mucha explotación que indujo la intrusión marina con salinidad SST > 1 G/L cerca de la costa. Hay acuíferos artesanos —aguas a presión— debido a la presencia de una capa potente de sedimentos poco permeables que cubren las rocas porosas subyacentes —caliza, conglomerado y arenisca—. A veces surgen manantiales de forma espontánea. La mayor parte del subtramo tiene buena acuosidad, pero con peligro de intrusión marina, de modo que se debe controlar cuidadosamente la explotación. Desde Remedios a Yaguajay también hay mucha explotación con presencia de intrusión marina, con SST > 1 G/L en la faja costera. El acuífero está conformado por areniscas, conglomerados, brechas, calizas y margas del Cretácico, y calizas del Jurásico, cubiertos por sedimentos arcillosos de variado espesor. La acuosidad en la parte superior es baja y alta en la parte inferior, de manera que puede presentar cierta presión. Se



Fig. 25. Tramo III. Foto de 1941 de la playa Caunao, al norte de Camagüey, donde ya se observa la erosión del manglar.

debe controlar cuidadosamente la explotación. De Yaguajay a Nuevitas las aguas son salobres con SST > 1G/L por la intrusión marina. El acuífero está en rocas calizas porosas del Mioceno, con gran acuosidad, cubiertas por sedimentos arcillosos que le conceden localmente cierta presión. Hacia el este dominan las margas del Eoceno de poca acuosidad. Se debe controlar la explotación en toda la región costera, pues el acuífero se está usando cerca de sus límites.

En el Archipiélago Sabana-Camagüey las aguas están contenidas en rocas calcáreas, porosas, que presentan alta salinidad SST > 1 G/L. Localmente puede haber una lámina superficial de agua dulce, de equilibrio químico muy inestable. Con la elevación del nivel del mar la mineralización de estas aguas se incrementará y la explotación del acuífero requerirá desalinización y purificación.

Peligros hidrometeorológicos

Durante el período 1851 al 2005 los huracanes categoría 3, estuvieron asociados a una surgencia máxima de 2.05 m, con máximo retorno de 1/23 Casos/Años, mientras que los de categoría 5, presentaron una surgencia máxima de 4.21 m, con los períodos de máximo retorno de 1/174 Casos/Años. Durante el huracán Kate (1985) se reportaron penetraciones del mar en zonas de la costa norte, principalmente en Caibarién, Isabela de Sagua y Cárdenas.

Pronósticos hasta el 2050

Surgencia (S):

huracanes categoría 1 S = 0.86, categoría 3 S = 2.32 m y categoría 5 S = 4.56 m.

Sobreelevación de las olas promedio (SOP) para huracanes categoría 1 SOP = 0.68 m, categoría 3 SOP = 0.88 m y categoría 5 SOP = 1.29 m.

El peor escenario pronóstico de penetración del mar tierra adentro hasta el 2050 será como promedio de 9.5 km y máxima de 27.8 km.



Tramo IV. De Nuevitas a Gibara

Abarca la costa de los municipios Nuevitas, Manatí, Puerto Padre, Jesús Menéndez y Gibara (Figs. 26 y 27). Esta es una costa rocosa con una plataforma insular estrecha, orlada por extensas crestas coralinas. Hay algunas playas de importancia turística (Pesquero Nuevo, Guardalavaca) y bosques de mangle, sobre todo en ensenadas y bahías. En este tramo están situados el puerto comercial de Nuevitas, algunas bahías y poblados con comunidades pesqueras e industrias.

Corrientes marinas

Predominan las corrientes hacia el este con velocidades inferiores a un nudo (51.4 cm/s). Cerca de la costa actúan las corrientes de marea con desplazamiento neto de las aguas al oeste (Anexo 5).

Comportamiento de las mareas y ascenso del nivel del mar

Marea astronómica: semidiurna. La amplitud media de la marea mayor de cada día es de 80 cm.

La velocidad de ascenso del nivel medio del mar, según el mareógrafo de Punta Práctico, es de 1.00 mm/año, el de Puerto Padre de 1.44 mm/año y el de Gibara de 1.63 mm/año.

Variabilidad estacional e interanual: el máximo estacional histórico se ha observado en octubre y el mínimo en marzo. Las anomalías mensuales han alcanzado 27 cm sobre el nivel medio del mar. La marea astronómica más alta, además de la anomalía mensual más alta varía entre 77 cm y 105 cm.

Crestas coralinas

Suman 47 km de longitud, pero no hay información disponible. Se supone que estén en un estado semejante al tramo anterior, en cuyo caso es posible que alcancen un deterioro extremo y aplanamiento hasta el 2100, pues está muy expuesto a trenes de olas considerables provocados por los vientos alisios.

Llanuras de pastos marinos

La plataforma es estrecha de modo que los pastos marinos se pudieran encontrar en bahías, caletas y lagunas protegidas por la cresta arrecifal, pero no hay información sobre ellos. Se recomienda realizar observaciones en esta área e incluir los pastos marinos en los estudios de impacto ambiental.

Playas

En el tramo hay 48 playas y se tiene información de 25, entre las cuales predomina el tipo de playa lineal con barreras protectoras y arena

biogénica. La mayoría de las playas presentan erosión moderada y una intensa por causas naturales, aunque en 8 de ellas se advierten alteraciones por la actividad humana. Se recomienda poner en práctica medidas de protección y evitar el desarrollo de construcciones sobre el sistema duna-playa y en su entorno. En el futuro esta situación puede tender a empeorar.

Manglares y humedales

Entre Santa Lucía y Bahía de Chaparra hay parches de mangle moderadamente deteriorados, cuyo umbral de resiliencia es aun alto. Entre Bahía

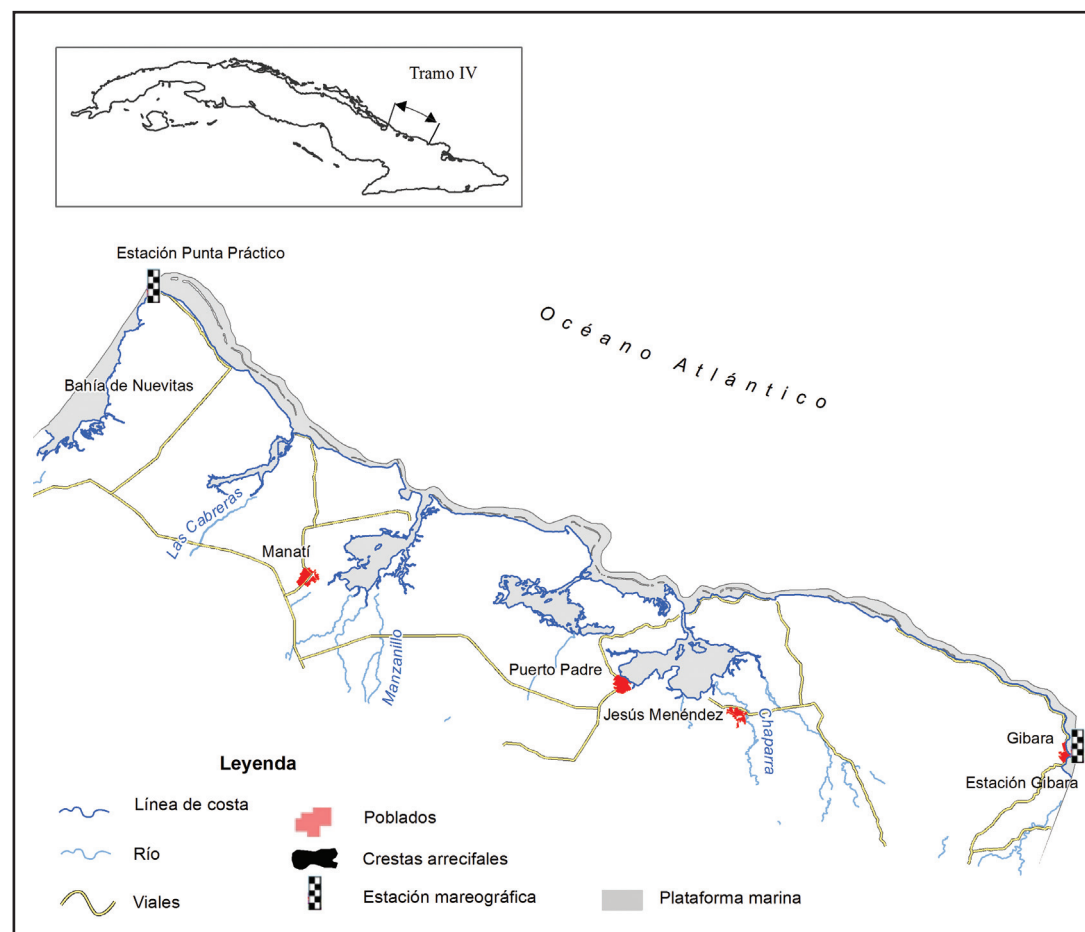


Fig. 26. Mapa del tramo IV.



de Chaparra y Gibara hay parches de mangle deteriorado en las bahías que están afectados por la urbanización, lo que ha colocado al ecosistema muy cerca del umbral de resiliencia. Se deben ejecutar acciones que permitan la restauración y conservación de los manglares como preparación para enfrentar la inundación por elevación del mar hasta el 2100.

Intrusión marina en acuíferos costeros

Las características de los acuíferos varían a lo largo del tramo (Anexo 6). Desde Puerto Padre a Chaparra está presente la intrusión salina debido a la baja acuosidad y alta explotación del acuífero, que está conformado por rocas del Mioceno de poco espesor, subyacentes por rocas efusivas, areniscas tobáceas, limolitas y calizas del Cretácico. Se recomienda controlar las extracciones de agua subterránea y prever un sistema de captación que impida la entrada de agua salobre o salada para evitar efectos muy nega-

tivos en el futuro. De Chaparra a Gibara las aguas están salinizadas con $SST > 1 \text{ G/L}$. El acuífero está desarrollado en rocas calcáreas, carsificadas, del Mioceno. Para conservar los recursos hídricos subterráneos hay que controlar la explotación.

Peligros hidrometeorológicos

Durante el período 1851 al 2005 los huracanes categoría 3, estuvieron asociados a una surgencia máxima de 1.66 m con períodos de máximo retorno de 1/23 Casos/Años. Los huracanes categoría 5, están asociados a una surgencia máxima de 4.67 m para un máximo de retorno de 1/124 Casos/Años. El Huracán Ike (7 de septiembre de 2008) produjo fuertes inundaciones por la surgencia y olas superiores a 6 m, que afectaron la ciudad de Gibara y el campo de aerogeneradores de playa Caletones.

Pronósticos hasta el 2050

Surgencia (S):

huracanes categoría 1 $S = 0.77 \text{ m}$, categoría 3 $S = 2.09 \text{ m}$ y categoría 5 $S = 4.11 \text{ m}$.

Sobreelevación de las olas promedio (SOP):

huracanes categoría 1 $SOP = 0.55 \text{ m}$, categoría 3 $SOP = 0.62 \text{ m}$ y de categoría 5 $SOP = 1.07 \text{ m}$.

Peor escenario de penetración del mar tierra adentro por eventos extremos hasta el 2050 se pronostica como promedio de 5.1 km y máxima de 16.82 km.



Fig. 27. Tramo de costa de Gibara donde se observa en primer plano el Parque Eólico.



Tramo V. De Gibara a Baracoa

Abarca los municipios Rafael Freyre, Banes, Antilla, Frank País, Moa y Baracoa (Fig. 28). Estas costas colindan con un sistema montañoso, con una densa red fluvial que arroja contaminantes al mar debido a la erosión y a las actividades económicas. Hay importantes poblaciones y sobre todo extenso laboreo minero a cielo abierto (para níquel y cobalto), plantas de procesamiento, puerto de embarque, y aprovisionamiento. La plataforma insular es estrecha o casi inexistente, orlada por crestas coralinas, con unos pocos cayos y algunas bahías. El tramo es muy vulnerable, pues está expuesto a los vientos alisios que provocan trenes de olas.

Corrientes marinas

En las aguas oceánicas cerca de la costa, predominan las corrientes al este y más alejadas al oeste, con velocidades entre 12 cm/s y 20 cm/s. Por el borde de la plataforma fluye una corriente hacia el oeste reforzada en ocasiones por la corriente de marea (Anexo 5).

Comportamiento de las mareas y ascenso del nivel del mar

Marea astronómica: semidiurna en su mayor parte con transición a semidiurna irregular en la Bahía de Nipe. La amplitud media histórica de la marea mayor de cada día es de 80 cm.

La velocidad lineal del ascenso del nivel medio del mar según el mareógrafo de Gibara alcanza 1.63 mm/año y en el resto del tramo no hay mediciones históricas.

Variabilidad estacional e interanual: el máximo estacional se ha observado en octubre y el mínimo en marzo. Las anomalías mensuales han alcanzado 27 cm sobre el nivel medio del mar. La anomalías estacionales pueden ser mayores que el incremento del nivel medio del mar pronosticado por el IPCC para el 2050 (27 cm). La marea astronómica más alta, además de la anomalía mensual más alta es de 78 cm hasta 107 cm.

Crestas coralinas

Tienen 140 km de longitud con dos crestas muy deterioradas (Grado 4), dos extremadamente deterioradas (Grado 5) y una deteriorada (Grado 3). Después del paso del huracán Sandy las crestas se deben haber deteriorado aun más hacia el oeste del tramo. Se pronostica extremo deterioro (con pérdida de la condición de arrecife) y aplanamiento hasta el 2100. Se trata de un sector muy expuesto a los vientos alisios con trenes de olas considerables.

Llanuras de pastos marinos

Se tiene información acerca del estado de los pastos solo en algunos puntos. Se recomienda el tratamiento de los residuales líquidos de origen industrial y albañal; una adecuada gestión de los residuos sólidos; evitar la eliminación de los pastos en zonas turísticas, ya que genera una mayor erosión de las playas; incluir los pastos marinos en los estudios de impacto ambiental ante posibles acciones de desarrollo turístico en la zona costera.

Playas

Hay 65 playas, pero solo se tiene información de 27. Predominan las playas lineales con barreras protectoras, aunque son numerosas las que

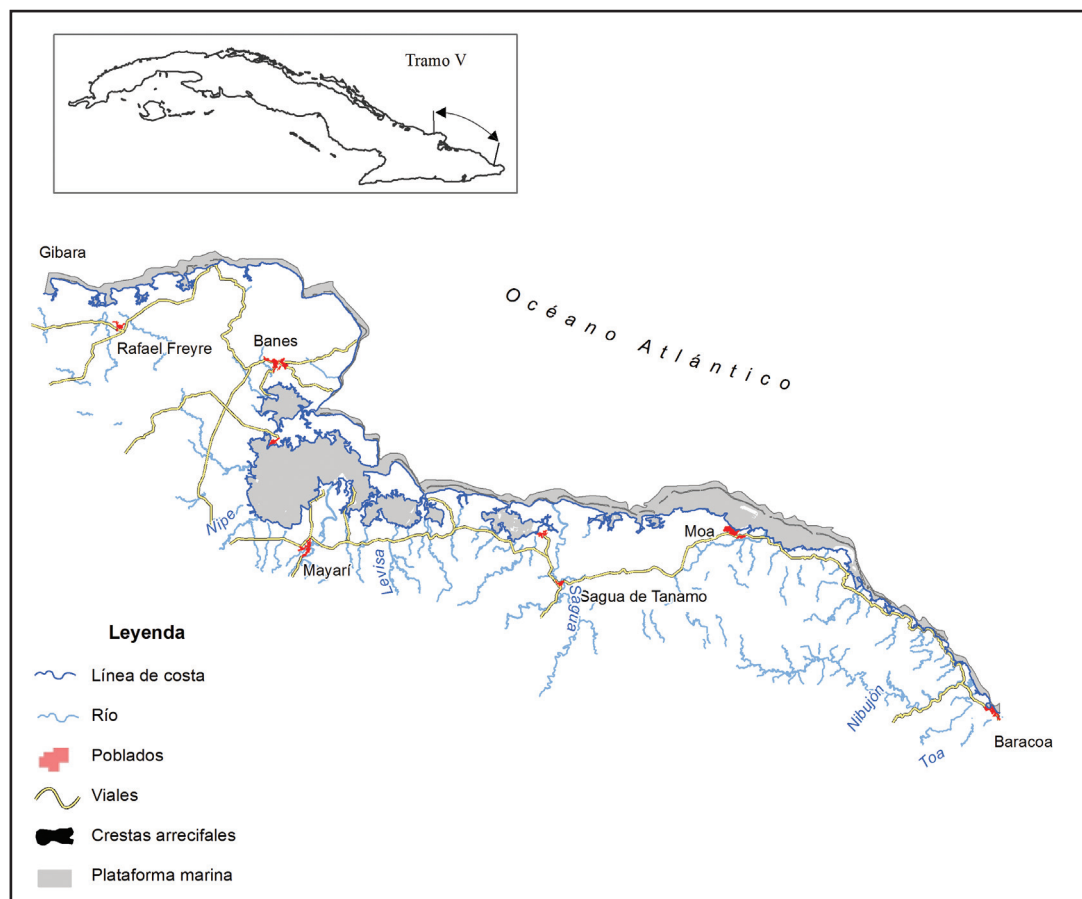


Fig. 28. Mapa del tramo V.



tienen forma de concha, también protegidas por barreras. La mayoría de las playas presentan arena biogénica; no obstante, también existen con arenas terrígenas. La mayoría presenta evidencias de erosión moderada y dos con erosión intensa. Las causas de la erosión son principalmente naturales, aunque en 15 se advierte la acción antrópica. En el futuro esta situación pudiera empeorar.

Manglares y humedales

Parches de mangle deteriorado por múltiples tensiones, entre las cuales se destaca el efecto de la minería que ha contaminado los ríos y las aguas en la plataforma, y ha reducido las áreas de manglares con las presas de cola. Se recomienda restaurar y conservar estos manglares, amenazados por el aumento del nivel del mar hasta el 2100, a fin de incrementar su resiliencia.



Fig. 29. Tramo V. Costa inundada durante un evento de oleaje extremo, Baracoa.

Intrusión marina en acuíferos costeros

Los acuíferos se desarrollan en rocas calcáreas, carsificadas, de edad Mioceno, aunque los acuíferos no son continuos (ver Anexo 6). En su zona litoral se presentan como franja continua de sedimentos turbo-cenagosos del Cuaternario con calizas, arenas y arenas subyacentes. Son acuíferos libres, de muy buena acuosidad y muy vulnerables a la intrusión salina, ya que presentan SST > 1 G/L en toda la extensión del tramo. Se deben controlar las extracciones.

Peligros hidrometeorológicos

Durante el período 1851 al 2005 los huracanes categoría 3, estuvieron asociados a una surgencia máxima de 4.82 m, con máximo retorno de 1/26 Casos/Años. Los huracanes categoría 5 están asociados a una surgencia máxima de 4.82 m con períodos de máximo retorno de 1/153 Casos/Años. El huracán Ike (7 de septiembre de 2008) provocó inundaciones fuertes por efecto de la surgencia y olas superiores a 6 m en la ciudad de Baracoa y áreas aledañas (Fig. 29). El huracán Hanna (1 de septiembre de 2008) provocó inundaciones moderadas por olas de leva con alturas superiores a 3 m en la costa norte de las provincias Guantánamo y Holguín.

Pronósticos hasta el 2050

Surgencia (S):

huracanes categoría 1 S = 0.77 m, categoría 3 S = 2.09 m y categoría 5 S = 4.11 m.

Sobreelevación de las olas promedio (SOP) para huracanes categoría 1 SOP = 0.55 m, categoría 3 SOP = 0.62 m y para categoría 5 SOP = 1.07m.

Peor escenario de penetración tierra adentro por eventos extremos como promedio de 1.63 km y máxima de 8.6 km.



Tramo VI. De Baracoa a Cajetón Blanco (oeste de Santiago de Cuba)

Abarca los municipios de Baracoa, Maisí, Imías, San Antonio del Sur, Caimanera, Niceto Pérez y Santiago de Cuba (Fig. 30). Esta costa rocosa tiene varias terrazas marinas, con una fuerte pendiente submarina, de manera que no hay cresta coralina (Fig. 31). Colinda con una región montañosa desde donde numerosos ríos desaguan en el mar. Las playas son de arena gruesa, expuestas al oleaje y solo hay unos pocos bosques de mangle. Hay algunas poblaciones costeras y dos ciudades, Santiago y Guantánamo con sus respectivas bahías.

Corrientes marinas

Predominan las corrientes al este con velocidades entre 8 cm/s y 30 cm/s, más intensas al sur de las bahías de Santiago de Cuba y Guantánamo. Cerca de la costa predomina una contracorriente que indica la salida de agua del Mar Caribe. En la zona de Baracoa, en el Paso de los Vientos, las corrientes oceánicas presentan predominio de sur-suroeste, sur y suroeste, provocando la entrada de agua al Mar Caribe (Anexo 5).

Comportamiento de las mareas y ascenso del nivel del mar

Marea astronómica: semidiurna irregular. La amplitud media histórica de la marea mayor de cada día varía de 80 cm a 50 cm por la parte sur del tramo.

La velocidad lineal del ascenso del nivel medio del mar, según el mareógrafo de Guantánamo, es 1.64 mm/año y el de Santiago de Cuba de -1.95 mm/año.

Variabilidad estacional e interanual: el máximo estacional se ha observado en octubre y el mínimo en febrero. Las anomalías mensuales han alcanzado 17 cm sobre el nivel medio del mar. La marea astronómica histórica más alta sumada a la anomalía mensual más alta varía entre 62 cm y 93 cm.

Crestas coralinas

En los 20.3 km de crestas hay información de tres, dos de las cuales se reportaron como casi sanas (Grado 2) y una deteriorada (Grado 2). Después del paso del huracán Sandy las crestas más occidentales del tramo se deben haber deteriorado considerablemente, sobre todo en Santiago de Cuba, donde se conoce que existe una gran destrucción de los arrecifes. Se pronostica deterioro adicional, quizás no extremo, así como algún grado de aplanamiento de las crestas hasta el 2100.

Llanuras de pastos marinos

No se tiene información reciente acerca del estado de los pastos marinos, pero la plataforma es estrecha y los pastos marinos se deben encontrar en bahías, caletas, etc. Los principales factores que los pueden estar afectando son el desarrollo urbano y la contaminación, sobre todo en la Bahía de Santiago de Cuba. Se recomienda el tratamiento de los residuales líquidos y una adecuada gestión de los residuos sólidos para controlar su flujo hacia el mar.

