

4.3.1. Impactos en los recursos hídricos subterráneos

La Figura 4.6 muestra la relación explotación infiltración para: Caso, con 23.3 cm de ascenso del nivel del mar y Caso 2, con 44.4 cm de ascenso del nivel del mar. En estos escenarios hay varios trimestres donde el volumen de extracción total en el acuífero fue mayor que la recarga. La pequeña diferencia entre los volúmenes de infiltración del se debe a que en este último, el área de la zona de estudio es menor, producto del aumento del nivel del mar que provoca la inundación de la franja costera.

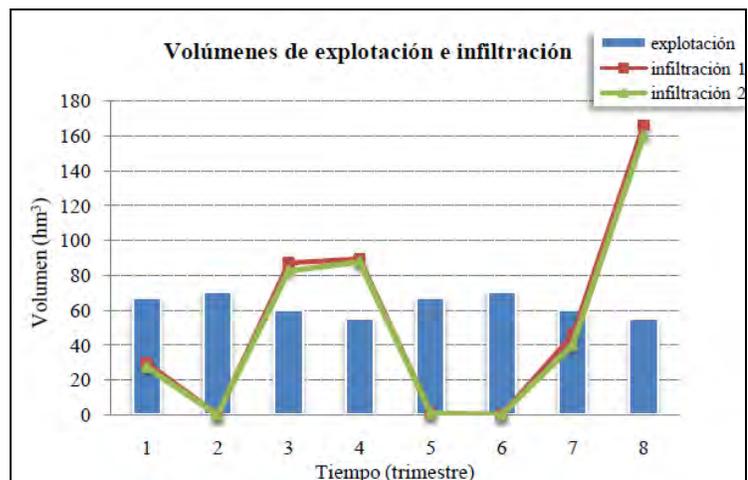


Figura 4.6. Volúmenes de explotación e infiltración para el período seco. La serie "Infiltración 1" corresponde al caso 1. La serie "Infiltración 2" corresponde al caso 2.

Bajo estas condiciones de explotación y recarga, los volúmenes del acuífero en ambos casos tienden a disminuir, tal como se observa en la Figura 4.7. Hay que tener presente que estos valores de volumen son calculados a partir de las cargas piezométricas, las áreas discretizadas para la modelación con el sistema AQÚMPE y

la porosidad. Por tanto, son valores de volumen de agua por encima del plano de referencia, en este caso el nivel medio del mar para cada uno de los casos. En el Caso 1 este volumen es mayor para todos los tiempos. La diferencia entre los volúmenes de cada caso está entre el 1.3% y 3.5% de los valores de volumen del caso 1 (Figura 4.8). Obsérvese que esta diferencia tiende a aumentar con el tiempo.

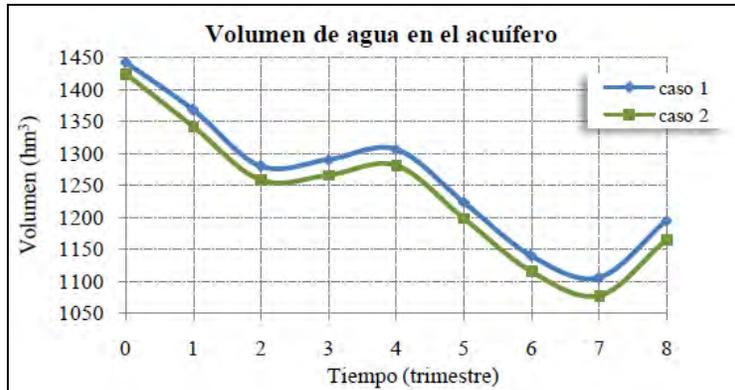


Figura 4.7. Volúmenes de agua en el acuífero para el período seco y los casos 1 y 2.

