



## EVALUACIÓN DEL RIESGO CLIMÁTICO EN LA ZONA COSTERA Y EL FENÓMENO DE LA INTRUSIÓN MARINA

### ASSESSMENT OF CLIMATE RISK IN THE COASTAL ZONE AND THE PHENOMENON OF MARINE INTRUSION

REBECA GONZÁLEZ LÓPEZ DEL CASTILLO\*, IRENIS ABAD RAMÍREZ, GODOFREDO HERNÁNDEZ PÉREZ

Centro de Investigaciones de Medio Ambiente de Camagüey, Cuba.

\*E-mail: [rglc.1961@gmail.com](mailto:rglc.1961@gmail.com)

Palabras clave:	Resumen
zonas costeras evaluación impacto climático gobernanza local desarrollo sostenible	Dada la trascendencia de profundizar en el conocimiento sobre el impacto climático en zonas vulnerables, se traza como objetivo: evaluar el riesgo climático ante peligros presentes y futuros en las zonas costeras, para la orientación de instrumentos de planificación, gestión y gobernanza que puedan ser insertados en las estrategias de desarrollo local en un contexto de cambio climático. A partir de la integración del marco metodológico del Panel Intergubernamental de Cambio Climático, su guía de implementación (GIZ - EURAC, 2018) y la contextualización del estudio realizado en playa Santa Lucía (Baastel-BRLi, 2022), a otras herramientas, se obtiene una metodología que permite evaluar peligros climáticos presentes y futuros en zonas costeras. El resultado se aplica en el municipio Florida, Camagüey, territorio de los más afectados por estos efectos hacia los años 2050 y 2100, en especial, por el aumento del nivel medio del mar y la intrusión marina. La propuesta metodológica, ha contribuido al diseño eficaz de medidas de adaptación orientadas al desarrollo sostenible de las comunidades.
Keyword:	Abstract
coastal zone evaluation climatic impact local governance sustainable development	Given the importance of deepening knowledge about climate impacts in vulnerable areas, the objective is to assess climate risk from present and future hazards in coastal areas, to guide planning, management, and governance tools that can be integrated into local development strategies in the context of climate change. By integrating the methodological framework of the Intergovernmental Panel on Climate Change, its implementation guide (GIZ - Eurac, 2018), and contextualizing the study conducted at Santa Lucia Beach (Baastel-BRLi, 2022) other tools, a methodology is obtained that allows the assessment of present and future climate hazards in coastal areas. The result is applied in the Florida municipality of Camagüey, one of the territories most affected by these effects between 2050 and 2100, particularly due to rising average sea levels and marine intrusion. The methodological proposal has contributed to the effective design of adaptation measures aimed at the sustainable development of communities.

#### Introducción

Las zonas costeras constituyen un espacio de vital importancia para el desempeño de las naciones. La Tercera Comunicación Nacional a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CITMA, 2020) confirma el conflicto entre la gestión económica y el

funcionamiento de los ecosistemas marino - costeros. Este es un aspecto de relevancia en los nuevos escenarios de cambio climático, al cual debe prestarse una atención priorizada en consonancia con la impostergable necesidad de garantizar la sostenibilidad en el desarrollo económico y social, en armonía con el medio ambiente y en función de las generaciones futuras.

Recibido: 27 de septiembre de 2024

Aceptado: 03 de abril de 2025

**Conflicto de intereses:** Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

**Contribución de los autores:** **Conceptualización:** Rebeca González López del Castillo. **Investigación:** Rebeca González López del Castillo; Irenis Abad Ramírez, Godofredo Hernández Pérez. **Metodología:** Rebeca González López del Castillo. **Supervisión:** Rebeca González López del Castillo, Irenis Abad Ramírez. **Validación:** Rebeca González López del Castillo, Irenis Abad Ramírez, Godofredo Hernández Pérez. **Análisis formal:** Irenis Abad Ramírez. **Redacción, Revisión y Edición:** Godofredo Hernández Pérez.

Este artículo se encuentra bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC 4.0). <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



Iturralde y Serrano (2015), sintetizan los resultados alcanzados en proyectos ejecutados por varias instituciones científicas cubanas, y que conforman 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”. En este documento se concluye que, dado el estado actual de los ecosistemas marino-costeros, es posible afirmar que las zonas costeras de Cuba están sufriendo las consecuencias de los efectos del cambio climático. Dentro de estos procesos, tienen particular importancia aquellos que pueden verse agravados a mediano plazo, como son, el ascenso del nivel medio del mar y el avance de la cuña de intrusión marina.