Playas

En el tramo hay 31 playas, se tiene información de 18. Predomina el tipo de playa en concha con barrera protectora, formadas principalmente por

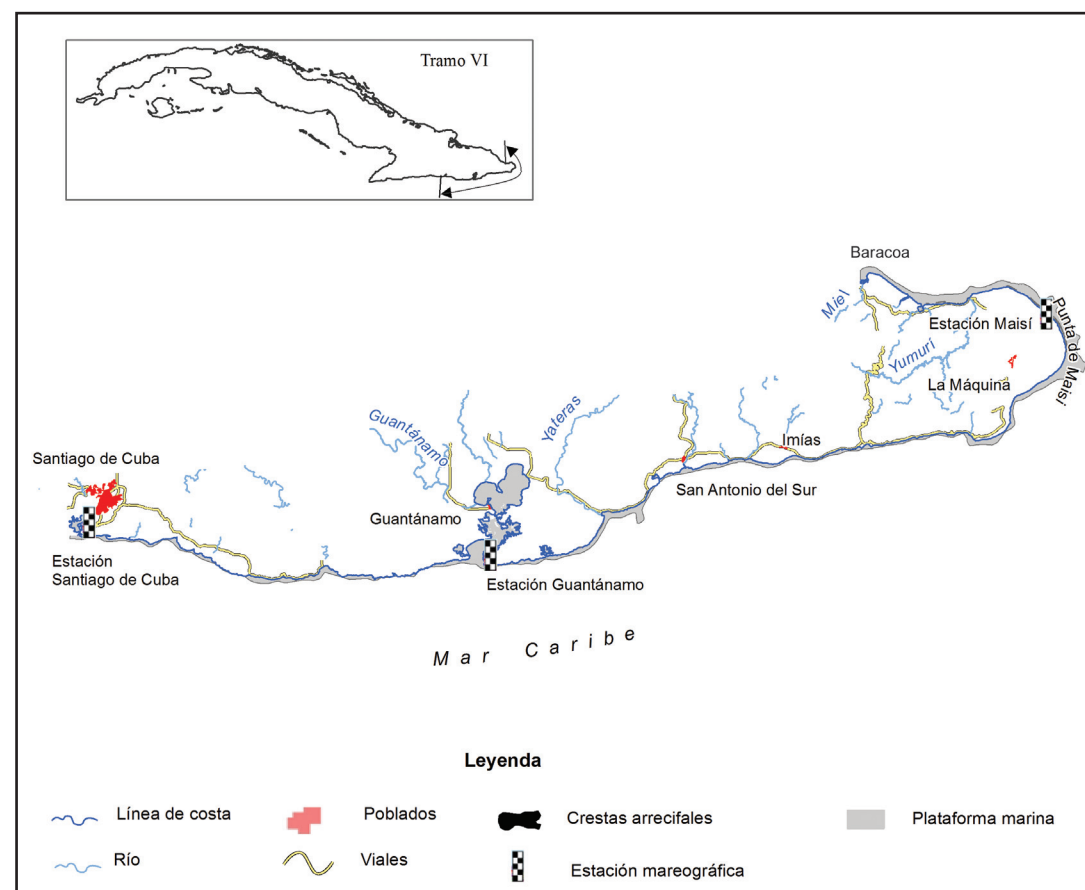


Fig. 30. Mapa del tramo VI.



arenas terrígenas, aunque existen algunas playas biogénicas. Son comunes los indicios de erosión moderada por causas naturales, aunque la actividad antrópica es significativa en numerosas playas. En el futuro esta situación puede empeorar.

Manglares y humedales

Parches moderadamente deteriorados, con alto umbral de resiliencia. Dada la situación de estos bosques es necesario protegerlos para no elevar su deterioro ulterior.

Intrusión marina en acuíferos costeros

Los acuíferos varían a lo largo del tramo (Anexo 6). Entre Bahía de Nipe y Baracoa por partes aparecen calizas algo carsificadas del Cuaternario, con acuíferos libre y abierto a la intrusión marina. Tienen muy poco espesor de agua dulce, de modo que sus recursos son limitados y vulnerables.



Fig. 31. Tramo VI. Costa aterrazada con hurcanolitos en Peñas Altas.

De Baracoa a Bahía de Guantánamo puede haber recursos de agua en las terrazas marinas. En la primera terraza de Maisí se encuentran aguas con intrusión marina, pero falta evaluar las otras terrazas formadas por calizas carsificadas.

Entre la Bahía de Guantánamo y Cajetón Blanco (oeste de la Bahía de Santiago de Cuba) solo resulta de interés la porción al oeste de la desembocadura del río Baconao, donde se extiende una faja de rocas calcáreas, carsificadas del Mioceno y Cuaternario que se utiliza para abasto de agua, incluso en Santiago de Cuba. Por su posición y la explotación excesiva está presente la intrusión de agua salina en el acuífero, de modo que es vulnerable a la elevación del nivel del mar, y puede elevar su salinidad.

Peligros hidrometeorológicos

Durante el período 1851 al 2005 los huracanes categoría 3 estuvieron asociados a una surgencia máxima de 2 m, con períodos de máximo retorno de 1/22 Casos/Años, y para los de categoría 5 ocurrieron surgencias máximas de 3.97 m, con períodos de máximo retorno de 1/168 Casos/Años. El huracán Dean (19 de agosto de 2007) provocó inundaciones fuertes en la costa de Santiago de Cuba con olas entre 3.5 m y 4.5 m, al igual que los huracanes Dennis (7 de julio de 2005) y Gilbert (12 de septiembre de 1988).

Pronósticos hasta el 2050

Surgencia (S): huracanes categoría 1 $S = 0.89$ m, categoría 3 $S = 2.43$ m y categoría 5 con $S = 2.43$ m.

Sobreelevación de las olas promedio (SOP): huracanes categoría 1 $SOP = 0.68$ m, categoría 3 $SOP = 0.92$ m y categoría 5 con $SOP = 1.64$ m.

Peor escenario por eventos extremos con penetración de tierra adentro con promedio de 0.15 km y máxima de 8.3 km.



Tramo VII. De Bahía Santiago (Cajetón Blanco) a Punta Farallones (Marea del Portillo)

Abarca la costa de Santiago de Cuba, Guamá y Pilón, en la vertiente sur de la Sierra Maestra, a donde desembocan numerosas corrientes fluviales y la pendiente marina es fuerte, de modo que apenas hay plataforma insular sin cresta coralina (Figs. 32 y 33). La costa abrupta tiene algunas ensenadas y caletas donde se encuentran playas de arenas muy gruesas y manglares. Hay algunas poblaciones cercanas a la costa, instalaciones turísticas hoteleras, así como una carretera muy vulnerable expuesta a la acción del oleaje y el viento.

Corrientes marinas

Predominan las corrientes al este con intensidades entre 8 cm/s y 20 cm/s. En el borde de la plataforma prevalecen las corrientes de marea débiles (velocidad media entre 4 cm/s y 9 cm/s). Más alejadas de la costa se pueden registrar giros anticiclónicos (Anexo 5).

Comportamiento de las mareas y ascenso del nivel del mar

Marea astronómica: semidiurna irregular con una amplitud media de la marea mayor de cada día de 50 cm.

La velocidad lineal del ascenso del nivel medio del mar, según el mareógrafo de Santiago de Cuba, es -1.95 mm/año.

Variabilidad estacional e interanual: el máximo estacional histórico se ha observado en octubre y el mínimo en febrero. Las anomalías mensuales históricas han alcanzado 17 cm sobre el nivel medio del mar.

Crestas coralinas

Tienen una longitud de 10 km, pero no se dispone de información. Teniendo en cuenta los sectores vecinos, se pronostica deterioro y aplanamiento hasta el 2100.

Llanuras de pastos marinos

No se tiene información acerca del estado de los pastos marinos. En esta zona la plataforma es estrecha y los pastos marinos se deben encontrar en bahías y estuarios.

Playas

En el tramo hay 25 playas y se tiene información de 10. Predomina el tipo de playa lineal sin barrera protectora, aunque existen algunas con forma de concha. Están formadas por arenas terrígenas, a veces extremadamente gruesas. Aproximadamente la mitad de las playas muestran indicios de erosión moderada y el resto no muestra erosión por causas naturales y

antrópicas. En el futuro esta situación puede tender a empeorar como ilustra el ejemplo del huracán Sandy que afectó fuertemente algunas playas.

Manglares y humedales

Parches de mangle moderadamente deteriorados que se deben conservar para mantener su resiliencia.

Intrusión marina en acuíferos costeros

Escasa franja acuífera poco estudiada en rocas poco porosas, fisuradas, muy vulnerables a la salinización por ascenso del nivel de mar (Anexo 6).

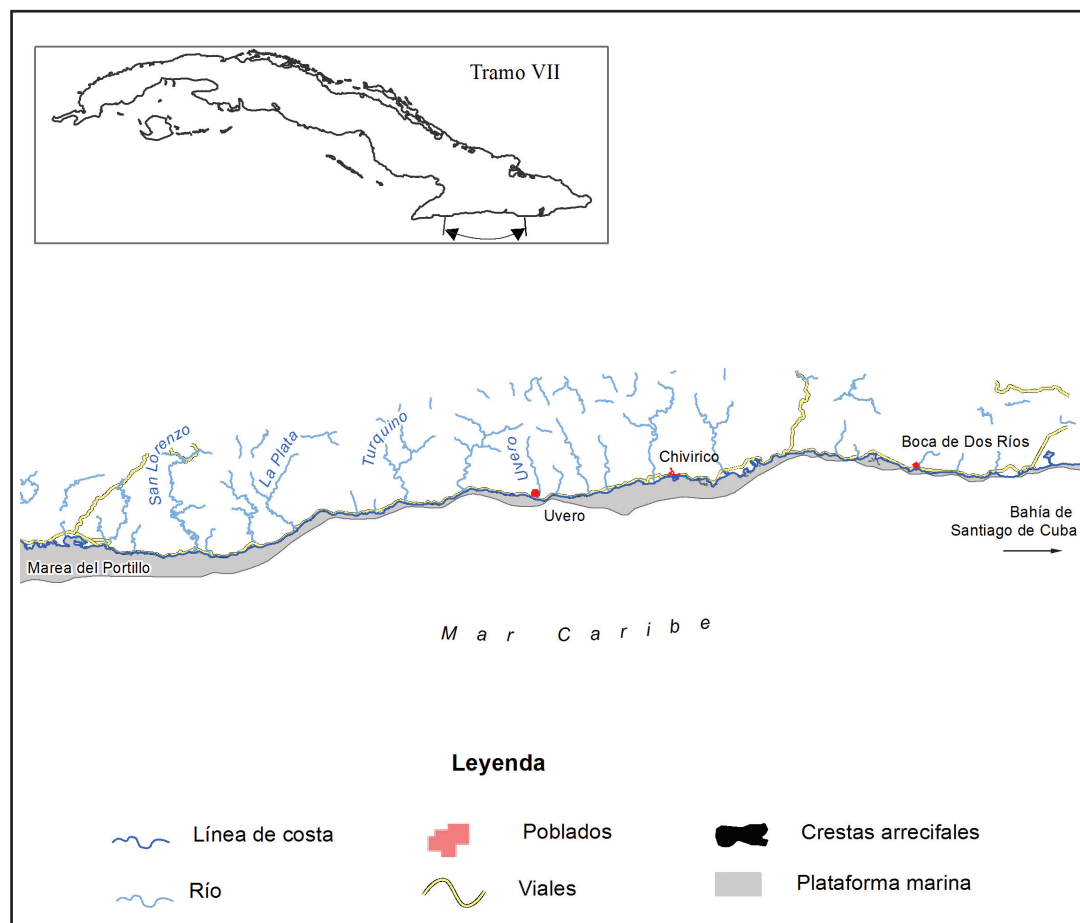


Fig. 32. Mapa del tramo VII.

Peligros hidrometeorológicos

Durante el período 1851 al 2005 los huracanes categoría 3, estuvieron asociados a una surgencia máxima de 2 m con períodos de máximo retorno de 1/20 Casos/Años, los categoría 5 estuvieron asociados a una surgencia máxima de 3.97 m con períodos de máximo retorno de 1/149 Casos/Años. Los huracanes Dennis (7 de julio de 2005), Dean (19 de agosto de 2007) y Gilbert (12 de septiembre de 1988) provocaron inundaciones fuertes en la costa sur de Granma, en ocasiones con olas entre 3.5 m y 4.5 m de altura.

Pronósticos hasta el 2050

Surgencia (S):

huracanes categoría 1 $S = 0.89$ m, categoría 3 $S = 2.43$ m, categoría 5 $S = 2.43$ m.

Sobreelevación de las olas promedio (SOP):

huracanes categoría 1 $SOP = 0.68$ m, categoría 3 $SOP = 0.92$ m, categoría 5 $SOP = 1.64$ m.

Peor escenario de penetración del mar tierra dentro por eventos extremos con promedio de 0.2 km y máxima de 1.31 km.



Fig. 33. Tramo VII. Costa Sur del Pico Turquino, Sierra Maestra.

Tramo VIII. De Punta Farallones (Marea del Portillo) a Cabo Cruz

Abarca la costa de Pílon y Niquero donde hay un buen desarrollo de terrazas marinas emergidas y una plataforma insular estrecha protegida por crestas coralinas y dos playas con arenas gruesas (Figs. 34 y 35). Se encuentran pocas instalaciones turísticas y poblaciones vulnerables al viento y el oleaje.

Corrientes marinas

Predominan las corrientes al este con velocidades medias entre 10 cm/s y 20 cm/s. En el borde de la plataforma prevalecen las corrientes de marea débiles menores de 10 cm/s (Anexo 5).

Comportamiento de las mareas y ascenso del nivel del mar

Marea astronómica: semidiurna irregular con una amplitud media histórica de la marea mayor de cada día de 80 cm.

La velocidad lineal del ascenso del nivel medio del mar, según el mareógrafo de Cabo Cruz, alcanzó 1.71 mm/año.

Variabilidad estacional e interanual: el máximo estacional histórico se ha observado en octubre y el mínimo en marzo. Las anomalías mensuales históricas han alcanzado 18 cm sobre el nivel medio del mar. La marea astronómica más alta, además de la anomalía mensual más alta alcanza 82 cm.

Crestas coralinas

Hay 3 km de crestas entre deterioradas (Grado 3) y muy deterioradas (Grado 4). Degradación extrema hasta el 2100.

Llanuras de pastos marinos

Se tiene información solo en algunos puntos donde los pastos no están afectados, aunque la plataforma es estrecha.

Playas

Se conocen dos playas, con información solo de Punta Hicacos, que es lineal sin barrera protectora, con una erosión intensa debido a la extracción de arena. En el futuro esta situación puede empeorar, pues es una costa muy expuesta al oleaje.

Manglares y humedales

Escasos parches de mangle moderadamente deteriorados.



Intrusión marina en acuíferos costeros

Acuíferos libres abiertos al mar, en rocas calizas y fisuradas, así como en terrazas aluviales, con aguas salinizadas, aunque están muy poco explotados, ya que son altamente vulnerables a la intrusión marina (Anexo 6).

Peligros hidrometeorológicos

Durante el período 1851 al 2005 los huracanes categoría 3 estuvieron asociados a una surgencia máxima de 2 m con períodos de máximo retorno de 1/19 Casos/Años, y los categoría 5 estuvieron asociados a una surgencia máxima de 3.97 m con períodos de máximo retorno de 1/145 Casos/Años). El huracán Dean (19 de agosto de 2007) provocó inundaciones fuertes en la

costa sur de Granma por olas entre 3.5 m y 4.5 m, así como los huracanes Dennis (7 de julio de 2005) y Gilbert (12 de septiembre de 1988).

Pronósticos hasta el 2050

Surgencia (S):

huracanes categoría 1 S = 0.89 m, categoría 3 S = 2.43 m y categoría 5 S = 2.43 m.

Sobreelevación de las olas promedio (SOP) durante huracanes categoría 1 SOP = 0.68 m, categoría 3 SOP = 0.92 m y categoría 5 SOP = 1.64m.

Peor escenario de penetración del mar tierra adentro por eventos extremos con promedio de 0.25 km y máxima de 2.15 km.

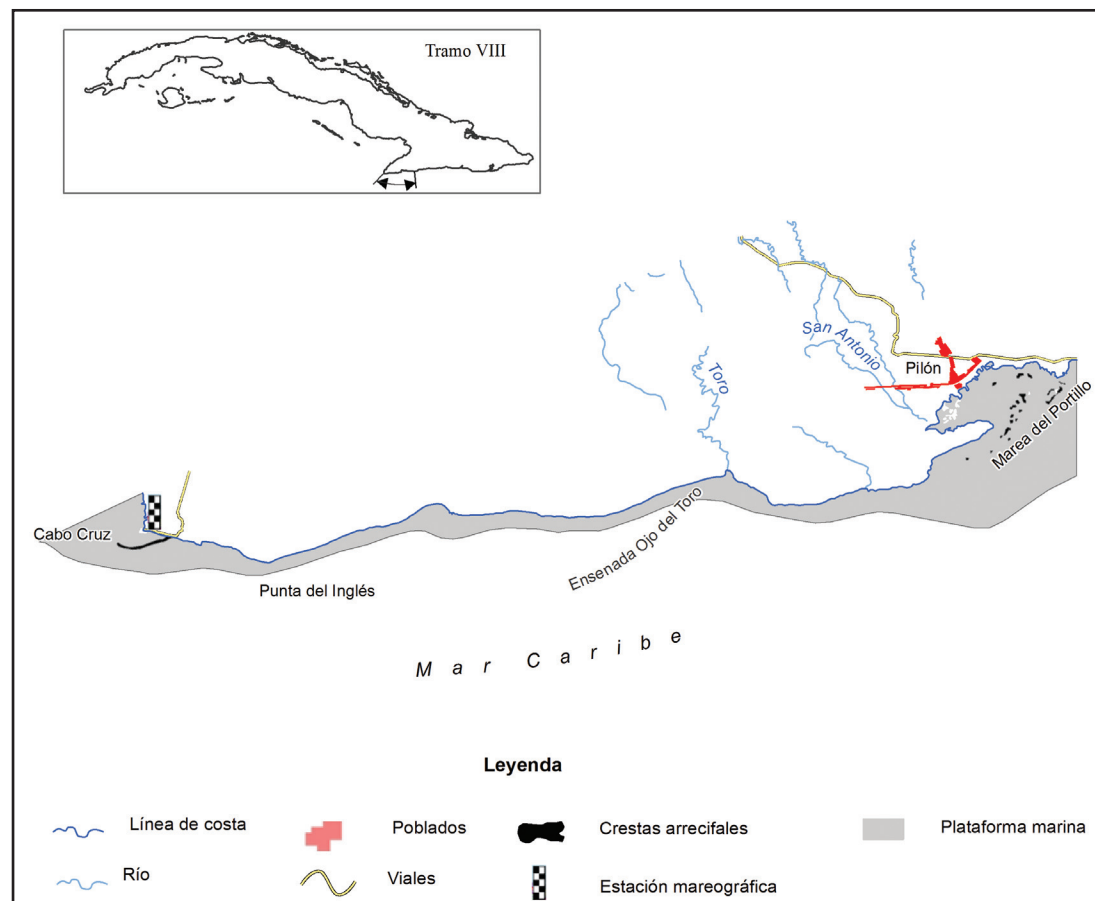


Fig. 34. Mapa del tramo VIII.



Fig. 35. Tramo VIII. Vista satelital de las terrazas de Cabo Cruz.



Tramo IX. De Cabo Cruz a Punta Birama y Archipiélago de los Jardines de la Reina

Abarca la costa de los municipios Niquero, Media Luna, Campechuela, Manzanillo, Yara, Río Cauto, Jobabo, Colombia, Amancio Rodríguez, Santa Cruz del Sur, Vertientes y Florida (Figs. 36 y 37), donde hay una amplia plataforma insular con numerosos crecimientos de corales y abundantes cayos, orlada por una cresta coralina bastante extensa. Hay playas de distintas dimensiones y extensos bosques de mangle, tanto en los cayos como en la costa de la isla. Incluye un par de áreas protegidas, de modo que el nivel de actividades humanas está parcialmente controlado. A la plataforma desembocan algunos ríos bastante caudalosos como el Cauto y el San Pedro. En esta costa hay po-

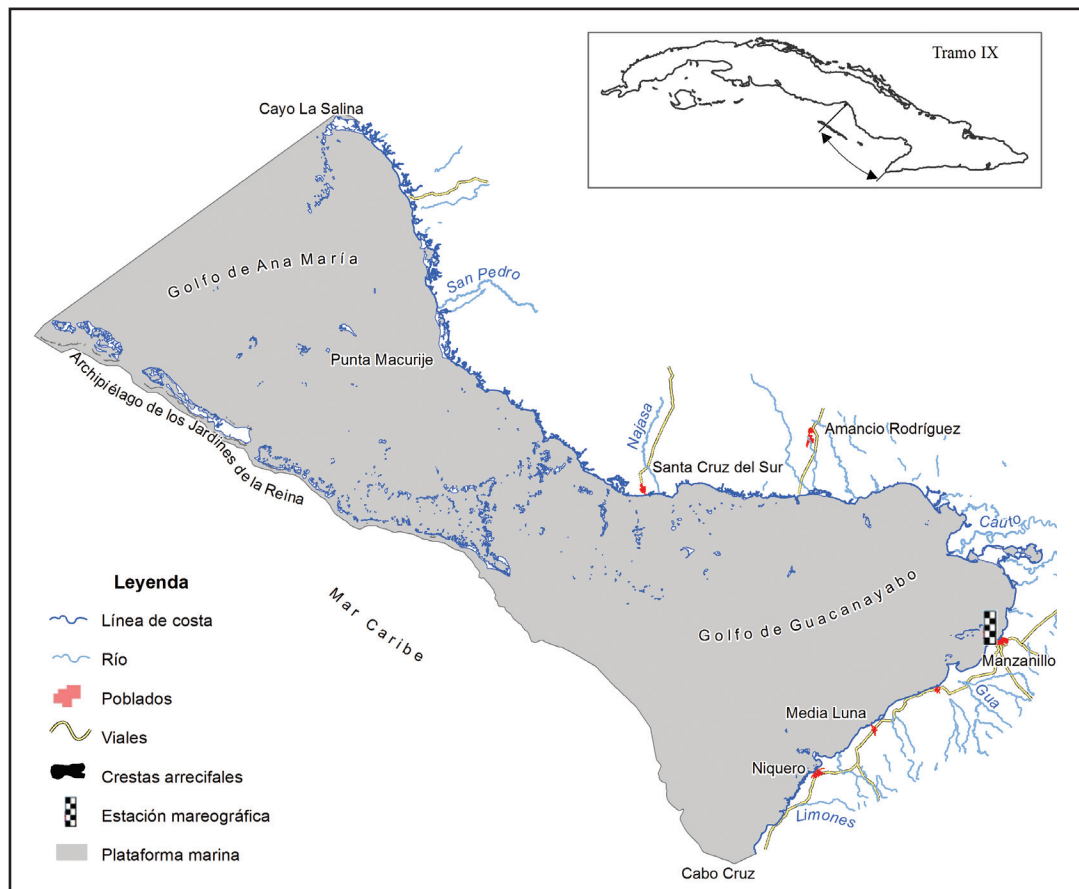


Fig. 36. Mapa del tramo IX.

blados grandes y comunidades pesqueras, con instalaciones industriales como Manzanillo y Santa Cruz del Sur.

Corrientes marinas

Predominan las corrientes al este con intensidades que no superan el nudo (51.4 cm/s). En el borde de la plataforma prevalecen las corrientes de marea débiles. En ocasiones se registran pequeños giros ciclónicos y anticiclónicos (Anexo 5).