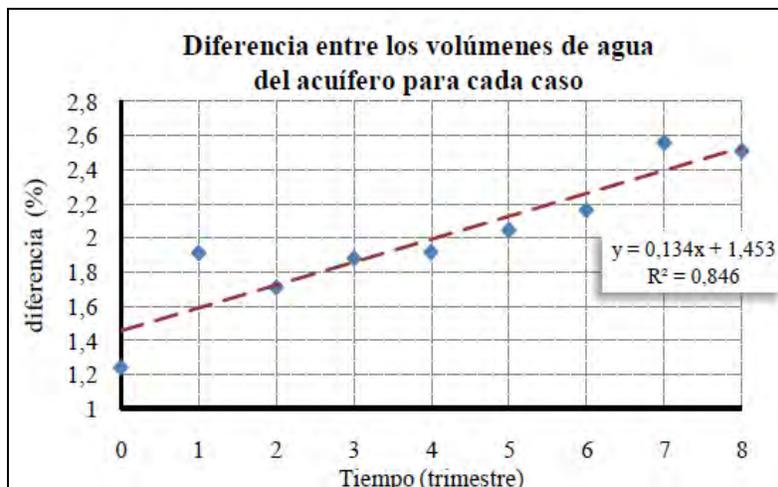


Figura 4.8. Diferencia entre los volúmenes de agua de los dos casos expresada en porcentaje de los volúmenes del caso 1 para cada tiempo del período seco.

La descarga subterránea tiende a ser menor para el Caso 2, debido a que las cargas en los nodos de este contorno son ligeramente menores en comparación con las del Caso 1. Como se observa en la Figura 4.9, este comportamiento no se cumple para el trimestre 1, ya que se tomaron los mismos niveles en ambos modelos para un estado inicial real del acuífero, provocándose un mayor gradiente hidráulico en el Caso 1 debido a su menor longitud en la dirección norte-sur y menor carga en el contorno sur.

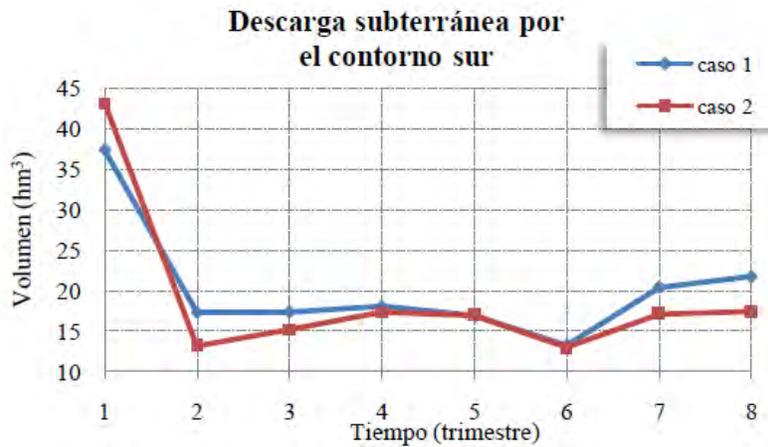


Figura 4.9. Descarga subterránea por el contorno sur en hm³ por trimestre para el período seco y los casos 1 y 2.

Los niveles regionales en el acuífero para los dos casos de estudio están deprimidos hacia el final del período de simulación, presentándose zonas con niveles por debajo del nivel medio del mar en el trimestre 7 de la simulación. En las Figuras 4.10 y 4.11 se muestran los niveles de agua salada referidos al nivel medio del mar correspondiente a cada caso, en el trimestre 7 de la simulación.