En las aguas aledañas al archipiélago cubano se ha observado el incremento de la temperatura y la salinidad en el período del 1966 - 2000, en la salinidad, se observó un incremento de 0.005 psu/año, o sea, hacia los años 2030 - 2040 se alcanzaría los 0.6 psu, aunque para el año 2100 disminuiría ligeramente hasta los 0.5 psu (Mitrani et al., 2021).

Estos resultados, obtenidos por observaciones *in situ* y a partir de modelos computacionales, pueden relacionarse con la disminución del volumen pluviométrico sobre el área y por la variación en el régimen de las corrientes marinas. Sin embargo, los cambios detectados en la estructura termohalina son quizás los que mayor impacto pueden generar, por ejemplo, en eventos observados de blanqueamiento de corales a partir del año 1994 (Alcolado, 1999).

Otro impacto significativo, es la disminución en la presencia de especies comerciales para la pesca, por la pérdida progresiva de las condiciones de su hábitat natural debido al incremento en la temperatura del agua marina (Caballero et al., 2016), sin dejar de mencionar, que, según (Karthik et al., 2012) la variación de la estructura termohalina marina pudiera magnificar la potencia de los huracanes.

La salinidad constituye una de las variables oceánicas y climáticas esenciales para el monitoreo estandarizada internacionalmente (GOOS, 2016). Evidencias experimentales indican que en salinidades altas los manglares gastan más energía para mantener el balance de agua y la concentración iónica que para la producción primaria y el crecimiento (Xu et al., 2020), además, la fluctuación en la salinidad puede afectar la morfología y la fisiología de las plántulas (Bompy et al., 2014; Wilson, 2017; Wang et al., 2020).

De forma similar, la salinidad afecta la distribución y el crecimiento de los pastos marinos, e influye también en la abundancia de especies asociadas, variaciones en este factor abiótico son consideradas un estrés ambiental, que hace al ecosistema vulnerable a enfermedades (Zhang et al., 2023).

Por otra parte, el incremento en la dinámica de la intrusión marina conlleva a la degradación del suelo, con la consiguiente afectación a las actividades socio económicas.

No obstante, la mayoría de los suelos salinos en Cuba se han originado debido a la salinidad secundaria o antrópica (Lamz & González, 2013).

En la provincia Camagüey, la proyección de tareas del Plan de Estado para el Enfrentamiento al Cambio Climático, cuenta con la actualización de los indicadores nacionales establecidos y las acciones identificadas en zonas y áreas priorizadas. El sistema de trabajo se organiza desde el grupo provincial de enfrentamiento al cambio climático, grupos municipales y sectoriales.

Cada municipio dispone de estrategias de desarrollo económico y social a mediano plazo, ordenamiento territorial y gestión de reducción de riesgos a desastres. Sin embargo, el balance de los resultados alcanzados identifica dificultades en la implementación de estas herramientas con enfoque sistémico, lo cual refleja insuficientes nexos entre actores, limitación de recursos materiales y financieros y vacíos de conocimiento científico a nivel local acerca de los enfoques de riesgo para sistemas naturales y humanos. Todo ello ha dificultado la puesta en ejecución de modelos de gestión con enfoque de adaptación al cambio climático.

Es necesario, profundizar en la evaluación del riesgo climático para los peligros presentes y futuros en zonas costeras, considerando lo que plantea el 5to Informe del IPCC y a partir de estos resultados, contribuir a la consolidación del desarrollo local sostenible y la gobernanza climática. Por tanto, el objetivo de este trabajo es: Evaluar el riesgo climático ante peligros presentes y futuros en las zonas costeras, para la orientación de instrumentos de planificación, gestión y gobernanza que puedan ser insertados en las estrategias de desarrollo local en un contexto de cambio climático.

## Materiales y métodos

El municipio Florida, tiene 51.82 km de costa, de ellos, 48.32 km (93 %), corresponde a costa baja de manglar y el resto, 3.5 km (7 %) está representada por la playa, de igual nombre. El área costera sobre la cual se ubica el asentamiento Playa Florida, con más de 400 habitantes, es muy baja, interior y con la incidencia directa del oleaje del mar abierto. Las actividades económicas fundamentales son: la actividad pesquera, industria pesquera, turismo y recreación, cultivo de arroz y la ganadería. Ante los riesgos climáticos identificados, la costa del municipio permanece preferentemente desocupada, y se autoriza solamente el desarrollo de actividades o instalaciones que por su propia naturaleza no admiten otra ubicación.