Comportamiento de las mareas y ascenso del nivel del mar

Marea astronómica: semidiurna irregular con una amplitud media de la marea mayor de cada día de 50 cm.

No hay mediciones mareográficas disponibles de largo plazo en este tramo para calcular la tasa lineal de ascenso.

Variabilidad estacional e interanual: el máximo estacional histórico se ha observado en octubre y el mínimo en marzo. Las anomalías mensuales históricas han alcanzado 21 cm sobre el nivel medio del mar. La marea astronómica más alta, más la anomalía mensual más alta va desde 61 cm hasta 77 cm.

Crestas coralinas

Las crestas tienen una longitud de 46 km y predominan entre muy deterioradas (Grado 4) y extremadamente deterioradas (Grado 5). Solo al norte de Cayo Caballones hay una pequeña cresta en buen estado (Grado 1). Se pronostica la pérdida de la condición de arrecife hasta el 2100.

Llanuras de pastos marinos

Hay información solo en algunos puntos acerca del estado de los pastos en áreas protegidas situadas en los cayos de Jardines de la Reina y del Banco de Buena Esperanza donde no se reportan afectaciones. Es probable que haya problemas de erosión costera y contaminación en la rivera norte de los golfos de Ana María y Guacanayabo, debido a las construcciones en la zona costera y a la tala del manglar, pero no se ha estudiado. En las zonas más profundas de estos golfos no se han observado pastos marinos debido a la turbidez del agua. Se recomienda evitar la tala del frente de mangle y de la vegetación ribereña.

Playas

Se conocen 43 playas, 31 de ellas en los cayos y se tiene información de 14. La mayoría de las playas de los cayos son lineales con arenas biogénicas. Las playas interiores están situadas en puntas y ensenadas, con

terribles y arena calcárea superpuesta. La mayoría presenta indicios de erosión moderada por causas naturales, a excepción de algunas interiores como Playa Florida, que está muy deteriorada. En el futuro esta situación puede empeorar.

Manglares y humedales

En la costa sur de la isla hay extensos bosques de mangle con distinto grado de deterioro por erosión costera, que conforman una franja interrumpida por poblaciones costeras (playas Florida, Santa Cruz del Sur, Guayaba, Manzanillo, entre otras, donde se ha eliminado el manglar. Hay tramos donde faltan el mangle rojo y el mangle prieto de manera natural, sustituido por playas de arenas cuarzosas. El límite interior del bosque también está afectado por la agricultura y la ganadería. En este tramo es necesario proteger el bosque, detener la tala del mangle y reforestar para elevar su resiliencia ante la elevación del nivel del mar y aplicar lo establecido en el Decreto-Ley 212.

En los cayos del Archipiélago Jardines de la Reina hay extensos bosques de mangle con distinto grado de deterioro, generalmente por causas naturales quizás vinculadas a la erosión, donde se declaró un área protegida que debe procurar mejorar su salud en el futuro.

Intrusión marina en acuíferos costeros

En las costas del Golfo de Guacanayabo hay depósitos areno-arcillosos y gravoso-arenosos donde sobreyacen calizas carsificadas del Mioceno, cuya calidad está deteriorada por la intrusión marina (Anexo 6). Entre Guayabal y Santa Cruz del Sur la mayor explotación de los acuíferos ha incrementado la penetración de la salinidad.

Al sur de Camagüey hasta Punta Birama se encuentra un acuífero en rocas calizas carsificadas del Mioceno de gran espesor y alta acuosidad, afectado por la intrusión marina con SST > 1 G/L como resultado de la penetración natural del agua de mar y la sobreexplotación.

El Archipiélago de los Jardines de la Reina tiene una lámina poco profunda de agua dulce, subyacente por agua salobre en las arenas y calizas que conforman los acuíferos de limitadas dimensiones. En general el ascenso del nivel de mar afectará a toda esta región de forma negativa, de modo que se debe controlar su explotación y en la isla se deben tomar medidas para reducir la velocidad de avance de la cuña salina tierra adentro.

Peligros hidrometeorológicos

Durante el período 1851 al 2005 los huracanes categoría 3 estuvieron asociados a una surgencia máxima de 2.38 m con períodos de máximo retorno de 1/22 Casos/Años, y los categoría 5 estuvieron asociados a una

surgencia máxima de 4.66 m para períodos de máximo retorno de 1/163 Casos/Años. El huracán Paloma (8 de noviembre de 2008) provocó afectaciones en los cayos por la onda de surgencia y olas entre 8.0 m y 9.0 m de altura. En la isla hubo afectaciones a los pueblos de Santa Cruz del Sur y Guayabal. La tormenta tropical Fay (17 de agosto de 2008) provocó olas de 1.0 m a 1.5 m de altura en las aguas del golfo de Guacanayabo e inundación costera hasta 50 m en Santa Cruz del Sur.

Pronósticos hasta el 2050

Surgencia (S):

huracanes categoría 1 S = 0.97 m, categoría 3 S = 2.64 m y categoría 5 S = 5.24 m.

Sobreelevación de las olas promedio (SOP):

huracanes categoría 1 SOP = 0.68 m, categoría 3 SOP = 0.92 m y categoría 5 SOP = 1.64 m.

Peor escenario por penetración del mar tierra adentro por eventos extremos con promedio de 7.2 km y máxima de 24.15 km.



Fig. 37. Tramo IX. Costa erosionada al sur de Camagüey, Punta Macurije.

Tramo X. De Punta Birama a Boca del Guaurabo

Abarca la costa de los municipios Baraguá, Venezuela, la Sierpe, Sancti Spiritus y Trinidad (Fig. 38), donde hay una amplia plataforma insular que se estrecha hacia el oeste, un limitado desarrollo de crestas coralinas, algunos cayos con bosques de mangle bastante extensos y escasas playas. Colinda con una llanura desde donde desaguan algunos ríos, sobre todo el Zaza, con un delta bien desarrollado. Cerca de la costa hay poblaciones importantes e industrias que pueden generar contaminación. Está muy amenazada por los vientos y el oleaje.

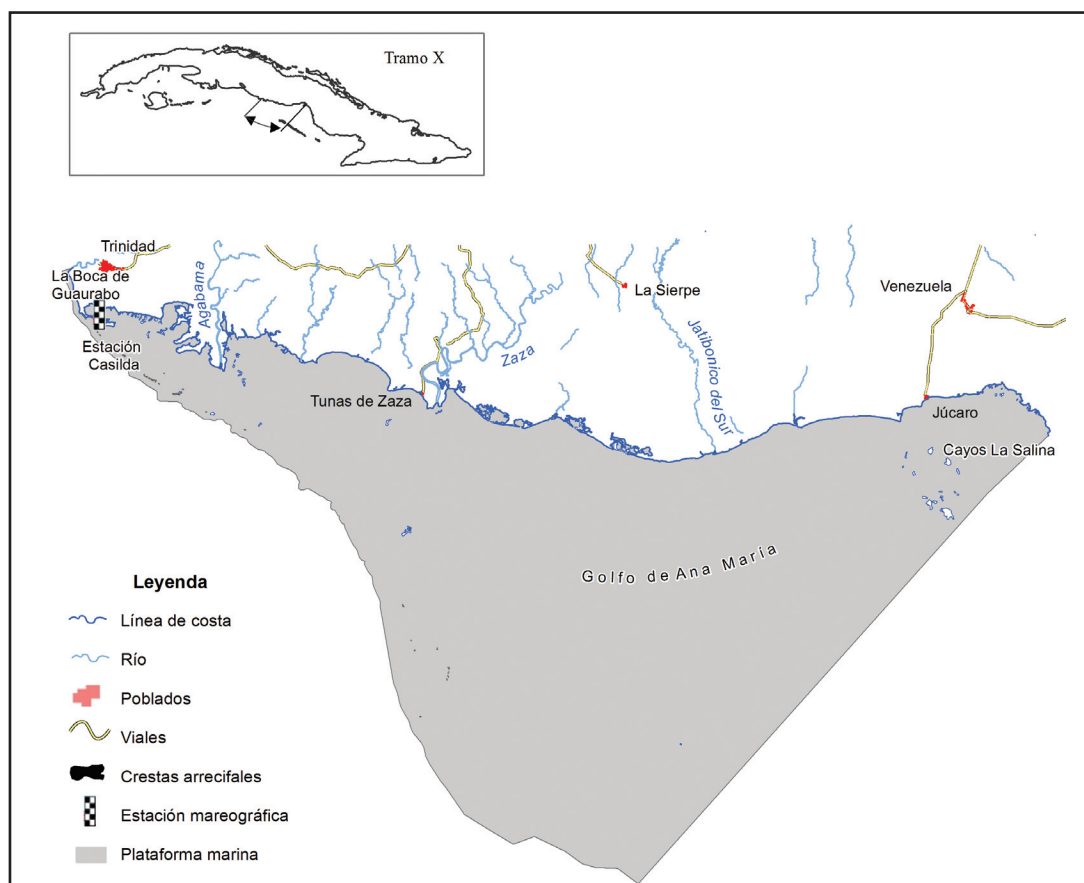


Fig. 38. Mapa del tramo X.

Corrientes marinas

Predominan las corrientes SSE a lo largo de la plataforma con velocidades inferiores a un nudo. Mar afuera, se observan giros anticiclónicos como resultado del encuentro de las corrientes al SSE y las corrientes del Caribe con dirección oeste (Anexo 5).

Comportamiento de las mareas y ascenso del nivel del mar

Marea astronómica: semidiurna irregular con una amplitud media de la marea mayor de cada día de 50 cm.

La tendencia histórica del ascenso del nivel medio del mar, según el mareógrafo de Casilda, es prácticamente cero (0.05 mm/año).

Variabilidad estacional e interanual: el máximo histórico estacional se ha observado en octubre y el mínimo en enero. Las anomalías mensuales históricas han alcanzado 15 cm sobre el nivel medio del mar.

Crestas coralinas

Las crestas tienen una longitud de 11 km y predominan entre muy deterioradas (Grado 4) y extremadamente deterioradas (Grado 5). Se pronostica extremo deterioro y pérdida de la condición de arrecife hasta el 2100.

Llanuras de pastos marinos

Hay información de pocos puntos como en Casilda, donde parece que están bien desarrollados, mientras que en los cayos de Ana María hay evidencias de afectación cerca de un pedraplén que limita el intercambio de las aguas. En las zonas más profundas del Golfo de Ana María no se han observado pastos marinos debido a la turbidez del agua.

Playas

En el tramo hay 6 playas y 3 con información, donde predomina el tipo lineal sin barrera protectora, formadas por arenas terrígenas. Presentan evidencias de erosión moderada por causas naturales y en el entorno de los asentamientos poblacionales en la costa donde algunas están totalmente destruidas. En el futuro esta situación puede empeorar, pues están expuestas al mar abierto.

Manglares y humedales

Los bosques de mangles se extienden conformando una franja casi continua, pero se han investigado solo en la Bahía de Casilda y Punta Ancón, donde tienen buena salud.

Intrusión marina en los acuíferos costeros

En gran parte existe un acuífero de calizas carsificadas de buen espesor y alta acuosidad, donde la sobreexplotación para la siembra de arroz (Sur del Jíbaro y La Sierpe) originó una importante intrusión salina marina tierra adentro. En la zona de Trinidad el acuífero tiene menor espesor y está algo afectada por la intrusión salina. Como son abiertos al mar, son muy vulnerables al ascenso del nivel del mar, de modo que se debe controlar la explotación hasta niveles adecuados (Anexo 6).

Peligros hidrometeorológicos

Durante el período 1851 al 2005 los huracanes categoría 3 estuvieron asociados a una surgencia máxima de 3.17 m, con períodos de máximo retorno de 1/20 Casos/Años) y para los huracanes categoría 5 una surgencia máxima de 6.28 m, con períodos de máximo retorno de 1/149 Casos/Años. El huracán Gustav (29 de agosto de 2008) provocó olas de 1.5 m a 2.0 m de altura en el Golfo de Ana María e inundación costera en Tunas de Zaza, Casilda y Playa La Boca de 10 m a 15 m.

Pronósticos hasta el 2050

Surgencia (S):
huracanes categoría 1 S = 0.97 m, categoría 3 S = 2.64 m y categoría 5 S = 5.24 m.

Sobreelevación de las olas promedio (SOP):

huracanes categoría 1 SOP = 0.54 m, categoría 3 SOP = 0.73 m y categoría 5 SOP = 1.41 m.

Peor escenario de penetración del mar tierra adentro por eventos extremos con promedio de 4.9 km y máxima de 17.05 km.

Tramo XI. De Boca del Guaurabo a Playa Larga (Bahía de Cochinos)

Abarca la costa de los municipios Cumanayagua, Cienfuegos, Abreu y el este de la Ciénaga de Zapata (Fig. 39, 40 y 41). Es una costa rocosa que colinda al este con montañas y al oeste con un extenso humedal. No hay plataforma insular porque el talud es abrupto. Algunos bosques de mangle y no pocas playas están en ensenadas y bahías. En la Bahía de Cienfuegos está localizada una extensa ciudad industrial.

Corrientes marinas

Predomina un giro anticiclónico y en ocasiones corrientes al este y sures-te con velocidades menores a un nudo (Anexo 5).

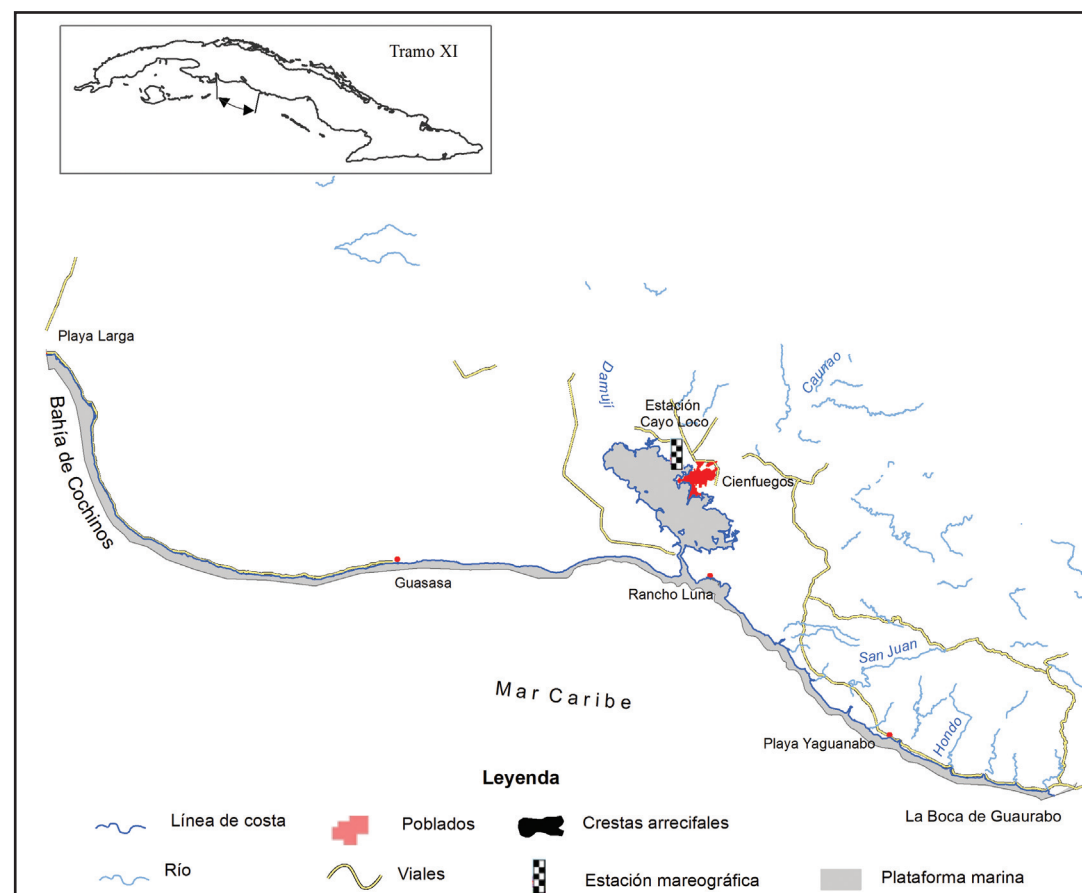


Fig. 39. Mapa del tramo XI.

Comportamiento de las mareas y ascenso del nivel del mar

Marea astronómica: semidiurna irregular con una amplitud media de la marea mayor de cada día de 50 cm.

La velocidad lineal del ascenso del nivel medio del mar, según el mareógrafo de Cayo Loco, alcanzó -0.21 mm/año.

Variabilidad estacional e interanual: el máximo estacional histórico se ha observado en octubre y el mínimo en enero. Las anomalías mensuales históricas han alcanzado 27 cm sobre el nivel medio del mar. La marea astronómica histórica más alta, además de la anomalía mensual más alta ha llegado a 57 cm.

Crestas coralinas

Tiene una extensión de 2 km y existe información de una cresta muy deteriorada (Grado 4) al este de la desembocadura de la bahía de Cienfuegos.

Llanuras de pastos marinos

En esta zona la plataforma es estrecha y los pastos marinos se encuentran solo en bahías, caletas y ensenadas. Se cuenta con información de pocos puntos donde se han observado afectaciones por el desarrollo urbano y la contaminación, principalmente en la Bahía de Cienfuegos.

Playas

De las 18 playas presentes hay información de 17, donde predomina el tipo lineal con barrera protectora y unas pocas sin protección, con arenas biogénicas y algunas excepciones, donde se advierte la mezcla de granos biogénicos y terrígenos. La mayoría no presentan indicios de erosión a excepción de aquellas con erosión moderada por causas naturales y antrópicas. En el futuro esta situación puede empeorar.

Manglares y humedales

Por tratarse de una costa rocosa solo se encuentran parches de mangle moderadamente deteriorados, que han sufrido afectaciones en el entorno de las poblaciones costeras. Al oeste de Cienfuegos, tierra adentro, se encuentran extensos bosques de mangle poco deteriorados en el área protegida de la Ciénaga de Zapata. La elevación del nivel del mar e inundación de las partes bajas con agua de mar puede modificar la estructura del bosque en el futuro.

Intrusión marina en acuíferos costeros

Desde Casilda (Guaurabo) hasta la Bahía de Cienfuegos los acuíferos están en las calizas carsificadas y otras rocas menos permeables, son libres y abiertos al mar, con muy poco espesor de agua dulce, que en algunas partes presenta elevada mineralización SST > 1 G/L, de manera que son altamente

vulnerables a la intrusión salina marina. Se explota en algunos tramos, lo que puede elevar su salinidad en el futuro (Anexo 6).

Al oeste de la Bahía de Cienfuegos el acuífero está en las calizas carsificadas, con agua dulce que flota sobre aguas salinizadas, y que sobrepasa con creces el 1G/L; con manantiales de agua dulce (SST < 1 G/L) que brotan desde el fondo del mar. Por tratarse de una zona turística, se debe evitar aumentar la explotación, ya que en el futuro la salinidad debe aumentar naturalmente al elevarse más el nivel del mar.

Peligros hidrometeorológicos

Durante el período 1851 al 2005 los huracanes categoría 3 estuvieron asociados a una surgencia máxima de 3.17 m, con períodos de máximo retorno de 1/20 Casos/Años y los categoría 5 estuvieron asociados a una surgencia máxima de 6.28 m, con períodos de máximo retorno de 1/149 Casos/Años. Los ciclones tropicales Lili (1996), Irene (1999) y Michelle (2001), y el huracán Gustav (30 de agosto de 2008), con olas entre 3.0 m y 4.0 m, provocaron surgencias en Cienfuegos e inundaciones en los barrios Reina y Punta Gorda.

Pronósticos hasta el 2050

Surgencia (S):

huracanes categoría 1 S = 0.97 m, categoría 3 S = 2.64 m, categoría 5 S = 5.24 m.

Sobreelevación de las olas promedio (SOP):

huracanes categoría 1 SOP = 0.54 m, categoría 3 SOP = 0.73 m, categoría 5 SOP = 1.41 m.

Peor escenario de penetración del mar tierra adentro por eventos extremos con promedio de 0.45 km y máxima de 24.2 km.



Fig. 40. Tramo XI. Costa al sureste de Cienfuegos.

Tramo XII. De costa sur de Playa Larga a Cabo Francés y Archipiélago de Los Canarreos

Abarca la costa de los municipios Ciénaga de Zapata (oeste), Unión de Reyes, Nueva Paz, San Nicolás, Güines, Melena del Sur, Batabanó, Quivicán, Güira de Melena, Alquizar, Artemisa, Candelaria, San Cristóbal, Los Palacios, Consolación del Sur, Pinar del Río, San Luis, San Juan y Martínez, y Guane (Fig. 42). Toda la costa sur de la isla es cenagosa, con extensos bosques de mangle muy afectados y algunas playas que en su mayoría se han perdido. La amplia plataforma insular está protegida por cayos y crestas coralinas, pero está muy afectada por causas antrópicas, ya que fue objeto de pesca extensiva en el pasado y de contaminación, tanto desde las poblaciones costeras como por la agricultura con la aplicación de productos químicos. En cambio, los cayos tienen bosques de mangle bastante bien preservados. La mayor parte de las poblaciones costeras están diezmadas, quedando comunidades de pescadores como La Coloma, con instalaciones industriales y el puerto de cabotaje de Surgidero de Batabanó. El Archipiélago de los Canarreos presenta instalaciones turísticas en Cayo Largo del Sur, donde hay extensas playas muy vulnerables, pues están desprovistas de protección ante el mar abierto.

Corrientes marinas

En este tramo predominan las corrientes al este y en ocasiones un giro anticiclónico alejado de la costa con lento movimiento al oeste (Anexo 5).

Comportamiento de las mareas y ascenso del nivel del mar

Marea astronómica: semidiurna irregular por el sur de la Península de Zapata y con fuerte influencia de la fricción del fondo por el norte hasta el río Hatibonico; con fuerte disipación de la onda de marea y predominio de la influencia meteorológica, con una amplitud media histórica de la marea mayor de cada día de 50 cm en las inmediaciones de la Bahía de Cochinos hasta menos de 25 cm, y por el norte del Golfo de Batabanó, hacia el este, hasta La Coloma.

No hay mediciones mareográficas disponibles de largo plazo en este tramo para calcular la tasa lineal de ascenso.

Variabilidad estacional e interanual: el máximo estacional histórico se ha observado en septiembre y el mínimo en febrero. Las anomalías estacionales históricas han alcanzado los 21 cm. La marea astronómica histórica más alta, además de la anomalía mensual más alta es de 57 cm a 59 cm.

Crestas coralinas

Desde la ensenada de Cazones hasta Cayo Guano hay crestas sanas (Grado 1) y muy deterioradas (Grado 4); la de Cayo Czones constituye un caso de estudio por su excelente preservación. Es probable que, a excepción de Cayo Czones y quizás la de Médanos Vizcainos, las otras crestas sufran degradación y pérdida de su condición de arrecife hasta el 2100.

Desde Cayo Guano hasta Punta del Este las crestas están entre muy deterioradas (Grado 4) y extremadamente deterioradas (Grado 5); y desde Punta Francés hasta Cabo Francés solo existe una cresta en Cayo San Felipe, la que está extremadamente deteriorada (Grado 5). Se pronostica extremo deterioro y pérdida de la condición de arrecife hasta el 2100.