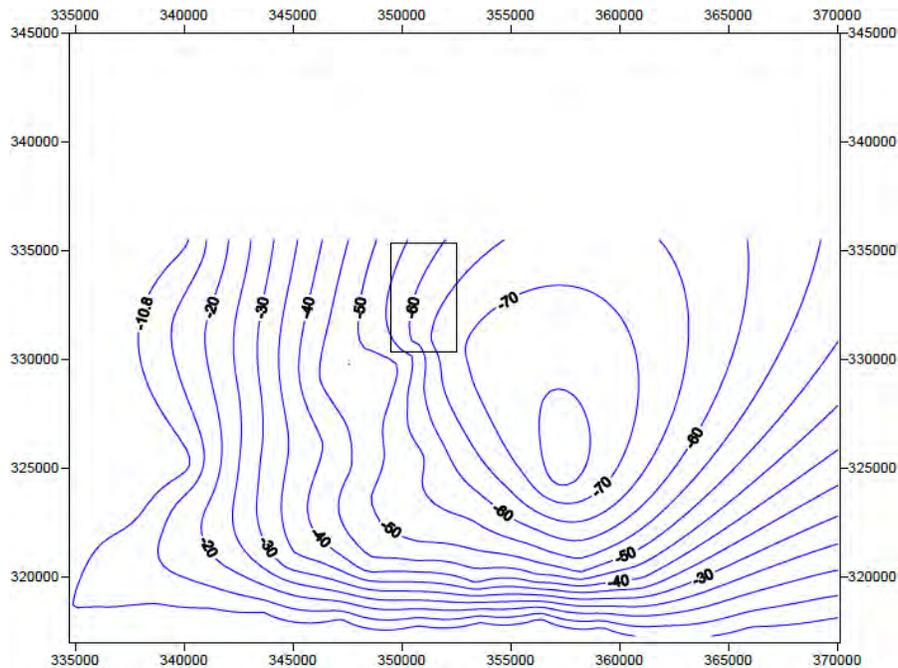


Figura 4.10. Niveles de agua salada del caso 1 para el trimestre 7. El rectángulo delimita el área aproximada donde están ubicados los pozos del acueducto de Cuenca Sur.

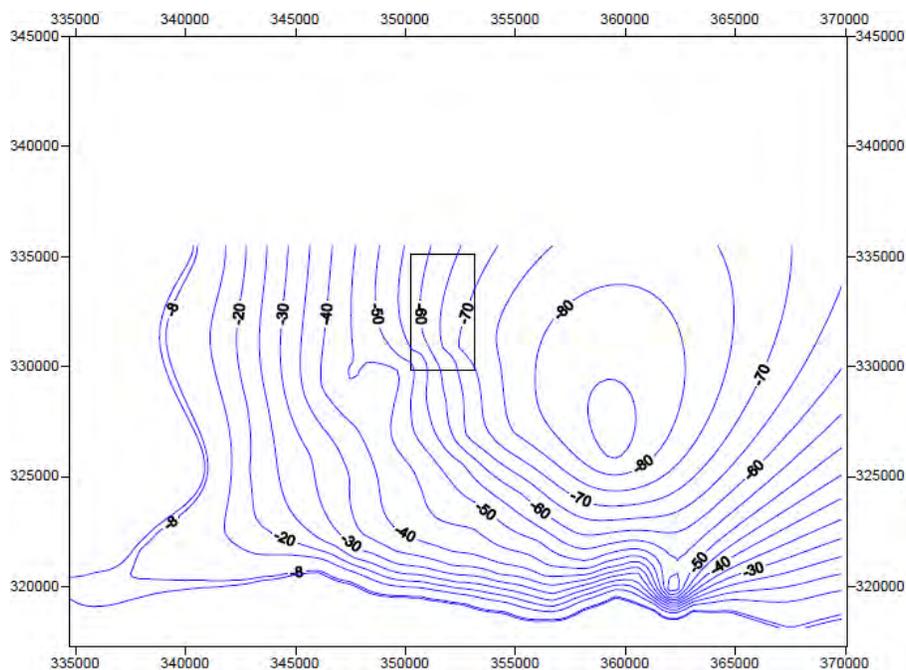


Figura 4.11. Niveles de agua salada del caso 2 para el trimestre 7. El rectángulo delimita el área aproximada donde están ubicados los pozos del acueducto de Cuenca Sur.

De la observación de estas dos figuras se puede concluir que en la zona cercana al contorno sur y al oeste del área es donde se produce el mayor impacto del aumento del nivel medio del mar en el desplazamiento de la cuña de intrusión salina. En ambos casos el área suroeste del acuífero aparece salinizada por completo, con niveles de la interfaz de agua salada por encima del nivel que se produce en el contorno sur. Esto se debe a que el contorno oeste se simula como impermeable y varios nodos en esa área tienen asignados gastos de extracción considerables, cuyos conos de abatimiento son agravados por el efecto de la frontera impermeable. También se observa que el mayor desplazamiento de la cuña de intrusión salina no se produce de forma paralela a la costa, sino en una dirección suroeste-noreste con respecto a esta.