Para dar cumplimiento al objetivo presentado, se tomaron como referencia los resultados de una propuesta novedosa obtenida a partir del análisis del riesgo en la zona costera por medio de la implementación del marco metodológico del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, 2014), su guía de implementación

(GIZ, EURAC & UNU-EHS, 2018) y la contextualización en un estudio de caso en Cuba realizado en playa Santa Lucía por Baastel-BRLi (2022).

El análisis de las vulnerabilidades, tomando en consideración criterios de las metodologías expuestas, varios resultados de estudios multidisciplinarios realizados en la provincia y otros fundamentos metodológicos existentes en Cuba, permitió obtener por vez primera en la provincia Camagüey elementos que abordan la exposición y la vulnerabilidad de sistemas naturales y humanos con enfoque de cambio climático (González López del Castillo, 2022).

Aunque la metodología citada con anterioridad aborda de forma integral todos los peligros asociados a los efectos del cambio climático, en la presente propuesta se realizó un acercamiento al peligro aumento del nivel medio del mar, uno de los que mayor riesgo ofrece al municipio Florida, tanto en la afectación a infraestructuras, como por su estrecha interrelación con el avance de la cuña de intrusión marina.

A los efectos del esclarecimiento de los términos utilizados, un peligro está dado por la ocurrencia potencial o tendencia de un evento que puede causar la pérdida de vidas, impactos en la salud, así como daños a la infraestructura, los recursos, la prestación de servicios y los ecosistemas. La exposición se refiere a la presencia de personas, ecosistemas, actividades económicas o infraestructuras en lugares que podrían verse afectados negativamente por cambios en las variables climáticas.

La vulnerabilidad significa la predisposición a ser afectado negativamente y engloba la sensibilidad al daño y la capacidad de adaptación. El riesgo es la posibilidad de que se produzcan consecuencias cuando está en juego algo de valor y cuando el resultado es incierto y es el resultado de la interacción entre peligro, la exposición y la vulnerabilidad (IPCC, 2014).

Para cada peligro, se identificaron categorías de interés que se desarrollan en estos espacios. A su vez, los peligros fueron analizados en función de su frecuencia o magnitud y la intensidad de los impactos reportados, se habla de frecuencia en el caso de la ocurrencia de eventos extremos y de magnitud en el caso de cambios graduales en el clima. Las categorías de interés (a los efectos del presente trabajo) son: aguas superficiales y subterráneas, suministro de agua potable, servicio de alcantarillado en los asentamientos humanos y las actividades económicas relacionadas con los renglones más importantes del territorio que dependen significativamente del agua.

El grado de importancia de las categorías se identificó en la caracterización general del territorio. Finalmente, a partir de las calificaciones de los indicadores prioridad del peligro, exposición y vulnerabilidad, se calculó el riesgo climático para cada una de las categorías de interés, en relación con el probable agravamiento del fenómeno de la intrusión marina.

En la elaboración de las representaciones cartográficas se utilizó información dada en CITMA (2015), Iturralde y Serrano (2015), CIMAC (2019), así como datos recientes de monitoreos realizados a la calidad del agua en la cuenca hidrogeológica, pertenecientes a la Empresa de Aprovechamiento Hidráulico de Camagüey (EAH). Las representaciones fueron obtenidas aplicando la técnica de superposición de capas mediante el software libre Qgis.

## Resultados y discusión

### Caracterización de la zona costera bajo riesgo climático en el municipio Florida

Según estimaciones publicadas (CITMA, 2020), el mayor aumento del nivel del mar en el país para el año 2050 estará en Playa Florida con 31.0 cm. De hecho, en ese municipio se observan ya los efectos del aumento del nivel medio del mar (UNDP, 2020).

Por ejemplo, en el ecosistema de manglar de la zona Playa Florida, se aprecian cambios provocado por el hundimiento de la plataforma y por el propio aumento del nivel medio del mar, lo que ha potenciado la erosión costera a partir del retroceso acelerado de la línea de costa de 1.1 m/año (el más elevado de la provincia) según estudios de (Hernández *et al.*, 2018).

Por ello, se observa la tendencia hacia el aumento en la superficie cubierta por manglares, lo cual se explica por el hecho del desplazamiento de esta vegetación hacia la fase terrestre.

En el territorio, el parte agua no sobrepasa la altura de 120 metros, por lo que la pendiente del cauce de máximo recorrido puede categorizarse como suave y la densidad de drenaje clasifica como baja.

Al sur existe un área del orden de 90 km<sup>2</sup>, con presencia de pantanos, lagunas permanentes y temporales, esteros con corrientes de agua salobre y/o salada dominados por el manglar, extensión cuyas características permite considerar esta zona como un humedal de zona costera. En el sitio desembocan varios ríos, sin embargo, no lo hacen directamente en la costa, sino en zonas bajas cubiertas de manglar y esteros. Las aguas superficiales, según datos de la Empresa de Aprovechamiento Hidráulico de Camagüey (EAH), poseen buena calidad para los destinos previstos.