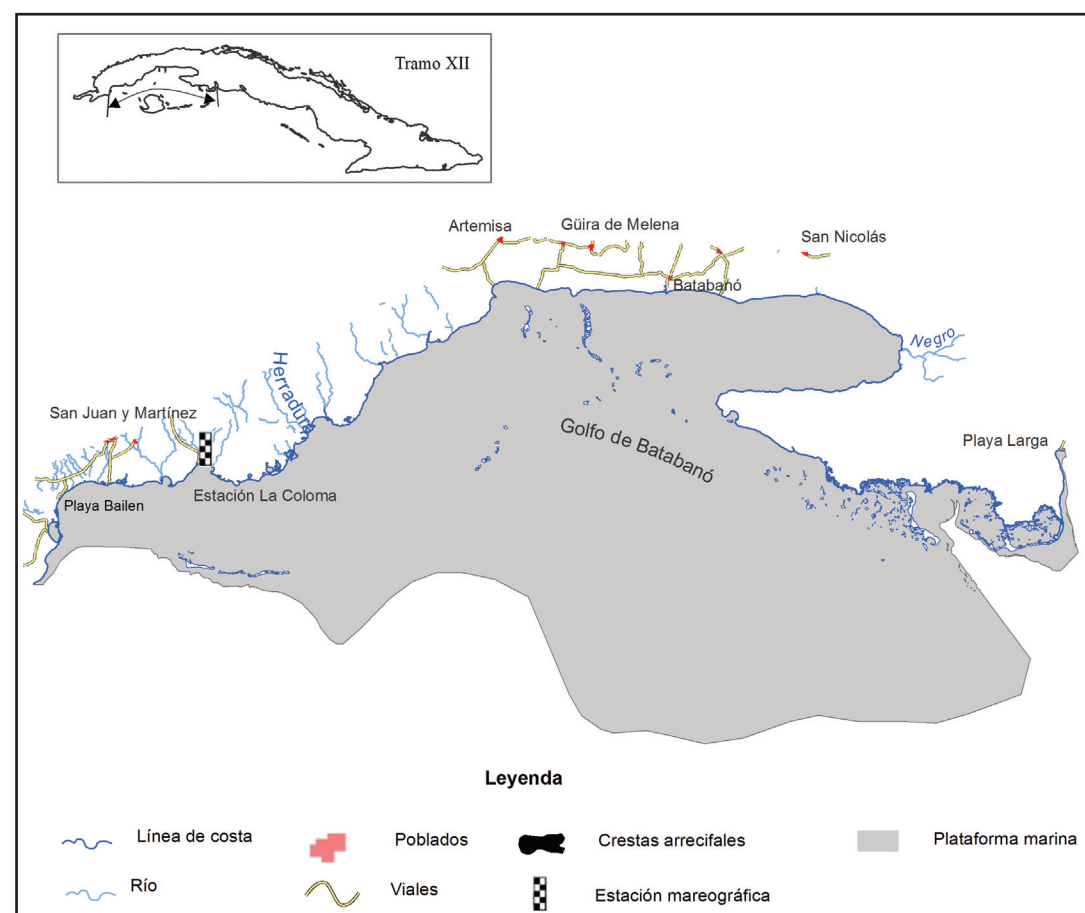


Fig. 41. Mapa del tramo XII.

Llanuras de pastos marinos

Los pastos marinos en el Golfo de Batabanó están deteriorados por tratarse de una región muy afectada por actividades humanas de pesca, transportación y la existencia de numerosos poblados costeros (La Coloma, Playa Cajío, Surgidero de Batabanó y Mayabeque), donde se produce erosión costera, tala del manglar y emisión de contaminantes, unido a la frecuente incidencia de los huracanes. Se ha estimado la pérdida entre 1990 y 2005 del 13 % al 26 % del área cubierta por pastos marinos (Fig. 42).

Playas

El tramo cuenta con 27 playas, de ellas 8 en los cayos, y se tiene información de 22. En las playas exteriores predomina el tipo lineal, protegidas por barreras o por cayos, que en su mayoría son de arenas biogénicas, mientras las playas interiores tienen mezcla de arenas biogénicas y terrígenas. Algunas playas de la costa de Mayabeque y Artemisa están totalmente destruidas por la presencia de asentamientos costeros y en general predominan las playas con indicios de erosión moderada. En Los Canarreos existen extensas playas con arenas calcáreas oolíticas que a menudo están muy erosionadas hasta

el nivel de la duna, y que ahora funcionan como proveedoras de arena. En algunos tramos de Cayo Largo del Sur la playa se ha trasladado tierra adentro, erosionando completamente la duna ya inactiva. Sin embargo, al suroeste hay crecimiento de la playa al desplazarse la arena a lo largo de la costa debido a las corrientes marinas. En el futuro la erosión de estas playas puede empeorar por la elevación del nivel del mar y la incidencia de los huracanes.

Manglares y humedales

De Zanja La Cocodrila a Majana hay extensos bosques de mangle deteriorado, ya que se talaron, desbrozaron y canalizaron, cortados por diques y viales, además de asentamientos que han cambiado la calidad de la cobertura arbórea y la pérdida de la franja de mangle rojo sobre todo entre Surgidero de Batabanó y Punta Mora. De Majana a Cabo Francés los extensos bosques de mangle, casi continuos, están moderadamente deteriorados. Es importante que se lleven a cabo acciones para restaurar los manglares y elevar su resiliencia ante el paso de huracanes y la elevación del nivel del mar. En los cayos del interior los manglares están bien estructurados y se observa su crecimiento lateral. En Los Canarreos tienen afectaciones locales por la actividad antrópica.

Intrusión marina en acuíferos costeros

En toda la costa se encuentran acuíferos en rocas calizas carsificadas, libres y comunicados con el mar, con gran espesor de agua dulce que se reduce hacia la costa, donde alimentan el humedal, la ciénaga y descargan en el mar. En general las aguas se encuentran químicamente estratificadas, incrementándose la salinidad con la profundidad de norte a sur (ver mapa Anexo 6).

Entre Playa Larga (Bahía de Cochinos) y Punta Mogote la mineralización de las aguas subterráneas alcanza de 3 G/L a 10 G/L, aunque no existen muchas captaciones en este tramo. Desde Punta Mogote hasta Playa Majana (Punta Sucia) la intrusión salina marina se extiende por toda la franja litoral, penetrando muchos kilómetros tierra adentro, ya que fue sobreexplotada para abastecer a la capital, a otras poblaciones y para uso agrícola. En esta costa se encuentra el Dique Sur, diseñado para contrarrestar los efectos de la intrusión salina marina. Debido a que este acuífero, vulnerable a la elevación del nivel del mar, es muy necesario para el abastecimiento, se debe estudiar la posibilidad de nuevas obras de alimentación y reducir el avance de la cuña salina. Entre Playa Majana (Punta Sucia) y Punta Francés muchas fuentes de agua subterránea se han abandonado por la existencia o el peligro potencial de contaminación salina.



Fig. 42. Tramo XIII. Costa erosionada en el caserío El Cajío.

Peligros hidrometeorológicos

Durante el período 1851 al 2005 los huracanes categoría 3 estuvieron asociados a una surgencia máxima de 3.70 m, con períodos de máximo retorno de 1/11 Casos/Años, y los huracanes categoría 5, están asociados a una surgencia máxima de 4.27 m, con períodos de máximo retorno de 1/137 Casos/Años. Los ciclones tropicales Lili (1996), Irene (1999) y Michelle (2001) produjeron surgencias en los cayos. El huracán Gustav (30 de agosto de 2008) provocó afectaciones por onda de surgencia en la costa sur de los municipios Los Palacios, Consolación del Sur, San Cristóbal y Candelaria en Pinar del Río, con penetración hasta 5 km. En Artemisa y Guanímar, con altura de la ola en el golfo de Batabanó de 2.0 m a 2.5 m y penetración hasta 2 km. El huracán Charley (13 de agosto de 2004) produjo afectaciones por onda de surgencia en los municipios Batabanó, Güira de Melena y Melena del Sur. El avance del mar fue hasta 1.5 km y 2.0 km. Los huracanes Isidore (20 de septiembre de 2002) y Lili (1 de octubre de 2002) provocaron inundaciones y surgencia en Playa Galafre, provincia Pinar del Río. El huracán Michelle (4 de noviembre de 2001) provocó afectaciones fuertes a instalaciones hoteleras o recreativas de Cayo Largo del Sur con olas entre 7.0 m y 8.0 m. El huracán Irene (15 de octubre de 1999) afectó los municipios Batabanó, Güira de Melena y Melena del Sur, con penetración del mar hasta 1.5 km y 2.0 km.

Pronósticos hasta el 2050

Surgencia (S):

huracanes categoría 1 S = 1.09 m, categoría 3 S = 3.06 m y categoría 5 S = 5.87 m.

Sobreelevación de las olas promedio (SOP):

huracanes categoría 1 SOP = 0.57 m, categoría 3 SOP = 0.82 m y categoría 5 SOP = 1.43 m.

Peor escenario de penetración del mar tierra adentro por eventos extremos con promedio de 8.1 km y máxima de 47.2 km.

Tramo XIII. De Cabo Francés a Cabo San Antonio

Incluye la costa sur de la Península de Guanahacabibes en el municipio Sandino (Fig. 43); constituida por terrazas marinas, donde se encuentra una estrecha plataforma insular orlada por crestas coralinas. Las playas son abundantes y tienen explotación turística, mientras que tierra adentro se encuentran extensos bosques de mangle. Al tratarse de un área protegida, la incidencia humana está controlada, pero está muy expuesta a los huracanes y a las marejadas.

Corrientes marinas

Al sureste de Cabo Francés fluye la corriente de marea de intensidad débil, siendo ligeramente más fuerte hacia el oeste, cuando es reforzada

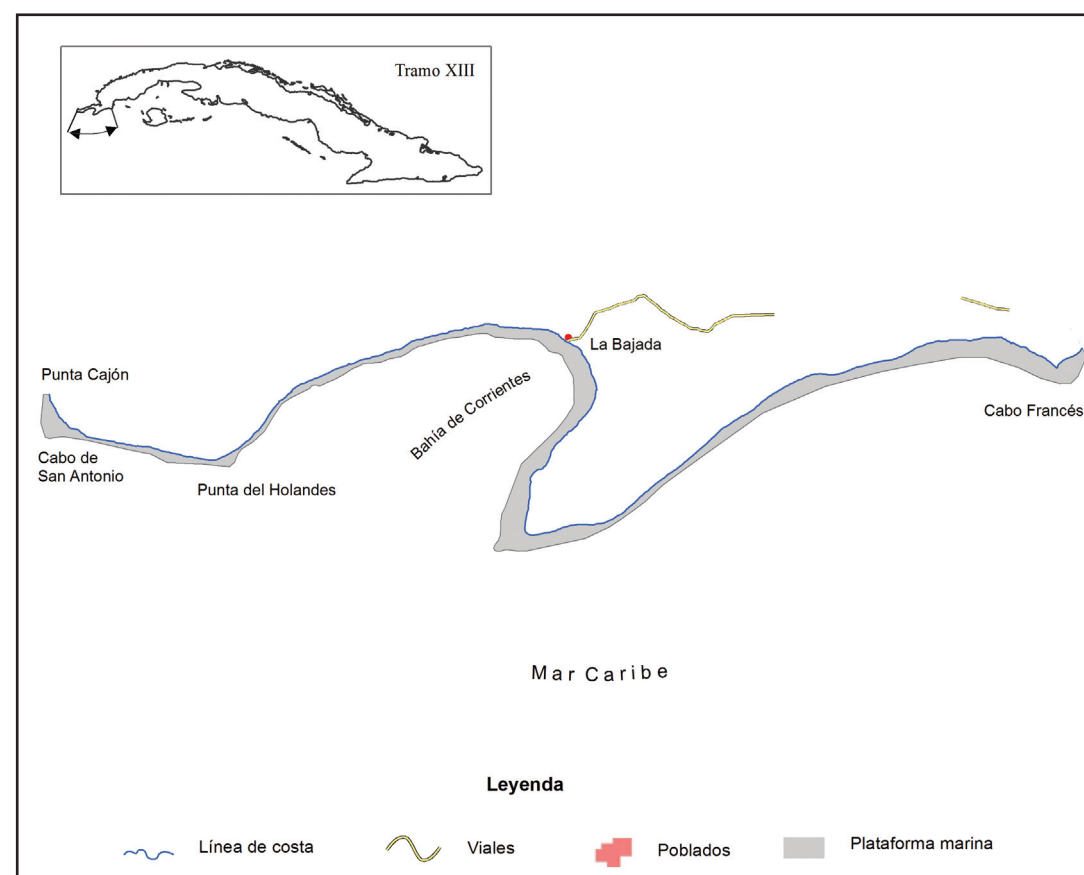


Fig. 43. Mapa del tramo XIII.

por los vientos del este y por la corriente que fluye del Golfo de Batabanó hacia el Mar Caribe. En ocasiones se registra un amplio giro ciclónico entre Cabo Francés y la Isla de la Juventud (Anexo 5).

Comportamiento de las mareas y ascenso del nivel del mar

Marea astronómica: semidiurna irregular con una amplitud media de la marea mayor de cada día de 50 cm.

No hay mediciones mareográficas disponibles de largo plazo en este tramo para calcular la tasa lineal de ascenso.

Variabilidad estacional e interanual: el máximo estacional histórico se ha observado en septiembre y el mínimo en febrero. Las anomalías estacionales históricas han alcanzado los 21 cm. La marea astronómica histórica más alta más la anomalía mensual más alta es de 59 cm.

Crestas coralinas

Todas las crestas están extremadamente deterioradas (Grado 5). Se pronostica el total aplanamiento hasta el 2100.

Llanuras de pastos marinos

No se tiene información.

Playas

En el tramo hay 16 playas; se tiene información de 14. Predomina el tipo de playa en concha con barrera protectora, formadas por arenas biogénicas, con indicios de erosión moderada a intensa, principalmente por causas naturales. En el futuro esta situación puede empeorar.

Manglares y humedales

No hay manglares costeros.

Intrusión marina en acuíferos costeros

En las calizas arrecifales y arenas se desarrollan acuíferos libres de mediano espesor, de variada mineralización en sus aguas (Anexo 6). Existen surgencias de agua dulce en el mar cerca del litoral, aunque predominan los valores de SST algo superior a 1 G/L. Se explotan con cierta intensidad en las partes más interiores del tramo, lo que ha provocado intrusión salina en Las Martinas y Cortés. Están muy afectadas por la elevación del nivel del mar.

Peligros hidrometeorológicos

Durante el período 1851 al 2005 los huracanes categoría 3 estuvieron asociados a una surgencia máxima de 2.27 m, con períodos de máximo

retorno de 1/18 Casos/Años y los categoría 5 estuvieron asociados a una surgencia máxima de 7.34 m, con períodos de máximo retorno de 1/184 Casos/Años. Los huracanes Gilbert (13 de septiembre de 1988) e Iván (12 de septiembre de 2004) provocaron olas entre 5.0 m y 6.0 m de altura que afectaron algunos equipos del faro Carapachibey.

Pronósticos hasta el 2050

Surgencia (S):

huracanes categoría 1 S = 1.09 m, categoría 3 S = 3.06 m y categoría 5 S = 5.87 m.

Sobreelevación de las olas promedio (SOP):

huracanes categoría 1 SOP = 0.57 m, categoría 3 SOP = 0.82 m y categoría 5 SOP = 1.43 m.

Peor escenario de penetración del mar tierra adentro por eventos extremos con promedio de 0.5 km y máxima de 5.4 km.



Tramo XIV. De costa sur de Isla de la Juventud de Cabo Francés a Punta del Este

Abarca la costa sur del municipio Isla de la Juventud (Fig. 44). Es una costa rocosa con terrazas marinas, que presenta algunas playas y parches de bosque de mangle protegidos por una plataforma insular estrecha y por crestas coralinas. Colinda con una ciénaga tierra adentro, de modo que la contaminación es moderada, apenas desde pequeños poblados pesqueros y centros turísticos (Cocodrilo, Colony, etc.).

Corrientes marinas

Al sur de la Isla de la Juventud por lo general el flujo es hacia el este. Lejos de la costa pueden existir temporalmente giros ciclónicos que se desplazan hacia el oeste (ver mapa Anexo 5).

Comportamiento de las mareas y ascenso del nivel del mar

Marea astronómica: semidiurna irregular con una amplitud media de la marea mayor de cada día menor de 25 cm.

No hay mediciones mareográficas disponibles de largo plazo en este tramo para calcular la tasa lineal de ascenso.

Variabilidad estacional e interanual: el máximo estacional histórico se ha observado en septiembre y el mínimo en febrero. Las anomalías estacionales históricas han alcanzado los 21 cm. La marea astronómica más alta sumada a la anomalía mensual más alta: 56 cm.

Crestas coralinas

Tienen 27 km y están muy deterioradas (Grado 4) y en un caso, extremadamente deterioradas (Grado 5). Se pronostica extremo deterioro y aplanamiento hasta el 2100.

Llanuras de pastos marinos

No se tiene información reciente acerca del estado de los pastos marinos, pero como la plataforma es estrecha, los pastos se deben encontrar en caletas, estuarios y en aguas protegidas por la cresta coralina.

Playas

En el tramo hay 4 playas y se tiene información de 3. Predomina la playa lineal de arenas biogénicas con barrera protectora y hay indicios de erosión moderada por causas naturales. En el futuro esta situación puede empeorar.

Manglares y humedales

Escasos parches de mangle poco deteriorado. Esta área está bajo la influencia del paso frecuente de huracanes y tormentas tropicales.

Intrusión marina en acuíferos costeros

Acuífero en rocas calizas carsificadas del Mioceno, cubiertas de sedimentos cuaternarios. Mucha acuosidad con intrusión salina en toda el área, de origen natural y por la sobreexplotación. Hay agua dulce sobrenadando la salada, en un equilibrio muy inestable. La Ciénaga de Lanier en su parte occidental y oriental presenta cuñas de intrusión salina, de modo que es muy vulnerable a las afectaciones por la elevación del nivel del mar (Anexo 6).

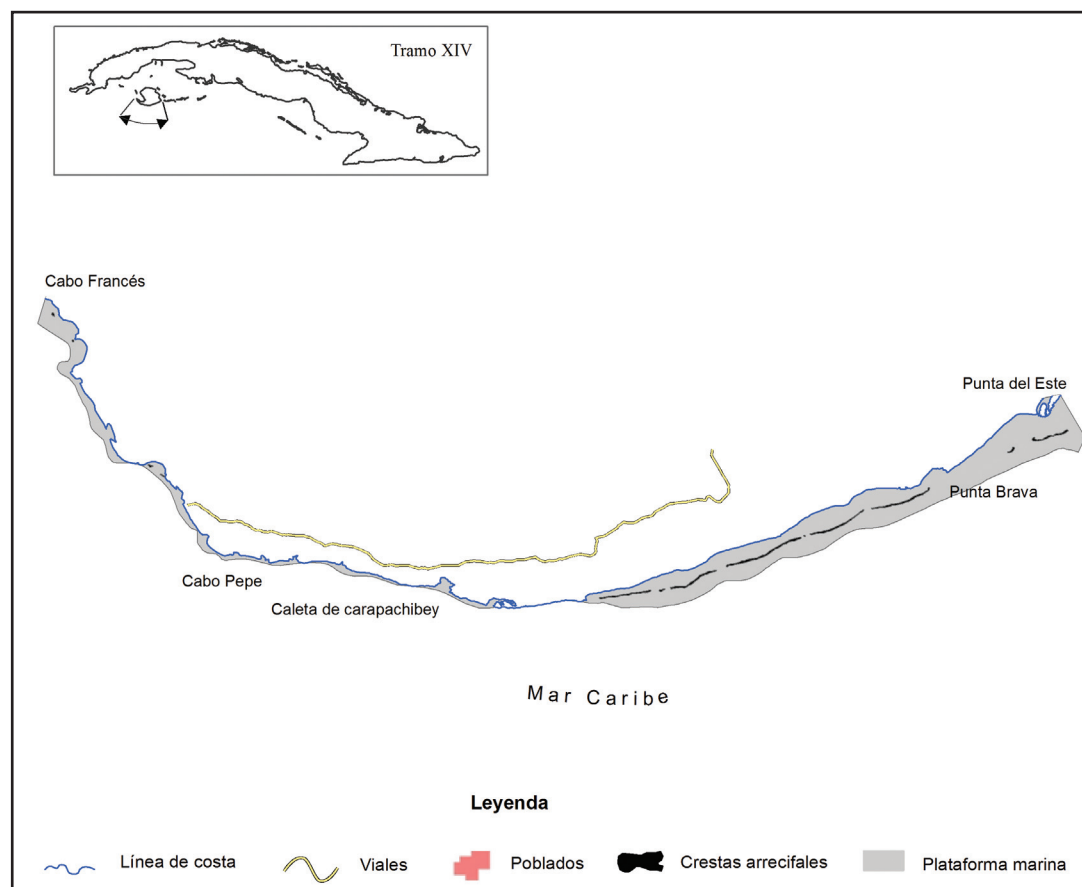


Fig. 44. Mapa del tramo XIV.



Peligros hidrometeorológicos

Durante el período 1851 al 2005 los huracanes categoría 3 estuvieron asociados a una surgencia máxima de 2.27 m, con períodos de máximo retorno de 1/18 Casos/Años y los huracanes categoría 5, con una surgencia máxima de 7.34 m, en un período máximo de retorno de 1/184 Casos/Años. La sobreelevación máxima del nivel del mar (SMNM) por arrastre de los sures fue: Playa Majana 1.25 m, Playa Guanímar 1.44 m, Playa Cajío 1.05 m, Surgidero de Batabanó 1.19 m, Playa Mayabeque 0.94 m, Playa Rosario (SMNM) = 2.25 m, Playa Caimito 1.29 m, y Playa Tasajera 0.93 m.

Pronósticos hasta el 2050

Surgencia (S):

huracanes categoría 1 S = 1.09 m, categoría 3 S = 3.06 m y categoría 5 S = 5.87 m.

Sobreelevación de las olas promedio (SOP):

huracanes categoría 1 SOP = 0.57 m, categoría 3 SOP = 0.82 m y categoría 5 SOP = 1.43 m.

Peor escenario de penetración del mar tierra adentro por eventos extremos con promedio de 1.2 km y máxima de 7.4 km.

Tramo XV. De Isla de la Juventud de Cabo Francés a Punta del Este por el norte

Abarca las costas este, norte y oeste de la Isla de la Juventud, que colindan con la extensa plataforma insular de Batabanó (Fig. 45). Son terrenos bajos, interrumpidos por algunas crestas rocosas, con extensos bosques de manglar y pocas playas. Hay un grupo de poblaciones costeras con instalaciones industriales y un puerto de cabotaje en Gerona. Se trata de costas relativamente protegidas, aunque con el paso de los huracanes pueden sufrir profundas alteraciones.