En el área donde se encuentran ubicados los pozos del acueducto de Cuenca Sur no hay un cambio tan marcado entre los niveles de agua salada correspondientes a cada caso. Para los dos casos de estudio prácticamente todos los pozos tienen sus niveles locales por debajo del nivel medio del mar para el trimestre 7 de la simulación.

En las figuras 4.12 y 4.13 se muestra el comportamiento de los niveles en el pozo 16 de Cuenca Sur, para los dos casos en el trimestre 7. Se puede observar que los niveles tanto regionales como locales prácticamente no varían de un caso a otro, a pesar de ser este el pozo ubicado a menor distancia de la costa.

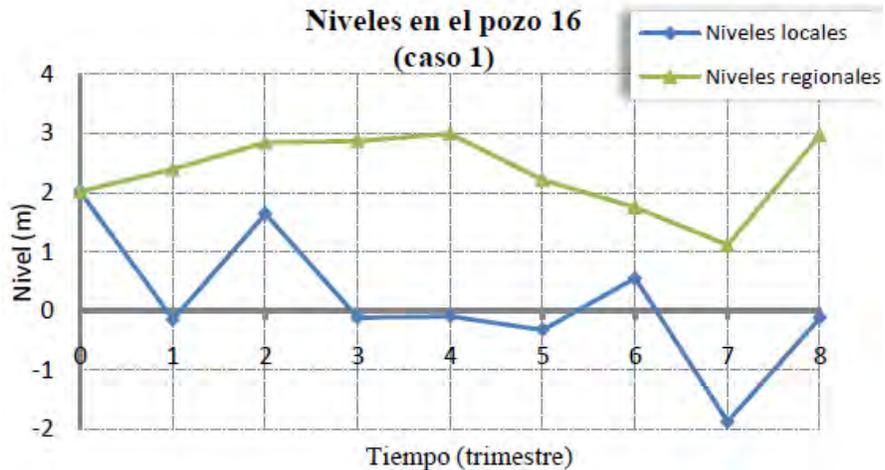


Figura 4.12. Niveles en el pozo 16 para el caso 1 y el trimestre 7.

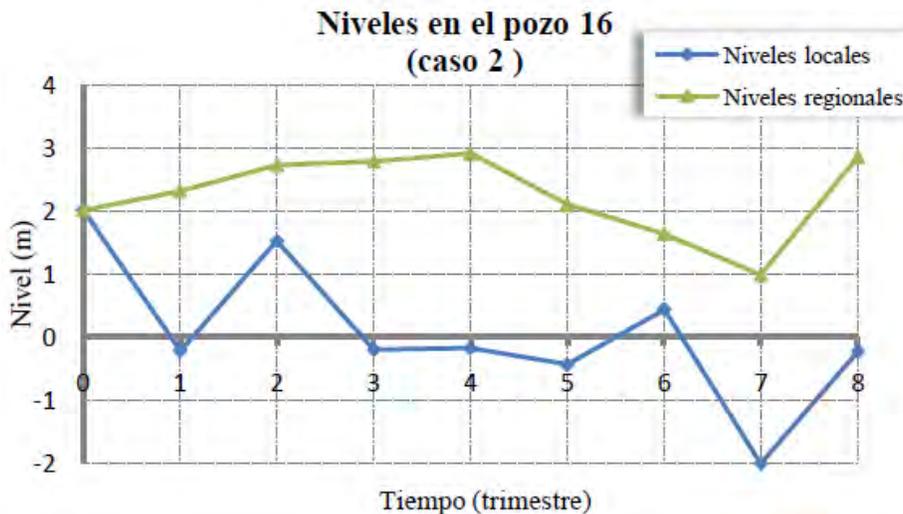


Figura 4.13. Niveles en el pozo 16 para el caso 2 y el tiempo 7.