En cuanto a las aguas subterráneas, fue identificado a partir del análisis estadístico del monitoreo hidroquímico e hidrodinámico, realizadas por el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos durante más de 27 años, que se ha reportado la pérdida de alguna de las condiciones químicas de potabilidad, mostrando además una relación  $Cl^- / HCO_3^-$  entre 0,5 y 1,3.

Estos valores denotan que ha existido afectación por ligeros procesos de intrusión salina, con la peculiaridad de que la misma ha tenido variaciones en el tiempo, probablemente

debido a cambios en el régimen de explotación de los pozos y por el efecto de avance de la cuña salina en el territorio (Yera - Digat *et al.*, 2010). En los resultados se indica que las variables causales que aportan mayor peso en la composición química observada de las aguas subterráneas son:

- El proceso de intrusión salina explica más del 39 % de la varianza del sistema y se encuentra en correlación lineal con los iones Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> y Na<sup>+</sup>.
- La composición litológica del medio rocoso explica cerca del 15 % de la varianza total y se encuentra en correlación lineal con los iones HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Ca<sup>2+</sup> y Mg<sup>2+</sup>.

### **Evaluación del riesgo climático en la zona costera para la disponibilidad del agua en interrelación con el fenómeno de la intrusión marina**

En el área de estudio, los peligros climáticos “aumento del nivel medio del mar” y “sequía meteorológica”, pueden incidir sobre la disponibilidad de agua. No obstante, para la sequía, hasta la fecha no existen resultados concluyentes de que se torne una amenaza seria.

Según se indica en la Tercera Comunicación Nacional a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, la no existencia de tendencias significativas y la reducción de la variabilidad de la precipitación del período lluvioso permite afirmar con un alto nivel de seguridad, un comportamiento estable de la precipitación en las últimas décadas, (CITMA, 2020), aunque esto no significa que no se deba prestar cuidadosa atención a los eventos de sequía, que combinados con las altas tasas de evaporación originan el agotamiento de los suelos y la disminución de las reservas de agua subterráneas.

No obstante, un déficit hídrico debido a un evento de esta naturaleza, es posible recuperarlo luego de la ocurrencia de un periodo relativamente corto de precipitaciones, como se ha observado en años anteriores. Sin embargo, el ascenso del nivel medio del mar y su relación directa con el avance de la cuña de intrusión marina en la zona costera, a pesar de ser un proceso a verificarse en un lapso de tiempo mayor, constituye un factor de riesgo significativo para la calidad del agua, dada las dificultades tecnológicas y económicas que conlleva la remediación de los efectos de la salinización (Custodio, 2017).

En general, el proceso de intrusión marina, entendido como la intensificación del flujo de agua salada procedente del mar hacia el interior del acuífero, es complejo y multifactorial. Sin embargo, el descenso piezométrico provocado por la explotación de los acuíferos altera el equilibrio y favorece el avance del agua salada.

No obstante, la irregularidad pluviométrica (que controla parte de la recarga), la litología (que controla los procesos

modificadores) y las propiedades hidráulicas del acuífero (que controlan el flujo) proporcionan gran variedad de escenarios, lo que puede tornarse complejo si además se superponen otros procesos, como los flujos regionales salinos, las aguas salinas congénitas o la existencia de procesos contaminantes de diversa naturaleza que añaden salinidad al sistema tales como el riego con aguas salinas, entre otros (IGME, 2009).