Corrientes marinas

En el interior del Golfo de Batabanó predominan las corrientes de marea débiles a moderadas, ligeramente fuertes en los estrechos y canales que atraviesan las cayerías. En el centro del golfo se registran corrientes de marea rotatorias. El desplazamiento neto de las aguas es de este a oeste propiciado por los vientos predominantes (Anexo 5).

Comportamiento de las mareas y ascenso del nivel del mar

Marea astronómica: semidiurna irregular con una amplitud media de la marea mayor de cada día menor de 25 cm.

No hay mediciones mareográficas disponibles de largo plazo en este tramo para calcular la tasa lineal de ascenso.

Variabilidad estacional e interanual: el máximo estacional histórico se ha observado en septiembre y el mínimo en febrero. Las anomalías estacionales históricas han alcanzado los 21 cm. La marea astronómica histórica más alta, más la anomalía mensual más alta suman 37 cm.

Crestas coralinas

Tramo sin crestas.

Llanuras de pastos marinos

Existen extensiones de pastos marinos que funcionan como sitios de alimentación y refugio del manatí antillano como la ensenada de la Siguanea y el oeste de la Isla de la Juventud, los cuales no están casi afectados, no obstante se han encontrado evidencias de contaminación al menos por el río Las Casas. Si se mantienen las condiciones actuales es posible que los pastos no se afecten mucho, aunque se recomienda evitar el aumento de la afluencia de contaminantes al mar.

Playas

En el tramo hay cinco playas, pero solo se tiene información de dos. Son de tipo lineal sin barrera protectora, con arenas terrígenas y terrígeno-bio-



genas, que presentan erosión moderada por causas naturales y antrópicas. En el futuro esta situación puede empeorar (Fig. 46).

Manglares y humedales

Bosques extensos de mangle poco deteriorados que mantienen buen grado de salud. El paso frecuente de huracanes y tormentas tropicales tiene una baja incidencia sobre el funcionamiento y la estructura del manglar.

Intrusión marina en acuíferos costeros

Las rocas acuíferas presentan intrusión salina en el río Las Casas, que afecta el acuífero que abastece a Nueva Gerona (Anexo 6).

Peligros hidrometeorológicos

Durante el período 1851 al 2005 los huracanes categoría 3, estuvieron asociados a una surgencia máxima de 2.27 m, con períodos de máximo retorno de 1/18 Casos/Años, y los categoría 5, a una surgencia máxima de 7.34 m, con períodos de máximo retorno de 1/84 Casos/Años. En octubre de 1944 en Guanímar y el Cajío, costa sur de la provincia de La Habana, el mar penetró entre 10 km y 6 km respectivamente. El huracán Charley con una surgencia de 4 m arrasó de nuevo el asentamiento costero de Playa Cajío. Durante el paso de los ciclones tropicales (Lili de 1996, Irene de 1999 y Michelle del 2001) se produjeron surgencias significativas en el sur de La Habana. El huracán Gustav (30 de agosto de 2008) produjo afectaciones por onda de surgencia a la costa oriental de la Isla de la Juventud. El agua penetró hasta 6 km en la región de Nueva Gerona.

Pronósticos hasta el 2050

Surgencia (S):

huracanes categoría 1 S = 0.94 m, categoría 3 S = 2.55 m y categoría 5 S = 4.9 m.

Sobreelevación de las olas promedio (SOP):

huracanes categoría 1 SOP = 0.57 m, categoría 3 SOP = 0.82 m y categoría 5 SOP = 1.43m.

Peor escenario de penetración del mar tierra adentro por eventos extremos con promedio de 2.2 km y máxima de 16.6 km.

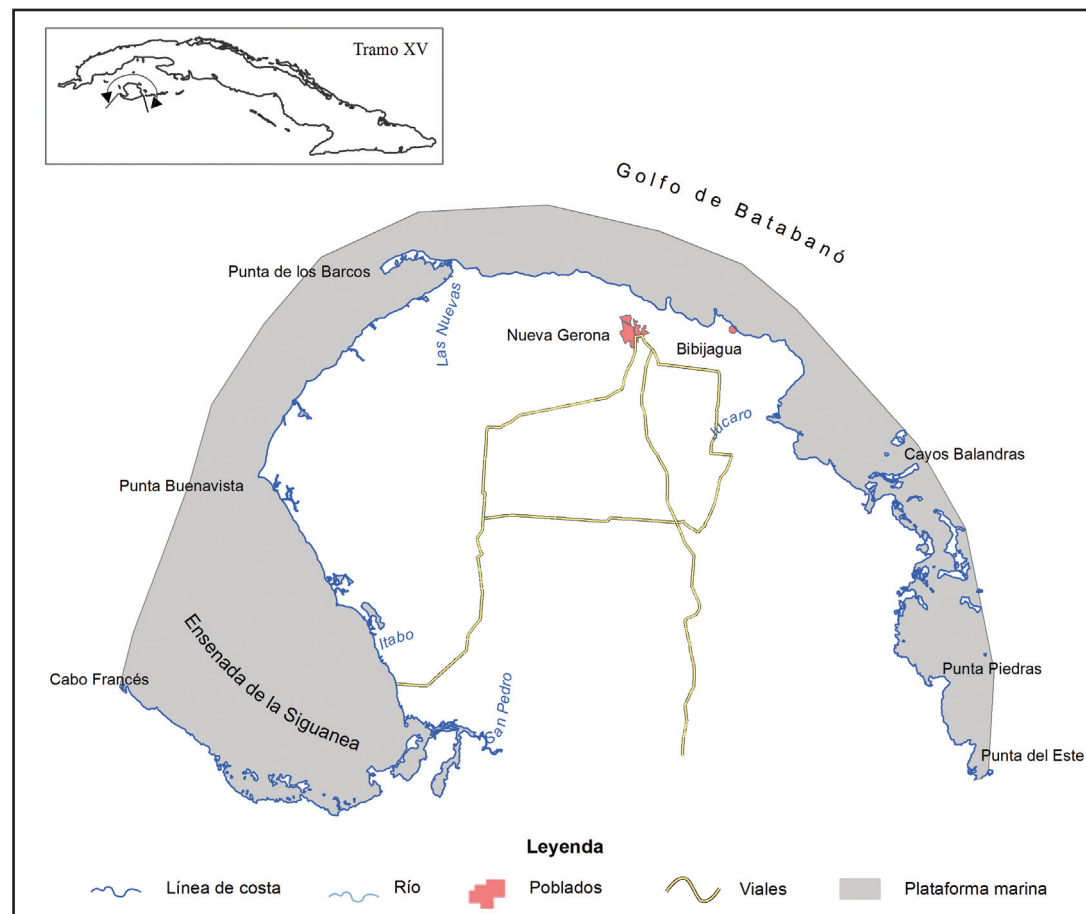


Fig. 45. Mapa del tramo XV.



Fig. 46. Tramo XV. Playa Bibijagua, playa con sargaso al norte de la Isla de la Juventud.



Susceptibilidad de las zonas marino-costeras

Las zonas marino-costeras de Cuba presentan distintos grados de vulnerabilidad ante la elevación progresiva del nivel del mar, en dependencia del estado de salud de los ecosistemas y la morfología del tramo en cuestión. Esta vulnerabilidad está determinada por la susceptibilidad de los ecosistemas y se corresponde con el grado en que, debido a su estado actual y nivel de deterioro, el ecosistema ha perdido su capacidad de proteger las costas. La estimación de la susceptibilidad se estableció, para cada tramo (Fig. 47), por la combinación de factores, tanto geólogo-geomorfológicos (Fig. 2) como del nivel de deterioro de los ecosistemas (Fig. 11, Anexos 3 y 4), los cuales han venido sufriendo los embates de distintos eventos negativos y presentan un alto grado de exposición al peligro (Anexos 7 y 8). La tabla 6 resume el estado de cada ecosistema en cada tramo costero (Fig. 2).

Teniendo en cuenta el análisis realizado por un conjunto de expertos, tramo por tramo, se llegó a la conclusión de que las zonas marino-costeras

de Cuba se pueden subdividir en tres categorías de susceptibilidad (alta, media y baja) ante las amenazas derivadas de la elevación progresiva del nivel medio del mar y eventos asociados como se aprecia en la figura 49.

- Tramos de alta susceptibilidad: I Cabo San Antonio-Punta Gobernadora, III Península de Hicacos-Nuevitás, IX Cabo Cruz-Cayo la Salina, X Cayo la Salina-Boca del Guanayara, XII Playa Larga-Cabo Francés, XV Francés-Punta del Este.
- En estos tramos es necesario tomar medidas urgentes para preservar los ecosistemas y proteger la infraestructura social.
- Tramos de media susceptibilidad: I Archipiélago de los Colorados, II Punta Gobernadora-Playa Camacho, IV Nuevitás-Gibara, XIV Punta del Este-Francés.
- En estos tramos es necesario tomar medidas urgentes para preservar los ecosistemas y aumentar su resiliencia, a fin de incrementar su pa-

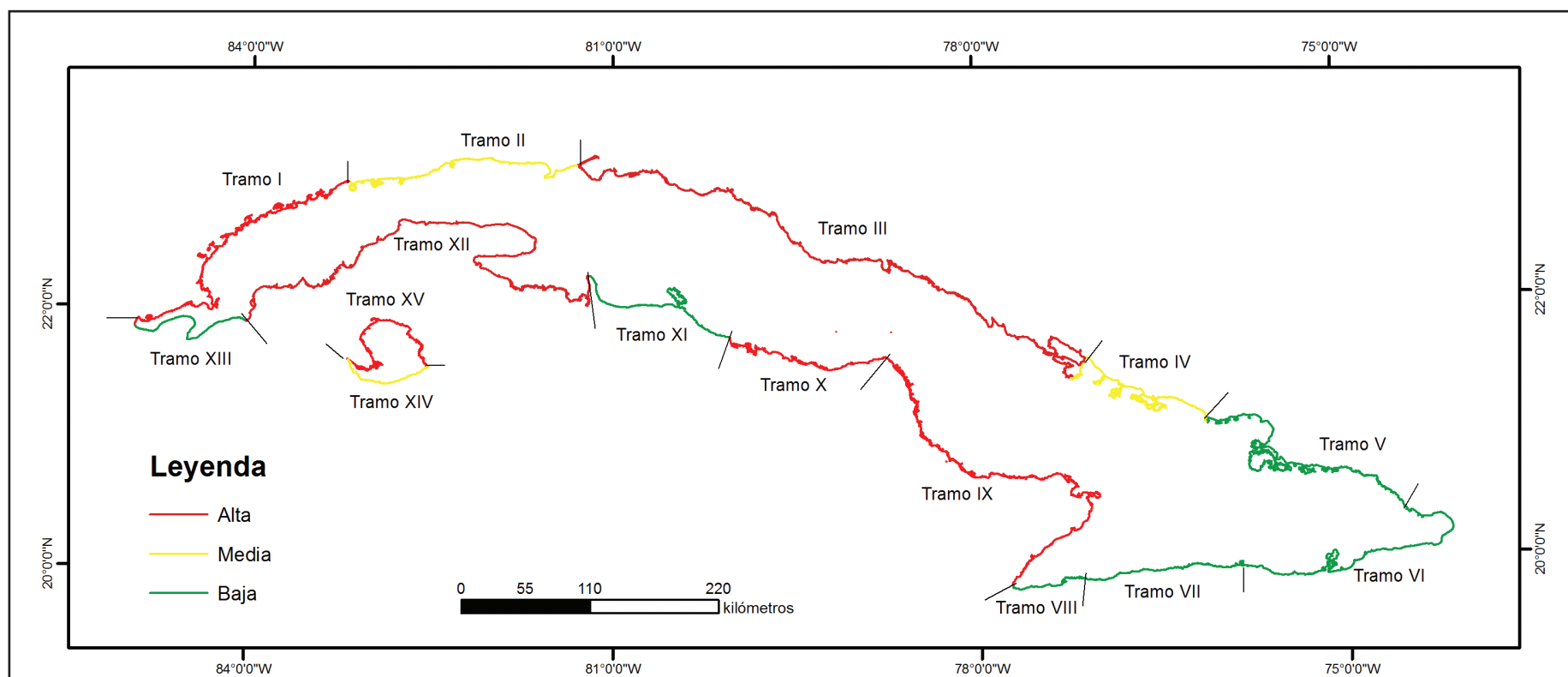


Fig. 47. Mapa de la susceptibilidad costera ante las amenazas derivadas de la elevación progresiva del nivel del mar y eventos asociados.



pel protector y reducir las vulnerabilidades. Asimismo, para proteger la infraestructura social, se deben realizar estudios de factibilidad para comenzar cuanto antes a tomar medidas para la protección progresiva de la infraestructura social.

- Tramos de baja susceptibilidad: V Gibara-Baracoa, VI Baracoa-Bahía de Santiago de Cuba,
- VII Bahía de Santiago de Cuba-Marea del Portillo, VIII Marea del Portillo Cabo Cruz,

- XI Boca del Guanayara-Playa Larga, XIII Cabo Francés-Cabo San Antonio.

En estos tramos se deben proteger los ecosistemas para aumentar su resiliencia, de modo que se reduzca su velocidad de deterioro, siempre que sea posible y económicamente viable. La infraestructura también se debe proteger, pero el grado de urgencia es menor.

Tabla 6. Resumen del estado de los ecosistemas en cada uno de los tramos costeros

Tramos característicos	Estado de las crestas coralinas	Estado de los pastos marinos	Estado de los manglares	Estado de las playas	Nivel de susceptibilidad de las costas derivado del estado actual de los ecosistemas
I Predomina la costa baja semi-inundada	Deterioradas	Buen estado	Poco deteriorado	Erosión moderada e intensa	La mayoría de los ecosistemas no están muy deteriorados, de manera que aun constituyen una protección relativa para las fajas costeras
II Costa rocosa por lo general alta	Deterioradas y en extremo deterioradas	Afectado	Poco deteriorado a deteriorado	Erosión moderada e intensa	La mayoría de los ecosistemas están muy deteriorados, de manera que no constituyen una protección para las fajas costeras
III Predomina la costa baja semi-inundada	Muy deterioradas y en extremo deterioradas	Afectado	Moderado deterioro a no deteriorado	Erosión moderada e intensa	La mayoría de los ecosistemas están muy deteriorados, de manera que no constituyen una protección para las fajas costeras
IV Costa rocosa por lo general alta	Muy deterioradas y en extremo deterioradas	...	Deteriorado a moderado deterioro	Erosión moderada	La mayoría de los ecosistemas están muy deteriorados, de manera que no constituyen una protección para las fajas costeras
V Costa rocosa por lo general alta	Deterioradas y en extremo deterioradas	...	Deteriorado	Erosión moderada	La mayoría de los ecosistemas están muy deteriorados, de manera que no constituyen una protección para las fajas costeras
VI Costa rocosa por lo general alta	Deterioradas a sanas	...	Moderado deterioro	Erosión moderada	La mayoría de los ecosistemas están muy deteriorados, de manera que no constituyen una protección para las fajas costeras
VII Costa rocosa por lo general alta	Sin información	...	Moderado deterioro	Erosión moderada	La mayoría de los ecosistemas no están muy deteriorados, de manera que aún constituyen una protección relativa para las fajas costeras
VIII Costa rocosa por lo general alta	Deterioradas y muy deterioradas	...	Moderado deterioro	Erosión intensa	La mayoría de los ecosistemas están muy deteriorados, de manera que no constituyen una protección para las fajas costeras
IX Predomina la costa baja semi-inundada	Muy deterioradas y en extremo deterioradas	Buen estado	Muy deteriorado a sin deterioro	Erosión moderada e intensa	La mayoría de los ecosistemas están muy deteriorados, de manera que no constituyen una protección para las fajas costeras
X Predomina la costa baja semi-inundada	Muy deterioradas y en extremo deterioradas	Buen estado	Sin deterioro	Erosión moderada y totalmente destruidas	La mayoría de los ecosistemas están muy deteriorados, de manera que no constituyen una protección para las fajas costeras
XI Costa rocosa por lo general alta	Deterioradas y muy deterioradas	Poco afectados	Moderado deterioro a poco deteriorado	Erosión moderada	La mayoría de los ecosistemas no están muy deteriorados, de manera que aun constituyen una protección relativa para las fajas costeras
XII Predomina la costa baja semi-inundada	En extremo deterioradas y algunas sanas	Muy afectado	Deteriorado a moderado deterioro	Erosión moderada y totalmente destruidas	La totalidad de los ecosistemas están muy deteriorados, de manera que han perdido la capacidad de proteger las fajas costeras
XIII Costa rocosa por lo general alta	En extremo deterioradas	...	Sin manglares	Erosión moderada	La mayoría de los ecosistemas están muy deteriorados, de manera que no constituyen una protección para las fajas costeras
XIV Costa rocosa por lo general alta	Muy deterioradas y en extremo deterioradas	...	Deteriorado	Erosión moderada	La mayoría de los ecosistemas están muy deteriorados, de manera que no constituyen una protección para las fajas costeras
XV Predomina la costa baja semi-inundada	No hay crestas	Buen estado	Poco deteriorado	Erosión moderada	La mayoría de los ecosistemas están muy deteriorados, de manera que no constituyen una protección para las fajas costeras



Afectación a la infraestructura social

El territorio cubano tiene más de 3500 km de costa, donde se localizan unos 262 asentamientos humanos ubicados a menos de 1 m de altura y menos de 1000 m de distancia desde la línea de costa, donde se han establecido actividades industriales, de comercio, pesca, navegación y turismo, entre otras. De acuerdo con los resultados de los estudios llevados a cabo por el Macroproyecto, 122 asentamientos humanos (69 de ellos son rurales y 53 urbanos) sufrirán afectación total o parcial hasta el 2100, en particular aquellos localizados en tramos donde el relieve es llano (Fig. 1). Esas mismas áreas se verán cada vez más impactadas por eventos hidro-meteorológicos de oleaje extremo, mareas extremas, mar de leva y huracanes, pero aunque estas amenazas son válidas para todo el territorio costero cubano, es obvio que el grado de devastación dependerá del nivel de exposición y la sensibilidad de cada localidad.

Para planificar las medidas, a fin de reducir los daños de los impactos identificados en cada tramo costero y de acuerdo con las condiciones locales, el Instituto de Planificación Física realizó una cartografía digital detallada de las instalaciones amenazadas, en la que se exponen una serie de recomendaciones para su protección o reubicación.

Entre los asentamientos humanos más amenazados por inundación permanente a causa de la elevación del nivel medio del mar, existen poblaciones de diversas jerarquías, las cuales requieren estrategias específicas de adaptación. La mayoría de estos asentamientos presentan concentraciones de población menores de 200 habitantes y una infraestructura técnica y de

servicios que funciona vinculada directamente con asentamientos de mayor jerarquía del Sistema de Asentamientos Humanos (SAH) del país. Una minoría de 19 asentamientos pueden quedar casi por completo inundados hasta el 2100 (Tabla 7), cuyo elevado costo de protección en las condiciones actuales y pronosticadas, recomienda su relocalización como medida más sustentable.

Las investigaciones realizadas sobre el comportamiento de la surgencia y el oleaje extremo también han permitido identificar 577 asentamientos amenazados por afectaciones temporales hasta el 2100. Algunos de ellos se localizan en zonas llanas donde la penetración del mar, en casos extremos, puede alcanzar hasta 9 km tierra adentro.

En el caso particular de La Habana, seis de sus quince municipios tienen costa, pero al estar ubicadas en un tramo rocoso relativamente alto (Tramo II, Fig. 1) la ocupación marina por el ascenso del nivel medio del mar ocurrirá solo a lo largo de la desembocadura de los ríos y en las áreas de playas. Sin embargo, las inundaciones provocadas por eventos hidro-meteorológicos extremos, que pueden durar varias horas o días, seguirán impactando con regularidad las zonas bajas donde se concentra una elevada densidad de población, viviendas e instalaciones de la economía.

Las afectaciones muy costosas, por su repercusión en la economía del país son aquellas vinculadas a las plantas productoras de energía eléctrica como las termoeléctricas de Mariel, Cienfuegos, Nuevitás y Felton, que dependen del enfriado del agua de mar, y su emplazamiento es precisamente junto a las costas; a esto se podrían añadir los grupos electrógenos y subestaciones de transmisión eléctrica. Del mismo modo sufriría la infraestructura hidráulica, pues 218 fuentes de agua subterránea se pueden contaminar por la intrusión salina del mar hasta el 2100, mientras que hasta 150 pueden tener sus servicios interrumpidos de modo temporal si no se protegen adecuadamente. No menos amenazadas se encuentran 1017 instalaciones primarias de salud situadas en las poblaciones costeras, así como muchos kilómetros de viales.

Un problema que se manifestará con carácter creciente es la paulatina pérdida de funcionalidad de los sistemas de drenaje (canales y alcantarillado) de las poblaciones situadas a menos de un metro de altura, ya que la elevación del nivel del mar puede interrumpir el flujo de las aguas negras, lo cual ya ha estado ocurriendo en algunas localidades.

El enfrentamiento al cambio climático

Para resolver estos y otros problemas que puedan surgir vinculados al cambio climático en las regiones costeras de Cuba, el Macroproyecto ha puesto a disposición del Estado Cubano información útil que contribuya a dictar

Tabla 7. Asentamientos humanos más amenazados por el ascenso del nivel medio del mar hasta el 2050 y el 2100

Provincia	Hasta el 2050	Categoría	Hasta el 2100	Categoría
Pinar del Río	Las Canas	Rural	La Bajada	Rural
	Punta de Cartas	Rural	Carenero	Rural
Mayabeque	Playa Majana	Rural	...	...
	Guanimar	Rural	...	...
	Playa Cajío	Urbano	...	...
	Playa Mayabeque	Rural	...	...
	Playa Caimito	Rural	...	...
Villa Clara	Playa Uvero	Rural	...	...
	Playa Emilio Córdoba	Rural	...	...
	Playa Jáquete (*)	Rural	...	...
	Playa Piñón	Rural	...	...
	Playa Juan Francisco	Rural	...	...
Sancti Spiritus	Tunas de Zaza	Urbano	...	...
Ciego de Ávila	...	...	Manatí	Rural
	...	...	Playa Cunagua	Rural
	...	...	Júcaro	Urbano
Camagüey	Playa Florida	Rural	Playa Jigüey	Rural

(*) La playa Jáquete no tiene población residente después que el huracán Ike dejó pocas casas en pie.



leyes y decretos, regulaciones, medidas y acciones, que conduzcan a ejecutar el Programa Nacional de Enfrentamiento y Adaptación al Cambio Climático, el cual abarca desde el nivel nacional hasta los gobiernos municipales, donde la participación de todos es fundamental, en particular la población de las comunidades amenazadas. En este marco, el Instituto de Planificación Física ha realizado un levantamiento de toda la información relacionada con la cantidad y tipo de instalaciones amenazadas.

Sin embargo, pese a los avances en las investigaciones hasta el 2013, aun no se ha podido identificar la totalidad de las medidas necesarias para disminuir la vulnerabilidad de los asentamientos amenazados, de manera que es imprescindible seguir trabajando en este sentido, a fin de ir conformando una estrategia de respuesta cada vez más integradora, eficiente y económicamente viable, fundamentada en datos científicos.