Con el fin de realizar un mejor análisis del problema de la intrusión salina en los pozos del acueducto de Cuenca Sur, se calcularon los niveles de agua salada a partir de los niveles locales según el Método de *Ghyben-Herzberg*.

Los niveles de agua salada correspondientes a cada pozo se compararon con las cotas del fondo de los mismos. Por supuesto, estas cotas de fondo se referenciaron, primero, al nivel medio del mar correspondiente a cada caso. De esta comparación resulta que para los dos casos, a partir del trimestre 5, en la mayoría de los pozos del acueducto de Cuenca Sur el nivel de la interfaz de agua salada se encuentra por encima de las cotas del fondo de los pozos. Esto implica que para estos casos de posibles valores de aumento del nivel del mar para el año 2050, con los valores de recarga y explotación asumidos, la mayoría de los pozos del acueducto de Cuenca Sur tienen problemas de contaminación por la intrusión salina.

4.3.2. Escenarios hídricos para el sector agrícola

Según los escenarios de cambio climático que se utilizan para el sector agrícola y la metodología utilizada para la estimación del potencial hídrico de la región, las conclusiones básicas son que tanto las precipitaciones anuales como la evapotranspiración anual de los ecosistemas terrestres disminuirán a lo largo del siglo actual con independencia del modelo de clima global y el escenario de emisión de gases de efecto invernadero utilizado. Es evidente sin embargo que, especialmente en la segunda mitad del siglo, aumentan las diferencias entre los diferentes escenarios siendo el *HadCM3 A2* el de mayor impacto previsto (Figuras 4.14 a la 4.17).

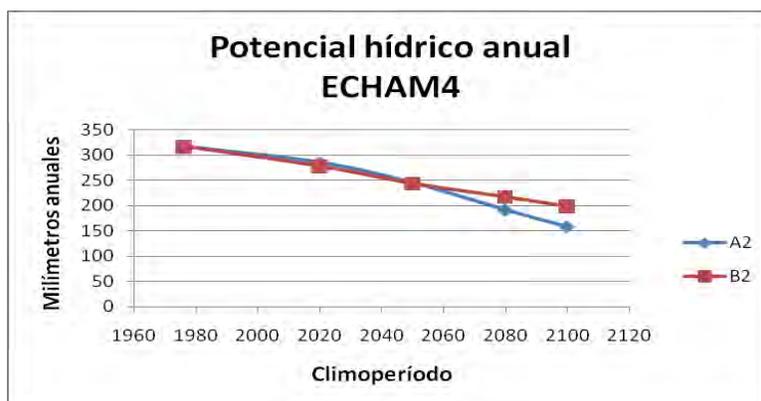


Figura 4.14. Potencial hídrico en Batabanó durante el siglo actual en los escenarios ECHAM4 A2 y B2.

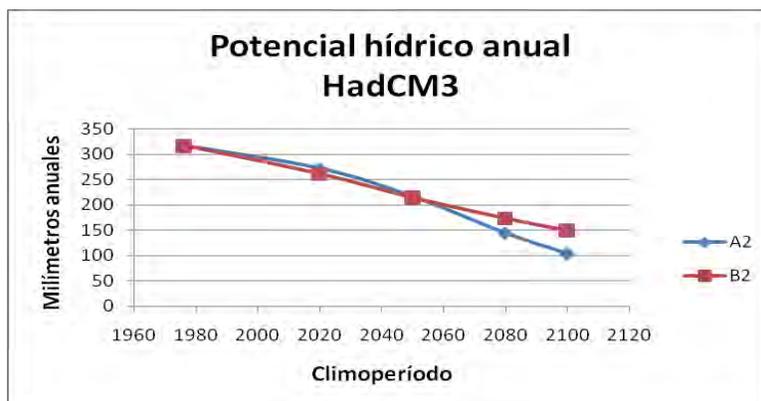


Figura 4.15. Potencial hídrico en Batabanó durante el siglo actual en los escenarios HadCM3 A2 y B2