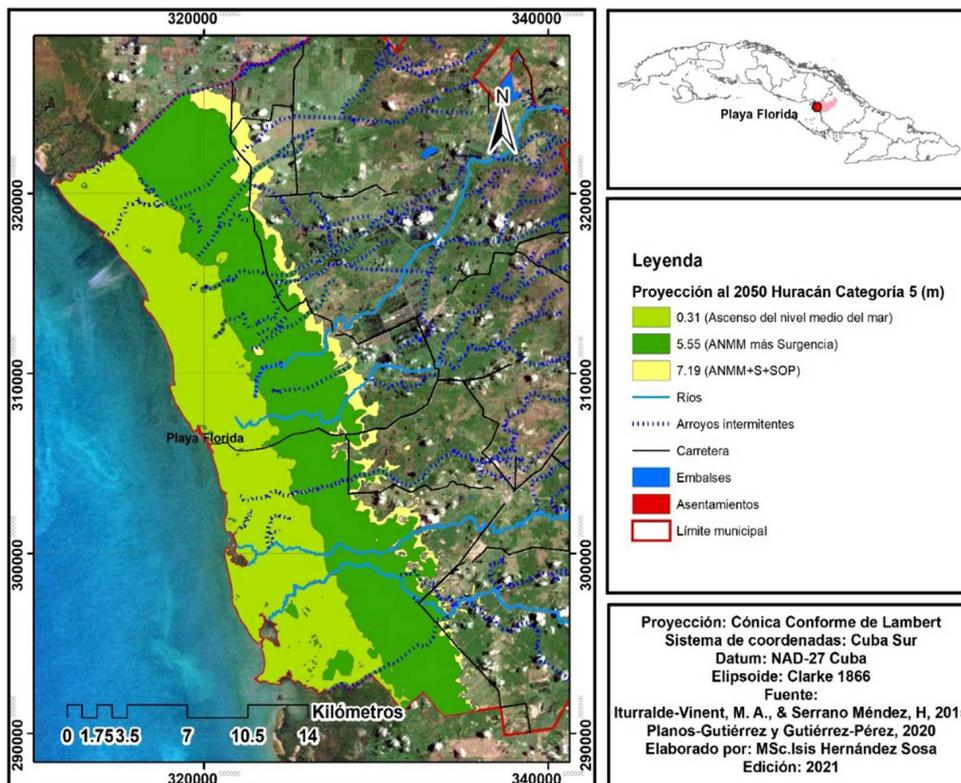
Las cuencas situadas en el área costera estudiada son abiertas hacia la zona norte, pero transicionan a cerradas hacia la costa, por lo que el agua en esa área se encuentra confinada parcialmente bajo un manto de rocas sedimentarias, ígneas y vulcanógenas sedimentarias, que hacen que el acuífero posea cierto nivel de presión hidráulica. Estas rocas tienen baja permeabilidad por lo cual constituyen una primera barrera contra el avance de la intrusión marina. O sea, la litología en la zona costera es favorable, aunque no se descarta la presencia de conexiones subterráneas.

Por otra parte, en el área, el nivel estático tiene un valor normal, encontrándose en condiciones de ofrecer resistencia al avance de la intrusión marina. En la zona costera del municipio el manto se encuentra bastante cercano a la superficie y el flujo es hacia la costa. Esto, tiene estrecha relación con el hecho de que la recarga neta hiperanual es abundante, tanto que, en el asentamiento de San Antonio el riego del arroz se realiza con agua subterránea sin que la cuenca sufra alguna afectación importante. En otros sitios no existe una extracción de caudal considerable.

En la *figura 1* se representa la estimación para la penetración del mar en la zona costera debido a los efectos combinados del ascenso del nivel medio del mar pronosticado y la incidencia de huracanes de gran intensidad hacia el año 2050. En la *figura 2* se muestra la estimación del área costera del municipio con presencia de salinización.

Como se observa, el avance actual de la intrusión marina ocupa un área similar a la que será tomada por el aumento del nivel medio del mar en el año 2050. Esto pudiera suponer un avance futuro en proporción similar hacia tierra adentro, con lo cual quedaría al menos bajo afectación el asentamiento La Alina. Sin embargo, el análisis de los datos en la caracterización y de la intrusión salina lateral, sugiere que luego de haberse materializado el peligro e independientemente de que lo cubierto por las aguas quedará salinizado, existe la probabilidad de que hacia el interior no sea en magnitud similar.

Esto pudiera explicarse porque las afectaciones en la salinidad tienen carácter puntual y se observan más en valores máximos que en promedios, lo cual pudiera corroborar la hipótesis de que el área se encuentra protegida por las variables litología, recarga hiperanual y altura piezométrica. No obstante, la probable intensificación de la sequía, al existir velocidades bajas en las corrientes superficiales pudiera agravar el escenario.



Elaborado: Centro de Investigaciones de Medio Ambiente de Camagüey

Prepared by: Camagüey Environmental Research Center.