Por todas estas razones, es importante que los ciudadanos conozcan las principales acciones diseñadas para prevenir los efectos negativos de la elevación del nivel del mar hasta el 2100, con la finalidad de que participen activa y conscientemente en el proceso de enfrentamiento a estas amenazas. Los objetivos más generales del proceso de enfrentamiento son:

- Disminuir los niveles de exposición al peligro.
- Reducir la vulnerabilidad de la infraestructura existente (instalaciones de la economía, viales, viviendas, e inmuebles en general) y de la población que ocupa los asentamientos más amenazados.
- Emplear el planeamiento físico, la localización y relocalización adecuada de las nuevas inversiones como mecanismo para reducir el riesgo de catástrofe.
- Empezar acciones para el desarrollo de asentamientos e industrias en los territorios costeros, velando porque no se incrementen los riesgos ya existentes y ser consecuentes con el Programa Nacional de Enfrentamiento y Adaptación al Cambio Climático.

Para lograr estos objetivos, ante todo es necesario poner en práctica las recomendaciones ofrecidas en los acápites anteriores, a fin de garantizar la salud y permanencia de los ecosistemas naturales, para que no pierdan su capacidad de protección de las costas. Adicionalmente, en los asentamientos costeros es necesario llevar a cabo de manera ordenada y progresiva las siguientes acciones:

- Prohibir el crecimiento habitacional y la fabricación de nuevas instalaciones permanentes en las zonas costeras que deben quedar inundadas hasta el 2100 o que son impactadas con frecuencia por inundaciones por penetraciones del mar y eventos hidrometeorológicos extremos.
- Promover de manera progresiva y ordenada la relocalización de los asentamientos costeros más amenazados por las penetraciones del mar, en particular en las costas bajas (1000 m de distancia de la línea de costa y 1 m de altura sobre el nivel del mar), donde estos impactos son intensos y reiterativos.
- Donde no sea posible relocalizar los asentamientos e instalaciones, promover la elevación progresiva de las edificaciones por encima de la cota estimada o histórica del nivel de inundación y aplicar tecnologías y materiales de construcción poco vulnerables, construir sobre pilotes, en terrazas, y que se diseñen de tal manera que permitan preservar los bienes y las personas al refugiarse en pisos (niveles) más altos.
- Rediseñar cuando sea apropiado los sistemas de drenaje (fluvial y alcantarillado) en las áreas bajas costeras inundables e incrementar, si fuera necesario, su capacidad de paso y descarga como vía para garantizar la evacuación de los excesos de agua y sistematizar el mantenimiento de esos sistemas.
- En los espacios públicos más expuestos de los asentamientos costeros, permitir solamente la construcción de instalaciones ligeras y desmontables.
- Preservar las áreas forestadas y promover su restauración, en particular los manglares y otros tipos de vegetación costera, y ubicar las construcciones en una segunda línea naturalmente protegida.
- Divulgar entre los pobladores de las zonas costeras las políticas, acciones, medidas y regulaciones que conforman la política general de enfrentamiento al cambio climático.
- Desarrollar programas de educación popular para el enfrentamiento al cambio climático y todas las amenazas que este proceso lleva implícito.

En este marco de acción, el Instituto de Planificación Física realizó un censo detallado de todas las instalaciones amenazadas y las medidas a tomar, las cuales están a disposición de los gobiernos municipales.



Conclusiones

El estado actual de los ecosistemas marino-costeros, muchos de los cuales presentan un distinto grado de deterioro, permite afirmar que las zonas costeras de Cuba están sufriendo las consecuencias del cambio climático.

Los ecosistemas se deben proteger de las acciones que los agreden, a fin de elevar su resiliencia para que puedan seguir jugando el papel de defensores de las zonas marino-costeras por el mayor tiempo posible. En la medida en que se deterioren los ecosistemas que le sirven de protección natural a las zonas marino-costeras, aumentará su exposición a los eventos extremos.

De esta situación se deriva un elevado riesgo para los ecosistemas naturales y humanos, que en los lustros siguientes se verán cada vez más amenazados por la progresiva elevación del nivel medio del mar, por los embates de los eventos meteorológicos extremos y por la salinización de los suelos y las aguas superficiales y subterráneas.

Teniendo en cuenta los criterios de expertos y los resultados de las investigaciones del Macroproyecto, se pueden distinguir tramos costeros de susceptibilidad alta, media y baja, a saber:

- De alta susceptibilidad son los tramos I Cabo San Antonio-Punta Gobernadora, III Península de Hicacos-Nuevitás, IX Cabo Cruz-Cayo la Salina, X Cayo la Salina-Boca del Guanayara, XII Playa Larga-Cabo Francés y XV Francés-Punta del Este. En estos tramos es necesario tomar medidas urgentes para preservar los ecosistemas y proteger la infraestructura social.
- De media susceptibilidad se distinguieron el I Archipiélago de los Colorados y los tramos II Punta Gobernadora-Playa Camacho, IV Nuevitás-Gibara, y XIV Punta del Este-Francés. En estos tramos es necesario tomar medidas urgentes para preservar los ecosistemas y aumentar su resiliencia, a fin de incrementar su papel protector y reducir las vulnerabilidades. Asimismo, se deben realizar estudios de factibilidad para comenzar cuanto antes a tomar medidas para proteger la infraestructura social.

- Los tramos de baja susceptibilidad son: V Gibara-Baracoa, VI Baracoa-Bahía de Santiago de Cuba, VII Bahía de Santiago de Cuba-Marea del Portillo, VIII Marea del Portillo Cabo Cruz, XI Boca del Guanayara-Playa Larga y XIII Cabo Francés-Cabo San Antonio. En estos tramos se deben proteger los ecosistemas para aumentar su resiliencia, de modo que se reduzca su velocidad de deterioro, siempre que sea posible y económicamente viable. La infraestructura también se debe proteger progresivamente, según se vayan perfeccionando los escenarios de riesgo.

El territorio cubano tiene más de 3500 km de costa, donde se localizan unos 262 asentamientos humanos ubicados a menos de 1 m de altura y 1000 m desde la línea de la costa, donde se han establecido actividades industriales, de comercio, pesca, navegación y turismo, entre otras. De acuerdo con los resultados de los estudios llevados a cabo por el Macroproyecto, 122 asentamientos humanos (69 de ellos son rurales y 53 urbanos) sufrirán afectación total o parcial, en particular aquellos localizados en tramos donde el relieve es llano.

Al respecto, es importante que los ciudadanos conozcan las principales acciones diseñadas para prevenir los efectos negativos de la elevación del nivel del mar hasta el 2100, para que participen activa y conscientemente en el proceso de enfrentamiento a estas amenazas. Los objetivos más generales del proceso de enfrentamiento son:

- Disminuir los niveles de exposición al peligro.
- Reducir la vulnerabilidad de la infraestructura existente (instalaciones de la economía, viales, viviendas, e inmuebles en general) y de la población que ocupa los asentamientos más amenazados.
- Emplear el planeamiento físico, la localización y relocalización adecuada de las nuevas inversiones como mecanismo para reducir el riesgo de catástrofe.
- Empezar las acciones para el desarrollo de asentamientos e industrias en los territorios costeros, y velar porque no se incrementen los riesgos ya existentes y sean consecuentes con el Programa Nacional de Enfrentamiento y Adaptación al Cambio Climático.



Bibliografía y lecturas recomendadas^(*)

1. Blázquez, E. L. (1989). Anomalías del Nivel del Mar en La Habana, Cuba, durante el evento Oscilación del Sur El Niño (OSEN), de 1982-1983. Reporte de Investigación 6 (11), 8 pp.
2. Dean, R.G. (1983). Shoreline erosion due to extreme storms and sea level rise. Coastal and Oceanographic Engineering Department. University of Florida, 57 p. Gainesville.
3. Díaz, I., J Rueda, C. Bernal, J. Cabellos, MA. Iturralde-Vinent, L. Castro, M. Rueda, M. Rodríguez. (2011). El movimiento vertical actual de las costas cubanas. Memorias de la Convención de Informática, Palacio Convenciones, La Habana.
4. Hernández-González, M. y O. Marzo. (2009). Variabilidad estacional del nivel del mar en el archipiélago cubano. Serie Oceanológica. No. 6, p. 1-15. ISSN: 2072-800X. Disponible en: <http://oceanologia.redciencia.cu>
5. Hernández-González, M., O. Marzo y A. Acanda. (2010). Tendencia lineal del nivel medio del mar en algunas localidades del archipiélago cubano. Serie Oceanológica. 15 pág., La Habana.
6. Informe Especial del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático "Gestión de los riesgos de fenómenos meteorológicos extremos y desastres para mejorar la adaptación al Cambio Climático", 2012. Disponible en: ipcc-wg2.gov/srex y www.sckn.org/srex
7. Ionin, A.S. (1975). Geomorfología de las costas de Cuba. En: Plataformas insulares de la zona tropical del océano. Edición 1, Moscú. Instituto de Oceanología de la Academia de Ciencias de la URSS.
8. Ionin, A.S., Pavlidis, Y.A. y Avello Suárez, O. (1977). Geología de la plataforma de Cuba. Editorial Nauka, Moscú, 215 pág. (Traducido al español por el Instituto de Oceanología de Cuba).
9. IPCC. (2007). Fourth Assessment Report. Synthesis Report. WMO. UNEP. Disponible en: <http://www.ipcc.ch/>
10. IPCC. (2012). Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 582 pp.
11. IPCC. (2013). Working Group I Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Summary for Policymakers. Twelfth Session of Working Group I.
12. Iturralde-Vinent, M. (1977). Los movimientos tectónicos de la etapa de desarrollo platáformico de Cuba. Informes Científico-Técnicos Número 20, Academia de Ciencias de Cuba, 24 pág.
13. Ídem. (2004). Origen de la biota y de los ecosistemas marinos de Cuba. Disponible en: Claro, R. (Editor) Ecosistemas Marinos de Cuba. Editorial Academia, CD-Rom, Capítulo I, 9 pág., La Habana.
14. Ídem. (2011). Geología del Plioceno-Cuaternario de Cuba. Disponible en: Compendio de Geología de Cuba y del Caribe. Segunda Edición (publicado diciembre 2012), DVD-Rom. Editorial CITMATEL, 3.3 Gb.
15. Ídem. (2013). Tipología y evolución de las zonas costeras de Cuba. En: Memorias de la V Convención Cubana de Ciencias de la Tierra, Sociedad Cubana de Geología, CD-Rom, La Habana.
16. Lambeck K, J Chappell. (2001). Sea Level Change through the Last Glacial Cycle. Science 292: 679-686.
17. Menéndez, L. y J.M. Guzman (editores), 2006. Ecosistemas de manglar en el archipiélago cubano. Editorial Academia, La Habana.
18. Meyssignac B, A Cazenave. (2012). Sea level: A review of present-day and recent past changes and variability. Journal of Geodynamics 58:96-109.
19. Mitchum, G.T. 2011. Sea Level Changes in the Southeastern United States. Past, Present, and Future. University of South Florida, 16 p. Disponible en: www.floridaclimatelinstitute.org
20. Mitrani, I. y colectivo de autores. (2007). "Atlas oceanográfico de las aguas cubanas", Compendio de Resultados Científicos del PRCT "Análisis y pronóstico del tiempo y el clima terrestre y espacial", años 2000-2008, UNESCO/CITMA/AMA, La Habana, en soporte digital.
21. Nuevo Atlas Nacional de Cuba. (1989). Editado por el Instituto de Geografía y el Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía, La Habana.
22. Núñez Jiménez, A. (1982). El Archipiélago. En: Colección Cuba, la Naturaleza y el Hombre, Editorial Letras cubanas, pág. 691 pág.
23. Ídem. (1982). Bogeno. Disponible en: Colección Cuba, la Naturaleza y el Hombre, Editorial Letras cubanas, 702 pág.
24. Ídem. (2012). Litorales y mares. Colección Cuba la naturaleza y el hombre. Editorial Ciencias Sociales, 255 p.
25. Pugh, D. (1996). Tides, Surges and Mean Sea-Level. Natural Environment Research Council. Swindon, UK. John Wiley & Sons. ISBN 0 471 91505 X. 486 pp. Chichester-New York-Brisbane-Toronto-Singapore.
26. Planos Gutiérrez, E. O., R. Rivero Vega, V. Guevara Velazco. (2012). Impacto del Cambio Climático y Medidas de Adaptación en Cuba. Segunda Comunicación Nacional de Cuba al Convenio Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático. La Habana. 520 p.
27. Rodríguez, J. y J.F. Rodríguez. (1983). Las mareas en las costas cubanas. Instituto de Meteorología. Reporte de Investigación 6. Enero. 34 pp.
28. Salas, I., Pérez-Parrado, R., Samper, S.T., Chávez, J.D., Pérez, A.L., Rodríguez, C., Pantaleón, B., Favier, L., Restivo, R. (2006). Impacto de la surgencia en el archipiélago cubano considerando los cambios climáticos. Informe de proyecto del Programa Nacional de Cambios Globales y Evolución del Medio Ambiente Cubano. Archivo científico del Instituto de Meteorología de Cuba, 220 p y anexos, (Inédito). La Habana.





29. Sallenger Jr., A.H., K.S. Doran y P.A. Howd. (2012). Hotspot of accelerated sea-level rise on the Atlantic coast of North America. Nature climate change. Disponible en: <http://www.nature.com/doifinder/10.1038/nclimate159>
30. Suárez-Moré, R. (1976). Morfodinámica y conservación de las playas. Academia de Ciencias de Cuba. Serie Geografía no. 15. La Habana. 57 p.
31. Tidal observations. Disponible en: <http://mysite.du.edu/~jcalvert/geol/tides.htm>
32. United States Environmental Protection Agency. Transformación de los sistemas costeros. Disponible en: <http://www.epa.gov/climatechange/effects/images/landuse05.gif>

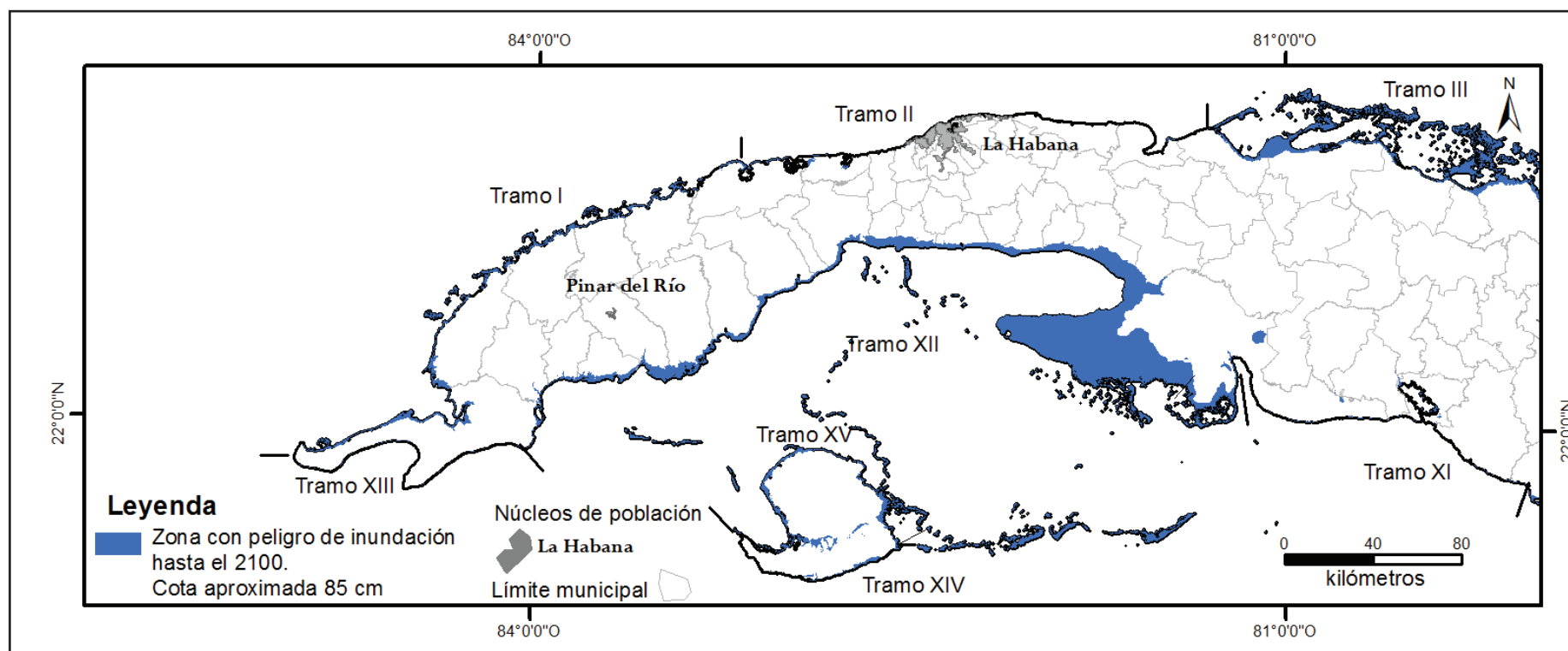
^()Estas y otras publicaciones sobre las costas y mares de Cuba se pueden encontrar en la Biblioteca Digital Cubana de Geociencias. Disponible en: <http://www.redciencia.cu/geobiblio/inicio.html>.*



Anexo 1A.

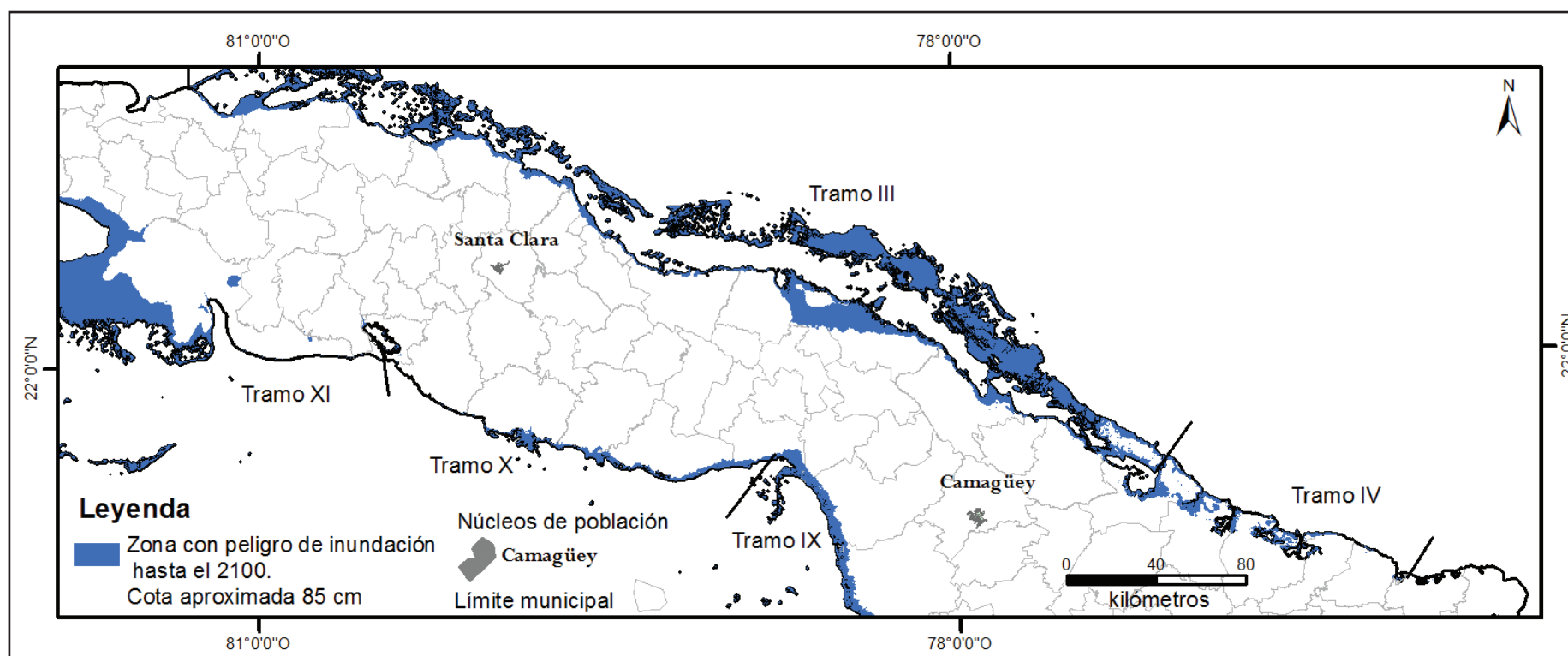
Mapa pronóstico de las áreas que quedarán ocupadas por el mar hasta el 2100, de acuerdo con el peor escenario estimado por Salas et al. (2006). Este pronóstico no toma en cuenta los factores locales. Sector occidental.

Anexos gráficos



Anexo 1B.

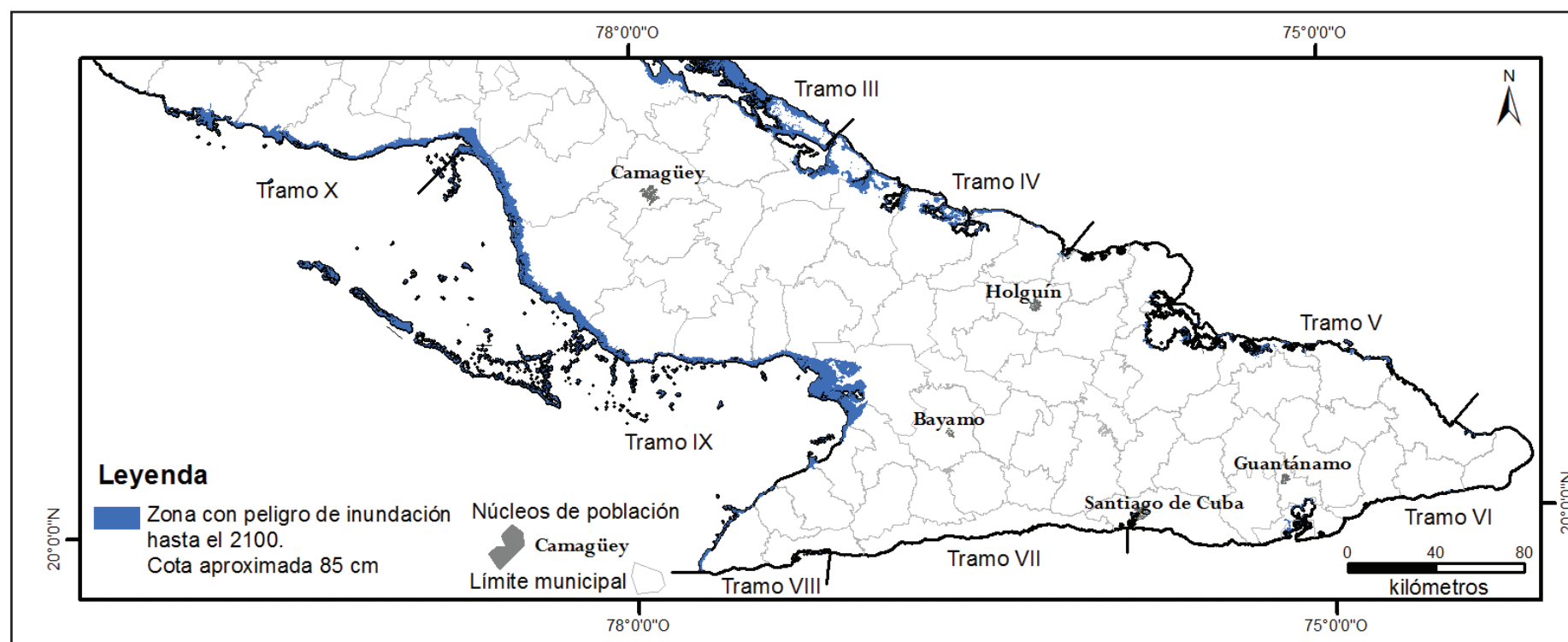
Mapa pronóstico de las áreas que quedarán ocupadas por el mar hasta el 2100, de acuerdo con el peor escenario estimado por Salas et al. (2006). Este pronóstico no toma en cuenta los factores locales. Sector central.