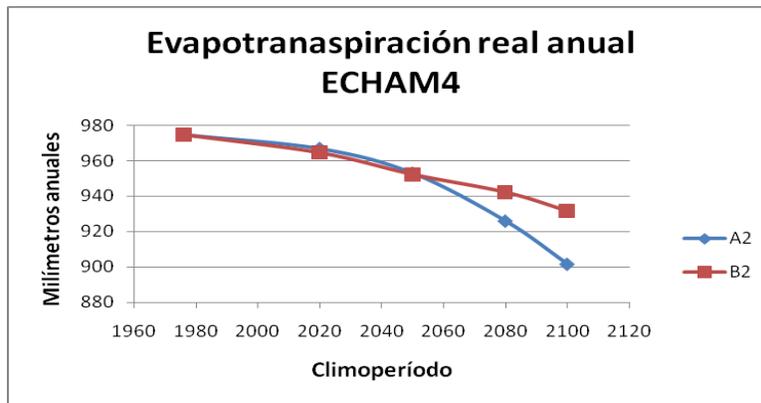


Figura 4.16. Evapotranspiración real anual en Batabanó durante el siglo actual en los escenarios ECHAM4 A2 y B2.

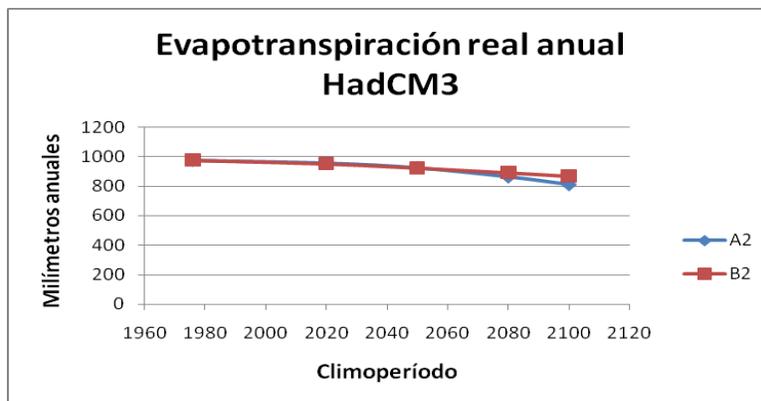


Figura 4.17. Evapotranspiración real anual en Batabanó durante el siglo actual en los escenarios HadCM3 A2 y B2

Aunque no es evidente en este análisis, el descenso progresivo de la evapotranspiración real y el potencial hídrico (Figuras 4.18 y 4.19) no es totalmente debido al descenso de las precipitaciones sino al efecto sinérgico de este descenso con el aumento de la evapotranspiración potencial y de las temperaturas. Tal ascenso de las temperaturas combinado con la disminución de las precipitaciones se evidencia a través del ascenso sostenido del índice radiativo de aridez de Budyko (B) que puede observarse en la Tabla 3.1.1. Los resultados obtenidos para la región no difieren en cuestiones esenciales de los resultados obtenidos para la Región Occidental por Planos *et al.* (1999) y para Camagüey por Rivero *et al.* (2005).

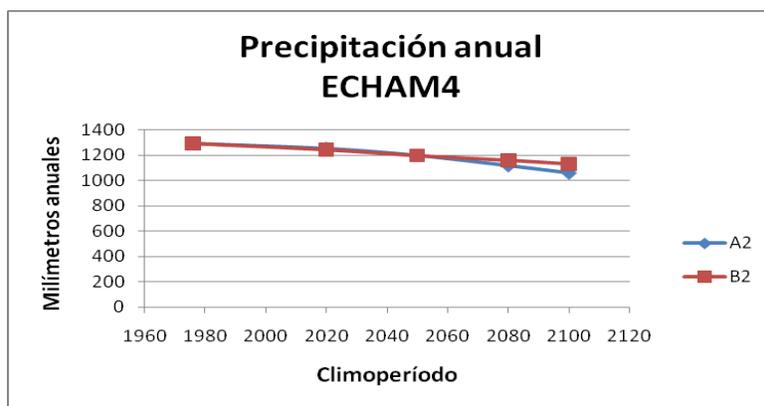


Figura 4.18 Precipitación anual en B atabanó durante el siglo actual en los escenarios ECHAM4 A2 y B2