**Figura 1.** Estimación de la penetración marina debido al ascenso del nivel medio del mar y huracanes.

**Figure 1.** Estimated marine penetration due to rising sea levels and hurricanes.

### Evaluación de la vulnerabilidad y sensibilidad

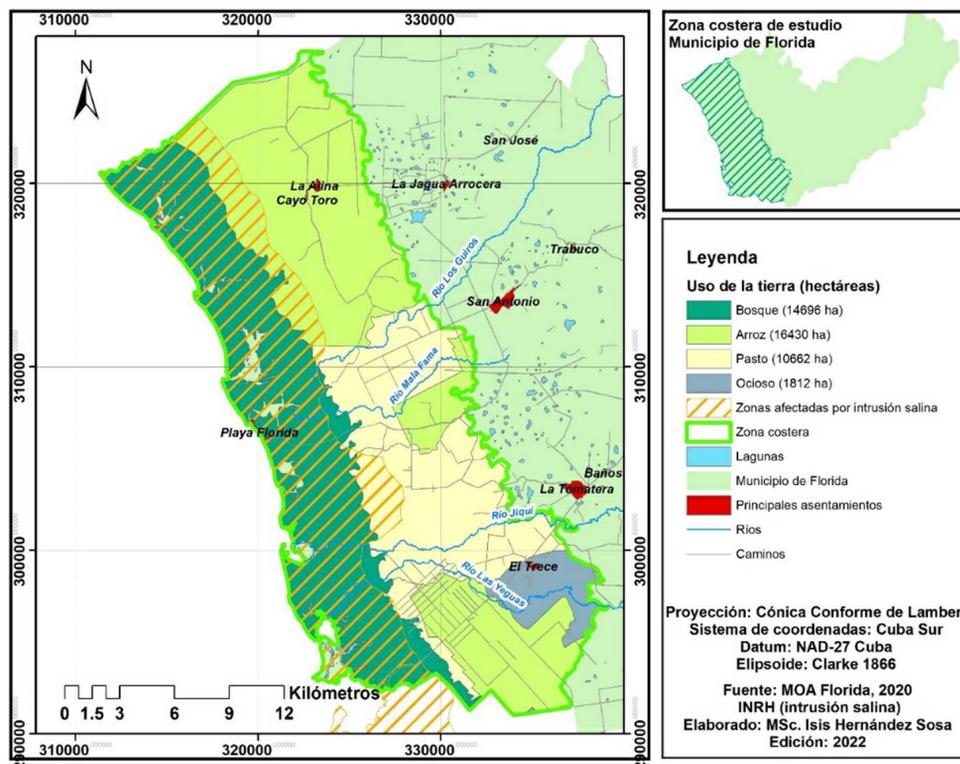
Con el aumento del nivel medio del mar pronosticado se perderán los segmentos de río y arroyos próximos al manglar que constituyen el drenaje de pequeñas cuencas hacia la costa y se producirá una afectación importante sobre la calidad del agua. Este efecto incidirá negativamente en los asentamientos humanos y servicios básicos a la población, en particular, en el suministro de agua y servicio de alcantarillado, dado que procede, fundamentalmente, de fuentes subterráneas. Los asentamientos Playa Florida y La Alina pueden quedar bajo agua. Además, el sistema de evacuación de los residuales, a través de fosas y letrinas, quedará inundado. Estos indicadores muestran una alta sensibilidad.

En la zona costera, la industria pesquera se encuentra en la parte más alta, pero se vería afectada en el acceso por carretera, posibles afectaciones a las redes y al suministro de agua. Sin embargo, la actividad turística se verá dañada con mayor intensidad a partir de las incidencias en componentes como; pérdida de la barra arenosa, dificultad para el acceso y afectaciones en el suministro de agua.

De forma similar, una parte importante del arroz que se cultiva en la zona depende del agua subterránea, con la intrusión marina se incrementarán los tenores de sodio y cloruros en el agua, iones que inciden negativamente en el desarrollo del cultivo. La ganadería, perderá terreno para el pastoreo extensivo y el deterioro de la calidad del agua en las lagunas redundará negativamente en el desarrollo de la actividad. Por tanto, la sensibilidad es alta.

### Evaluación de la capacidad de adaptación

En la actualidad, los asentamientos humanos y servicios básicos a la población no poseen toda la capacidad de respuesta adaptativa requerida para el enfrentamiento exitoso a este problema, tanto por las capacidades existentes en infraestructuras como por otros factores de orden social y económico. De forma similar, las actividades económicas, no disponen de suficientes recursos materiales, financieros, de capacitación y metodológicos que les permitan aplicar acciones concertadas, interinstitucionales y multidisciplinarias en función de la mitigación y adaptación sobre los efectos climáticos esperados. En general, la capacidad de adaptación es baja.



Elaborado: CIMAC - EAH

Prepared by: CIMAC - EAH

**Figura 2.** Relación uso de la tierra - intrusión salina actual, municipio Florida.

**Figure 2.** Relationship between land use and current salt intrusion, Florida municipality.

### Evaluación del riesgo y propuestas de medidas de adaptación

El riesgo a que están sometidos los objetos estudiados se evalúa a partir de la prioridad del peligro determinada, el grado de exposición y la vulnerabilidad (sensibilidad y capacidad de adaptación). Para las categorías de interés analizadas, la vulnerabilidad se califica como Muy Alta, con un Índice global de riesgo climático presente Muy Alto.