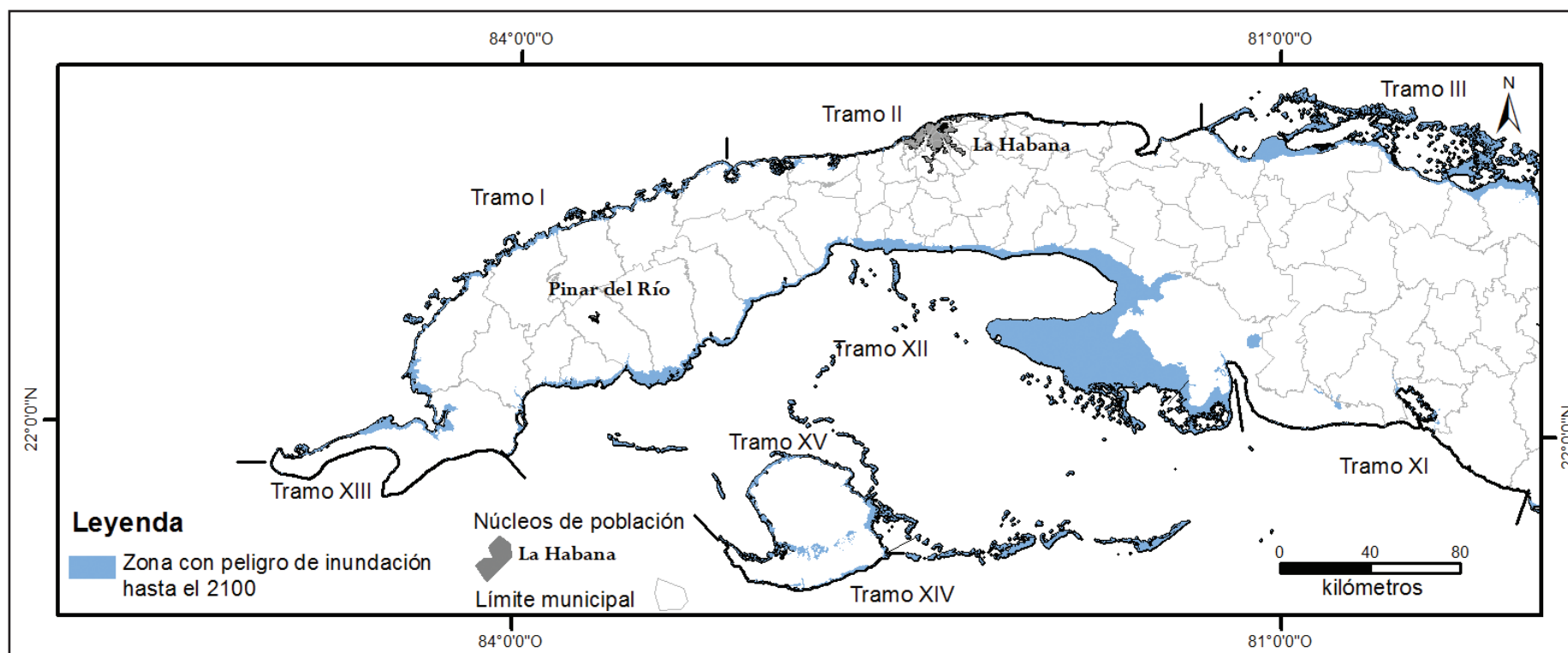
Anexo 1C.

Mapa pronóstico de las áreas que quedarán ocupadas por el mar hasta el 2100, de acuerdo con el peor escenario estimado por Salas et al. (2006). Este pronóstico no toma en cuenta los factores locales. Sector oriental.



Anexo 2A.

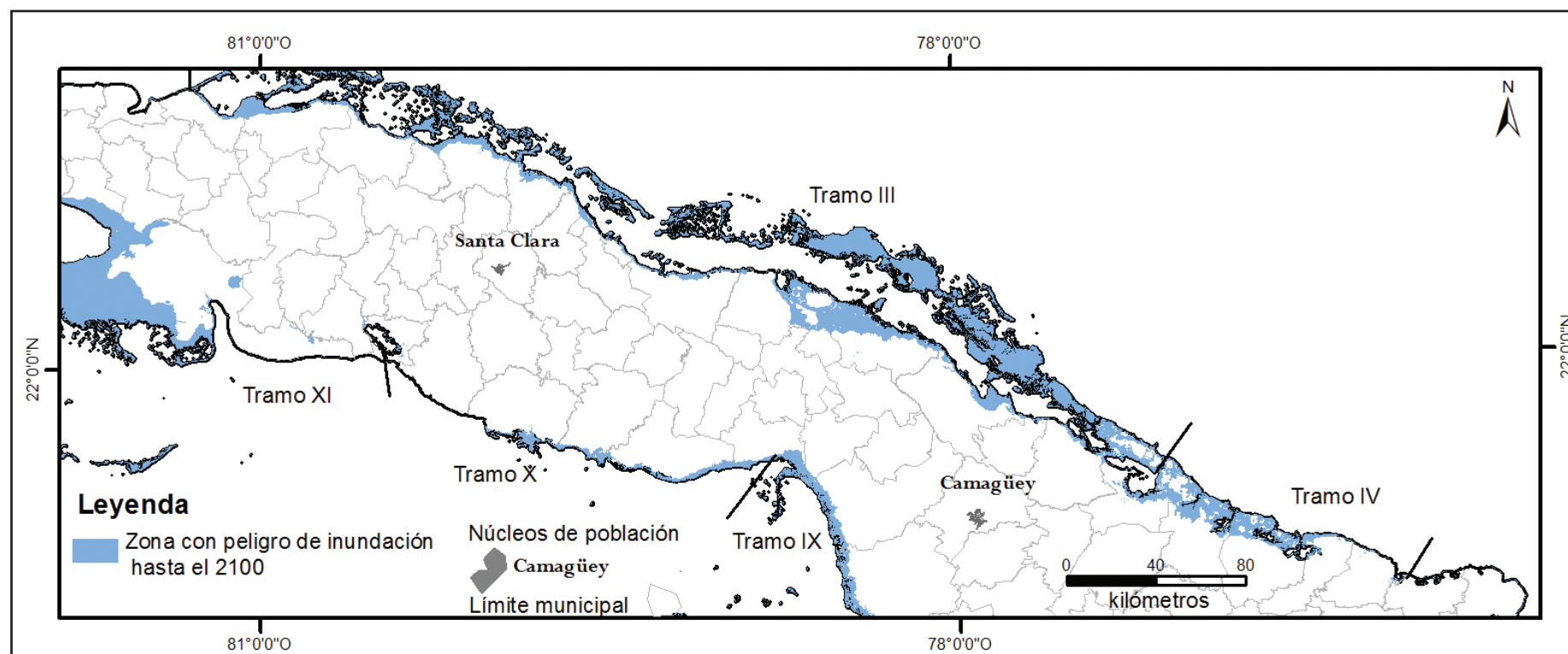
Mapa pronóstico del área de ocupación marina por el ascenso del nivel del mar hasta el 2100, de acuerdo con la proyección no lineal, más las anomalías y mareas máximas calculadas sobre la base del registro mareográfico. Sector occidental.





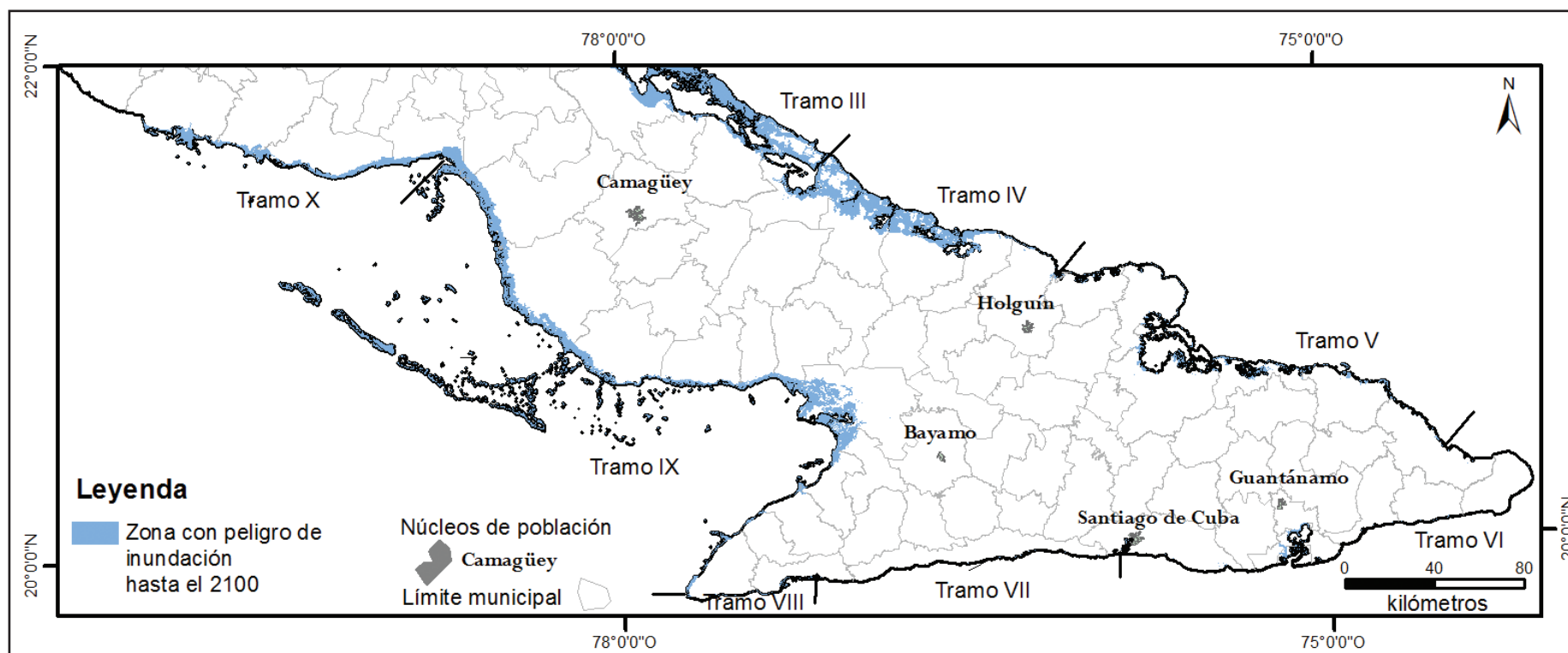
Anexo 2B.

Mapa pronóstico del área de ocupación marina por el ascenso del nivel del mar hasta el 2100, de acuerdo con la proyección no lineal, más las anomalías y mareas máximas calculadas sobre la base del registro mareográfico. Sector central.



Anexo 2C.

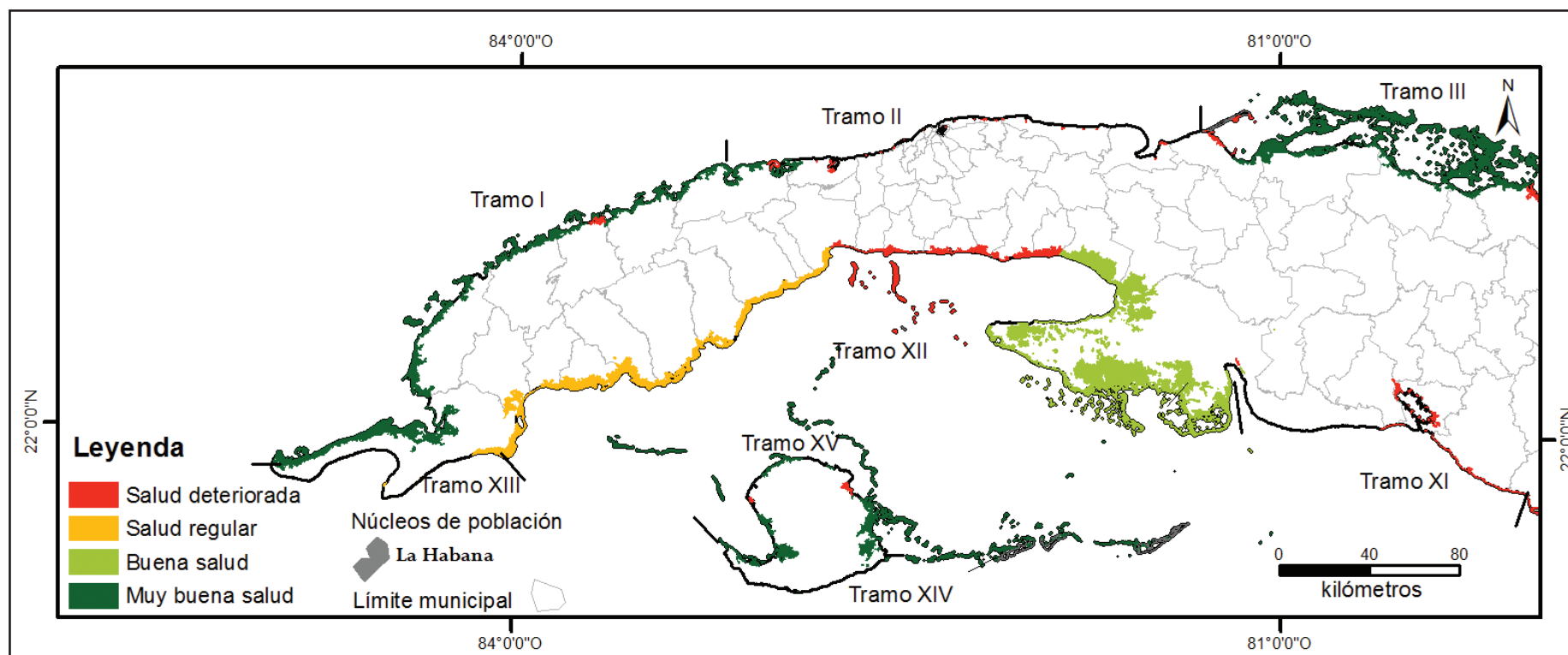
Mapa pronóstico del área de ocupación marina por el ascenso del nivel del mar hasta el 2100, de acuerdo con la proyección no lineal, más las anomalías y mareas máximas calculadas sobre la base del registro mareográfico. Sector oriental.





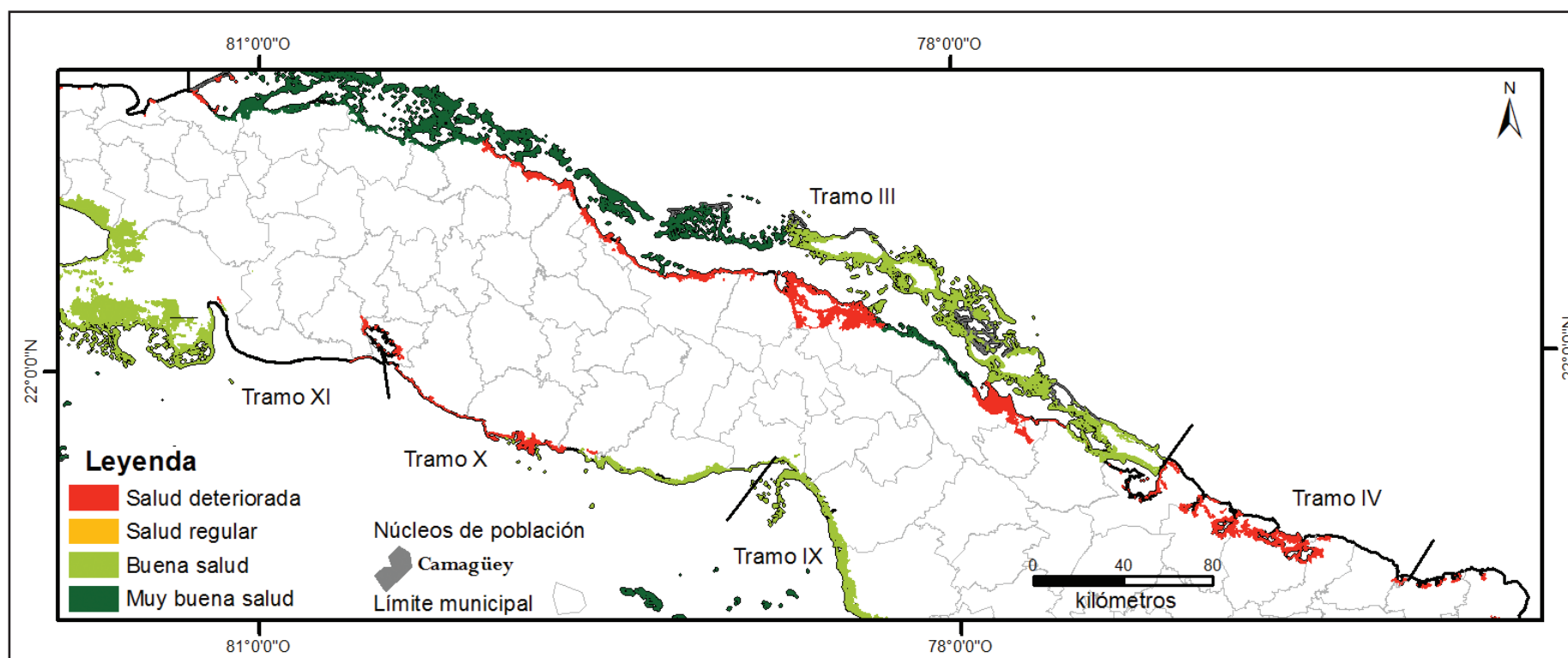
Anexo 3A.

Estado actual de preservación de los bosques de mangle y humedales.
Sector occidental.



Anexo 3B.

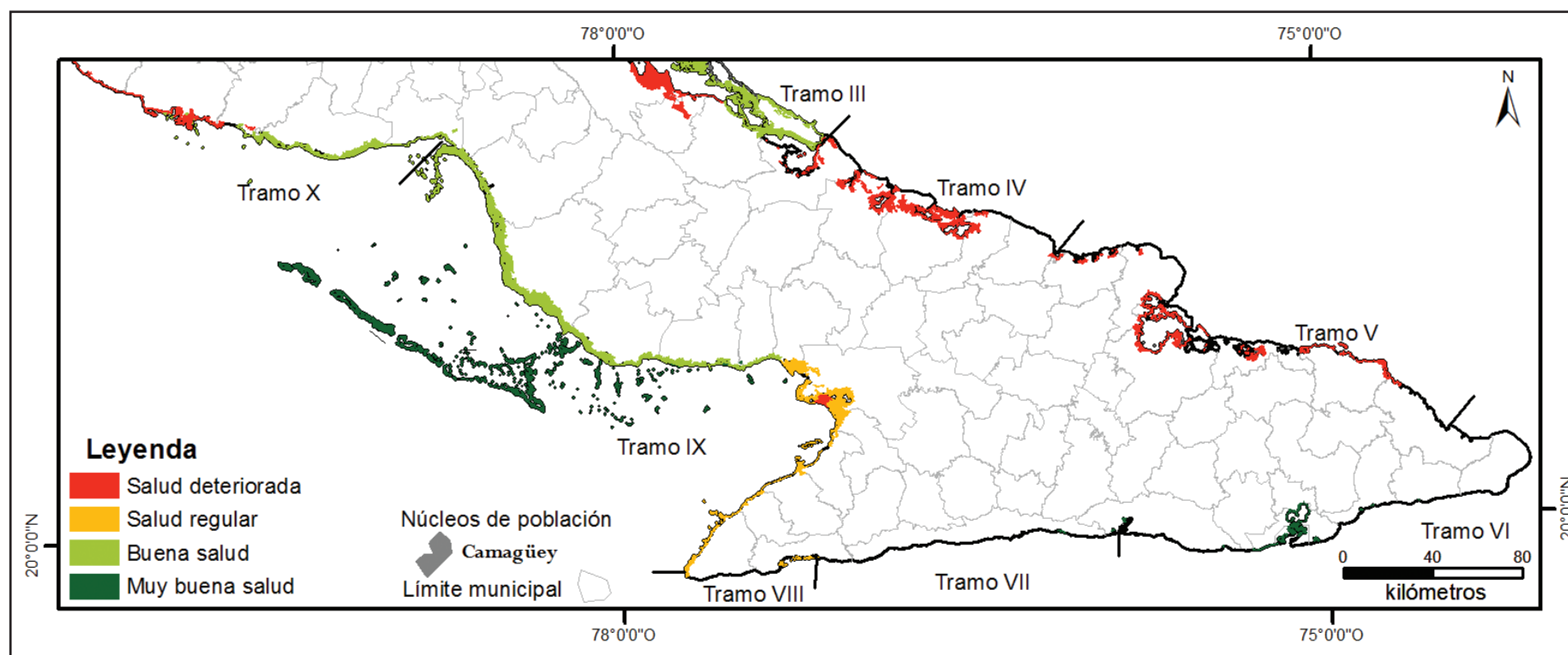
Estado actual de preservación de los bosques de mangle y humedales.
Sector central.





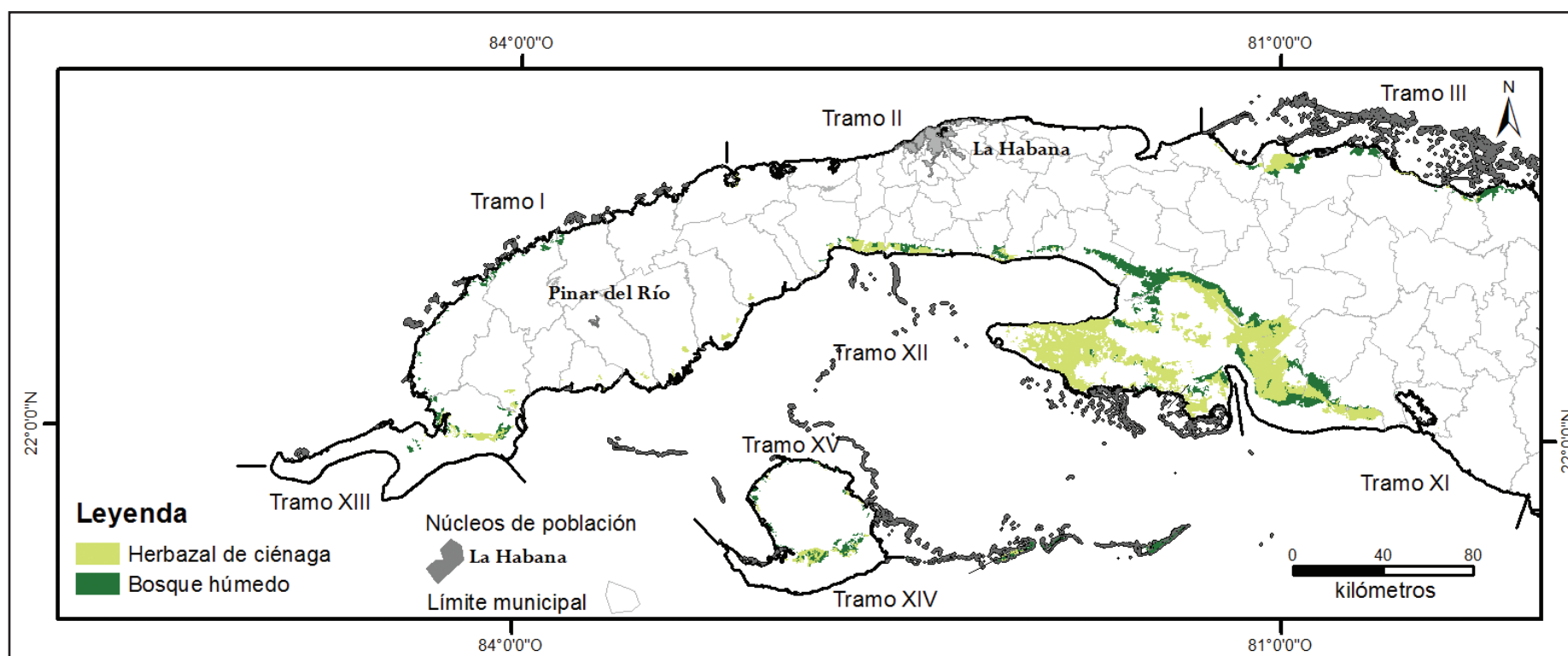
Anexo 3C.

Estado actual de preservación de los bosques de mangle y humedales.
Sector oriental.



Anexo 4A.

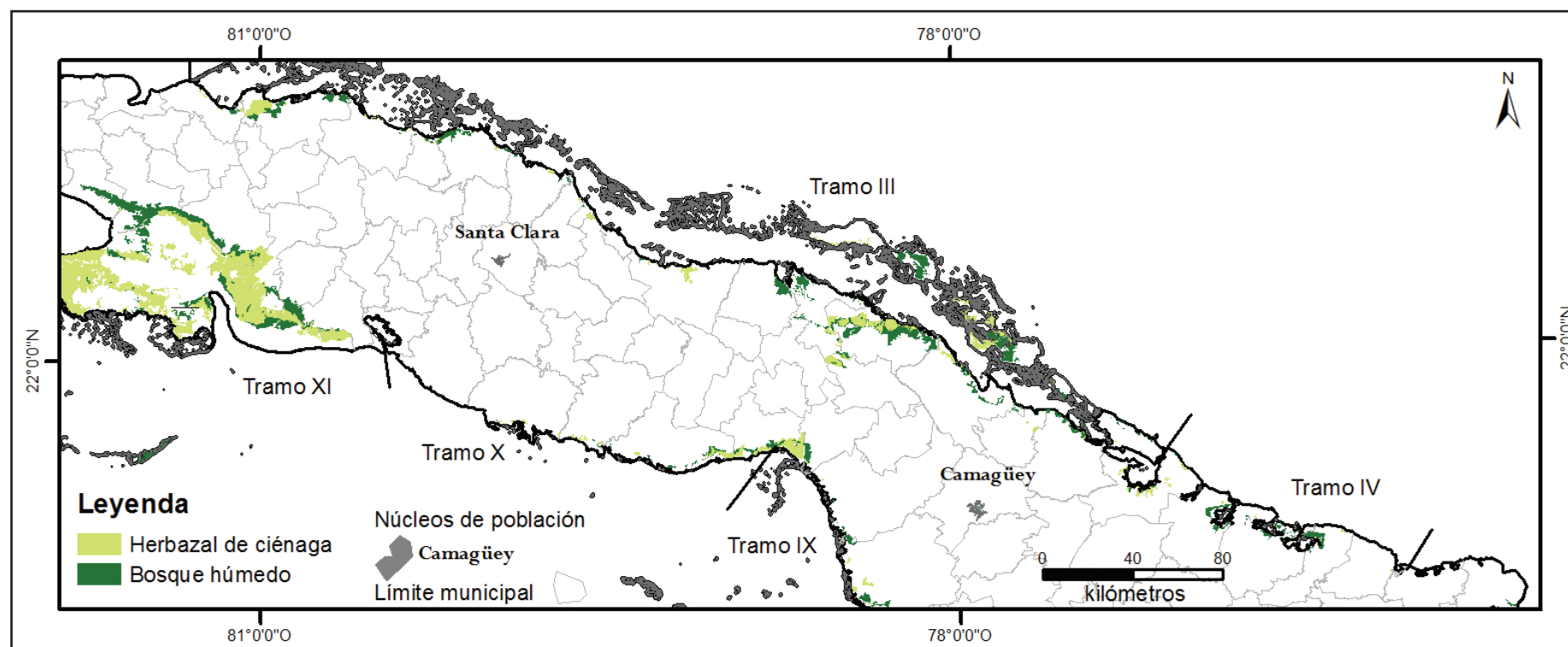
Herbazal de ciénaga y bosques húmedos amenazados de ocupación por aguas salobres y algunos manglares hasta el 2100. Sector occidental.





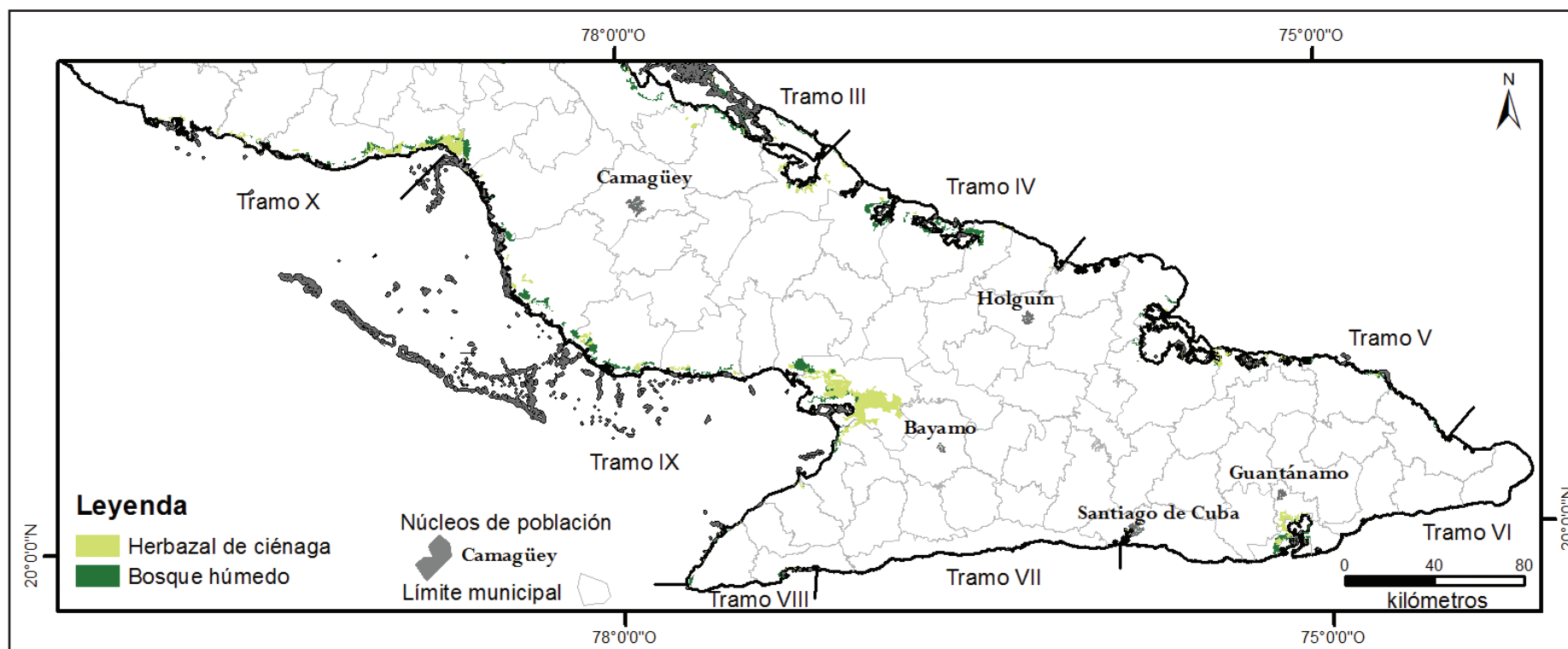
Anexo 4B.

Herbazal de ciénaga y bosques húmedos amenazados de ocupación por aguas salobres y algunos manglares hasta el 2100. Sector central.



Anexo 4C.

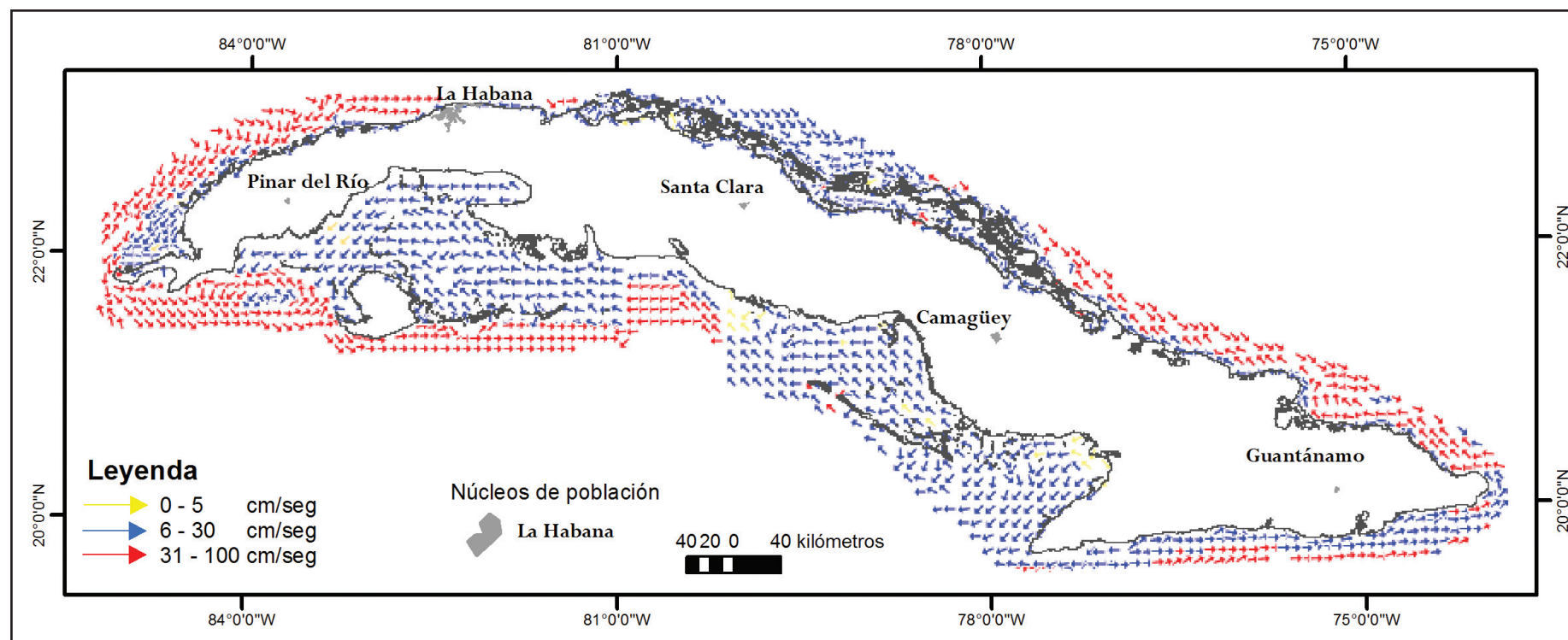
Herbazal de ciénaga y bosques húmedos amenazados de ocupación por aguas salobres y algunos manglares hasta el 2100. Sector oriental.





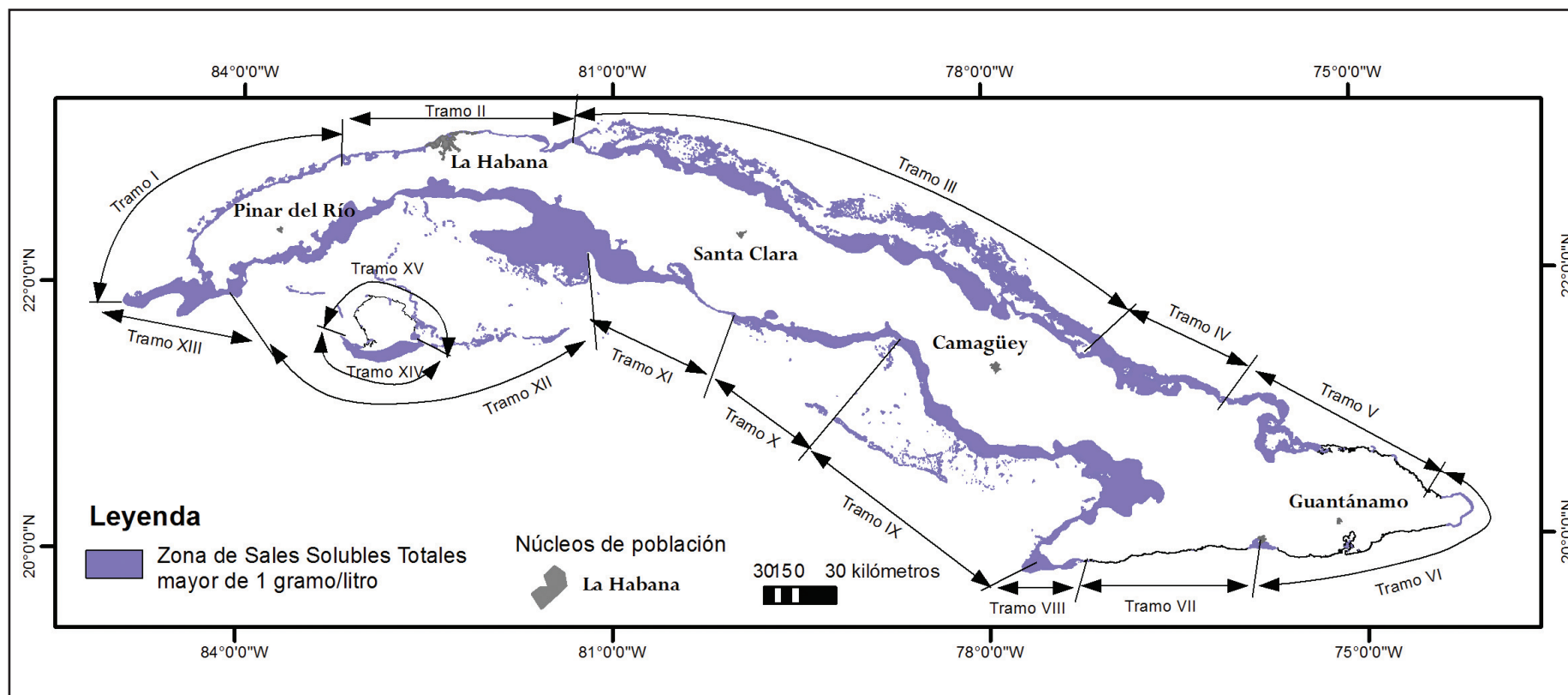
Anexo 5.

Mapa de las corrientes marinas en el entorno de Cuba.



Anexo 6.

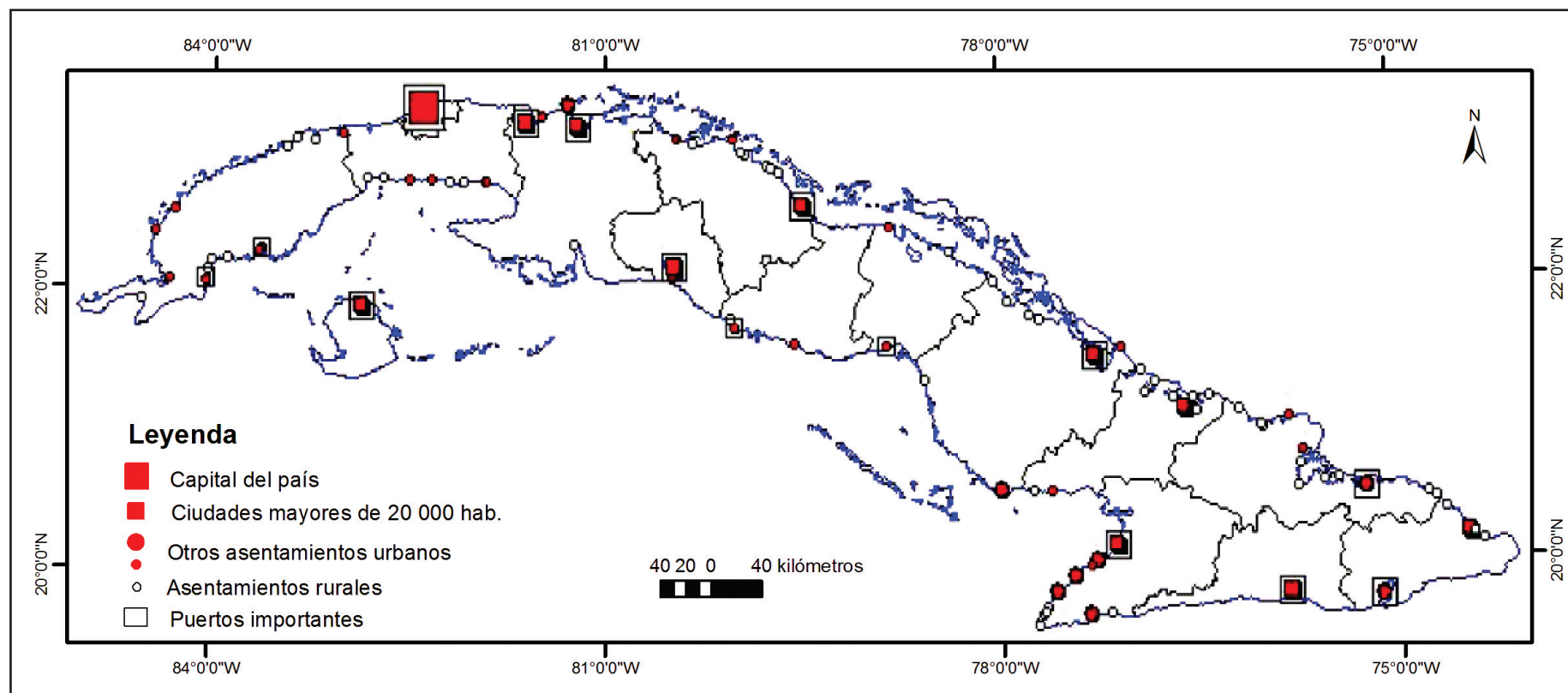
Mapa de la intrusión salina en Cuba (Período seco del año 2014).





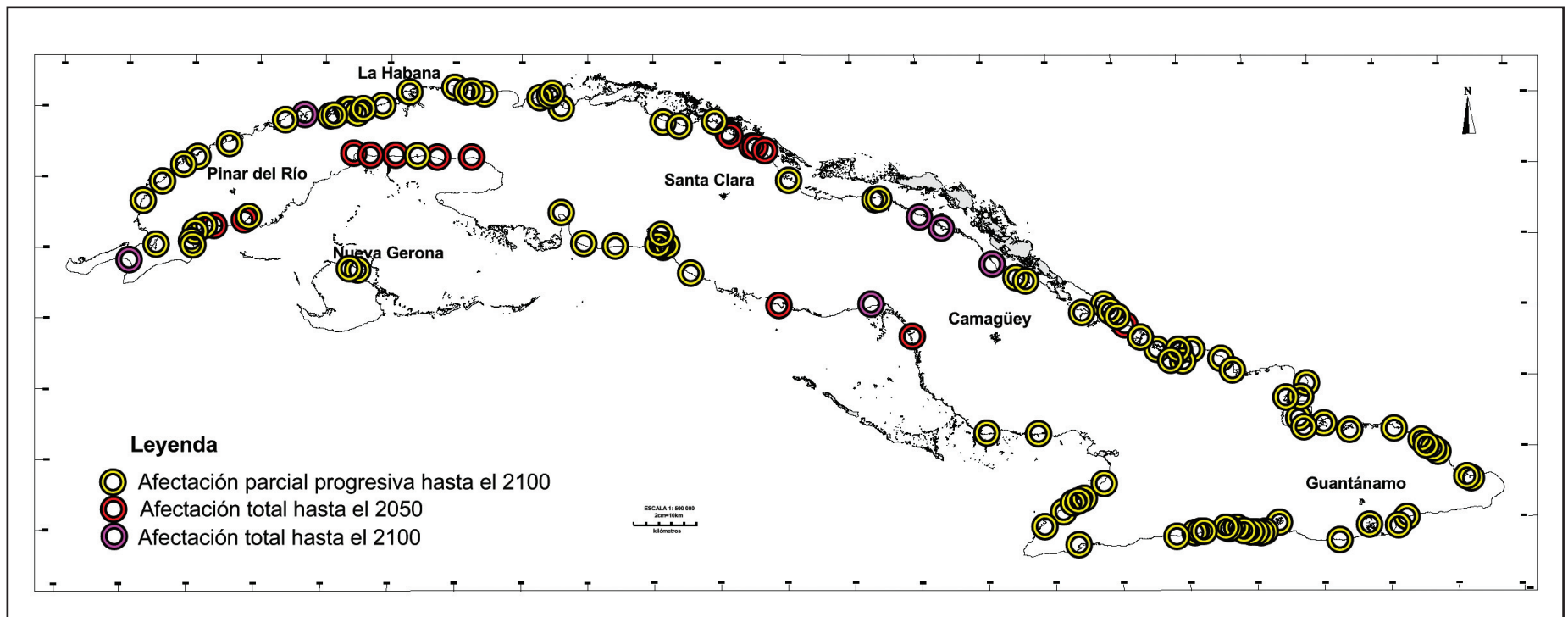
Anexo 7.

Localidades donde se han reportado inundaciones costeras en Cuba, desde 1901 hasta el 2006. Tomado de Mitrani et al., (2007).



Anexo 8.

Asentamientos costeros que pueden sufrir afectaciones por inundación permanente debido el ascenso del nivel medio del mar.







La **Editorial Academia**, adscrita
a la Empresa de Gestión del Conocimiento y la Tecnología (GECYT),
agradecerá a sus lectores, las opiniones sobre sus publicaciones.

Pueden contactarnos a través de:
editorialacademia@gecyt.cu | geditora@ceniai.inf.cu

o visitando nuestra página web
www.gecyt.cu