La identificación de las medidas de adaptación, deben ser direccionadas a partir de aplicar dos importantes enfoques: Adaptación Basada en Ecosistemas (AbE) y Adaptación Basada en Comunidades (AbC). Es necesario garantizar la reducción del grado de exposición de las comunidades y realizar acciones que contribuyan a disminuir la vulnerabilidad, a través de, la reducción de la sensibilidad a los efectos esperados y el incremento en la capacidad de adaptación, acciones viables desde una política de gobernanza climática insertada en las estrategias de desarrollo local y en favor de las proyecciones de la Agenda 2030 para el desarrollo sostenible de la ONU. Dentro de las propuestas de medidas destinadas a reducir la vulnerabilidad ante los efectos esperados debido al ascenso del nivel medio del mar en las áreas estudiadas, se encuentran:

**Comunicación y sensibilización:** Desarrollar una campaña de sensibilización sobre los riesgos del cambio climático y sus efectos sobre la salinización y la pérdida de calidad del agua, así como sobre las buenas prácticas para la recolección, disposición y tratamiento de los residuales sólidos y líquidos.

**Seguimiento de los fenómenos y sistemas:** Desarrollar un protocolo y crear la infraestructura necesaria para un sistema activo de monitoreo de la intrusión salina y la calidad del agua sobre las cuencas subterráneas.

**Acompañamiento de los procesos naturales:** Desarrollar un protocolo y crear la infraestructura necesaria para un sistema de monitoreo de la calidad del agua en los ecosistemas marino - costeros.

**Control activo, soluciones duras o blandas:** Aplicar soluciones AbE y AbC para el tratamiento de residuales líquidos en las comunidades costeras, protocolos sobre el control y la mitigación de la contaminación en la fuente, tecnologías para el control de la salinización y para la desalinización de aguas con destino al consumo humano y el riego.

**Adaptación radical al cambio climático:** Reducir los niveles productivos de aquellos productos altos consumidores de agua que impliquen la sobreexplotación de pozos.

## Conclusiones

1. El análisis de las vulnerabilidades de la zona costera, a través de la metodología propuesta, ha permitido obtener elementos que abordan el grado de exposición y vulnerabilidad de sistemas naturales y humanos con enfoque de cambio climático.
2. El riesgo por penetraciones del mar es mayor en la zona próxima a la línea de costa, sobre todo en asentamientos como Playa Florida. Sin embargo, existen elementos inhibidores y potenciadores del riesgo, que deben ser considerados en los análisis.
3. En las categorías que tienen una dependencia importante en relación con el agua, la vulnerabilidad y el riesgo climático se clasifican de Muy Altos, resultado de una exposición y sensibilidad alta en contraposición con una capacidad de adaptación baja.

## Bibliografía

- Alcolado, P. (1999). “Arrecifes coralinos. Ecosistemas amenazados”. *Revista Flora y Fauna*, 3(1): 8-13.
- Baastel-BRLi. (2022). *Estudio de vulnerabilidad y de factibilidad del programa de fortalecimiento de la resiliencia ecosistémica y social de las zonas costeras y marinas en Cuba en un contexto de cambio climático. Análisis de riesgos presentes y futuros en Santa Lucía*. Camagüey, Cuba.
- Bompy, F., Lequeue, G., Imbert, D., Dulormne, M. (2014). Las crecientes fluctuaciones de la salinidad del suelo afectan el crecimiento y la fisiología de las plántulas en tres especies de manglares neotropicales. *Planta y suelo*, 380, 399-413. <http://doi.org/10.1007/s11104-014-2100-2>
- Caballero, H., Alcolado, P., Rey, N., Perera, S., González, J. (2016). Coral communities condition in varying wave exposure: the gulf of czones, Cuba. *Revista de Biología Tropical*. 64(1), 79-93. <http://doi.org/10.15517/rbt.v64i1.18231>
- CIMAC (2019). *Modelo de Ordenamiento Ambiental del municipio Florida. Informe del Proyecto Bases ambientales para la sostenibilidad alimentaria local*. (BASAL).
- Custodio, E. (2017). *Salinización de las aguas subterráneas en los acuíferos costeros mediterráneos e insulares españoles*. Ed. Grupo de Hidrología Subterránea. Universidad Politécnica de Cataluña. España. ISBN 978-84-9880-687-8. <http://www.upc.edu/idp>.
- GIZ, EURAC & UNU-EHS. (2018). *Evaluación de Riesgo Climático para la Adaptación basada en Ecosistemas-Una guía para planificadores y practicantes*, Bonn: GIZ. <http://www.adaptationcommunity.net>
- González López del Castillo, R. (2022). *Propuesta metodológica para la gobernanza climática local desde la gestión del riesgo climático en zonas costeras*. Centro de Investigaciones de Medio Ambiente de Camagüey (CIMAC).
- Hernández Sosa, I. (2018). *Análisis de los efectos del cambio climático y su repercusión en la erosión costera y el retroceso de la línea de costa en localidades del municipio Florida*. Centro de Investigaciones de Medio Ambiente de Camagüey (CIMAC).
- IGME, UJI & DGA. (2009). *Propuesta de indicador de estado de intrusión marina. Aplicación a las masas de agua subterránea de la provincia de Castellón*. Instituto Geológico y Minero de España - Universitat Jaume I de Castellón - Dirección General del Agua. Castellón. España. <http://www.chj.es>
- IPCC. 2014. *Climate Change (2014): Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1132 pp. <http://www.ipcc.ch>
- Iturralde, A, M., Serrano, H. (2015). *Peligros y vulnerabilidades de la zona marino-costera de Cuba: estado actual y perspectivas ante el cambio climático hasta el 2100*. Ed. Academia. La Habana, Cuba. <http://redciencia.cu>
- Karthik Balaguru, Ping Chang, R. Saravanan, L. Ruby Leung, Zhao Xu, Mingkui Li, and Jen-Shan Hsieh. (2012). Ocean barrier layers' effect on tropical cyclone intensification. *PNAS*, 109 (36), 14343-14347. Edited by Kerry A. Emanuel, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge. <http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1201364109>
- Lamz Piedra, A., González Cepero, M. C. (2013). La salinidad como problema en la agricultura: la mejora vegetal una solución inmediata. *Cultivos Tropicales*, 34(4):31-42. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S025859362013000400005&Ing=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S025859362013000400005&Ing=es&tlng=es)
- CITMA (2015). *Alerta sobre el ascenso del nivel medio del mar debido al cambio climático. 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”*.
- CITMA (2020) *Tercera Comunicación Nacional a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático*. <http://www.unfccc.int>
- Mitrani Arenal, I., Díaz Rodríguez, O. O., Vichot Llamó, A., Cabrales Infante, J., Bezanilla Morlot, A., Hidalgo Mayo, A. (2021). Temperatura y salinidad en las aguas cubanas, posible evolución futura e implicaciones. *Revista Cubana de Meteorología*, 27(4). <http://rcm.insmet.cu/index.php/rcm/article/view/591>
- GOOS (2016) Sustained Global Ocean Observing. *Essential Ocean Variables*. <http://www.goosocan.org>

- UNDP. (2020). *Proyecto “Resiliencia Costera al Cambio Climático en Cuba a través de la Adaptación basada en Ecosistema - MI COSTA”*. <http://www.open.undp.org>
- Wang, W., Xu, L., You, S., Liu, C., Wang, M. (2020). Daily salinity fluctuation alleviates salt stress on seedlings of the mangrove *Bruguiera gymnorhiza*. *Hydrological Processes* 34(11), 2466-2476. <http://doi:10.1002/hyp.13741>
- Wilson, R. (2017). Impacts of Climate Change on Mangrove Ecosystems in the Coastal and Marine Environments of Caribbean Small Island Developing States (SIDS), Caribbean Climate Change Report Card: *Science Review*, pp 60-82.
- Xu, L., Wang, M., Xin, C., Liu, C., Wang, W. (2020). Mangrove distribution in relation to seasonal water salinity and ion compartmentation: a field study along a freshwater - dominated river. *Hidrobiología* 847, 549-561. <http://doi.org/10.1007/s10750-019-04119-7>
- Yera Digat, G., Fernández C. M., Fagundo Castillo J. R. (2010). Métodos estadísticos en el estudio hidrogeoquímico del sistema acuífero Costera Sur de Camagüey, Cuba. *Minería y Geología*, 26(1): 45-75. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223514966003>
- Zhang, Y, H., Li, J, D., Yan, W, J., Luo, F, S., Wang, L., Zuo, L, M., Xu, J, G., Li, W, T., Zhang, P, D. (2023). The combined effect of seawater salinity and duration on the survival and growth of eelgrass *Zostera marina*. *Aquatic Botany*, 187, 103652. <http://doi.org/10.1016/j.aquabot.2023.103652>