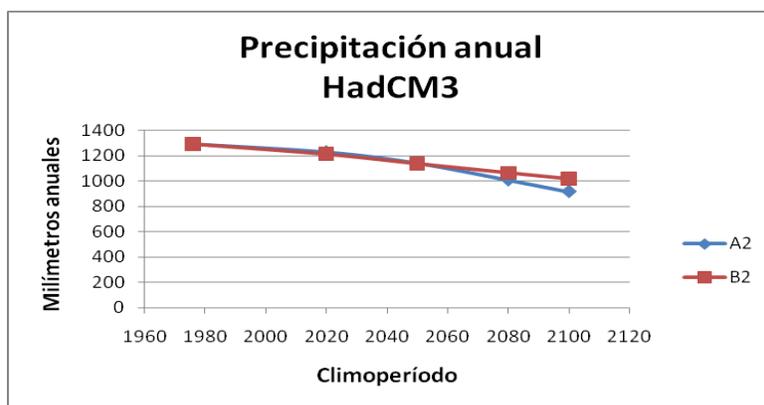


Figura 4.19. Precipitación anual en Batabanó durante el siglo actual en los escenarios HadCM3 A2 y B2.

Utilizando la definición simple de la evapotranspiración potencial (E_0) dada anteriormente y la ecuación de balance hídrico multianual puede transformarse a una ecuación en índices climáticos dada como:

$$P = E + S$$

$$(P / E_0) = (E / E_0) + (S / E_0)$$

$$K = M + \Phi$$

Donde:

K – índice de aridez del PNUMA y sequía atmosférica (Rivero *et al.*, 1996a y b; CCD, 1995)

M – índice ecológico de aridez definido por Rivero (1999b) para sustituir K en la CCD

Φ – índice de aridez hidrológica de aridez definido por Rivero *et al.* (2009b)

Tal y como fuera demostrado por Rivero *et al.* (2009b) la interpretación racional de estos tres índices puede ser suficiente para una evaluación de impacto del cambio climático sobre el sector agrícola aún sin realizar las simulaciones biofísicas mediante modelos de cultivo (Tabla 4.4).

Tabla 4.4. Índices climáticos principales para la zona de Batabanó en di versos escenarios futuros.

INDICE	REFERENCIA	2020	2050	2080	2100
		ECHAM4 A2	HadCM3 A2	ECHAM4 B2	HadCM3 B2
K	0.837629601				
2020		0.793099773	0.777206759	0.782233473	0.762604596
2050		0.735718231	0.699542133	0.733599655	0.69671524
2080		0.655422049	0.589240446	0.693384504	0.635714935
2100		0.602826237	0.518378369	0.665056154	0.597559114
M	0.632178178				
2020		0.612543061	0.605188312	0.60753821	0.598330297
2050		0.585309137	0.56693015	0.584198655	0.565421253
2080		0.543209582	0.504773895	0.563704864	0.532168096
2100		0.51291553	0.459499553	0.548481469	0.509772247
Φ	0.205451423				
2020		0.180551011	0.171997557	0.174716047	0.164262341
2050		0.150411551	0.132641418	0.149377688	0.131263974
2080		0.112232415	0.084480007	0.129708358	0.103568328
2100		0.089895345	0.058904384	0.116572918	0.087780409

La disminución progresiva de **K** indica que el paisaje geográfico evolucionará hacia condiciones más áridas y susceptibles a la desertificación y aparición de episodios de sequía agrícola. La del índice **M** apunta hacia una disminución progresiva de la productividad primaria neta de los ecosistemas naturales y agrícolas en condiciones de secano mientras que la del índice **Φ** nos dice que la opción de adaptación extendiendo el área de riego y la intensidad de este se verá limitada por la creciente falta de disponibilidad de agua en acuíferos y embalses.

Los índices climáticos estimados, el índice **K** en específico, indican que la región de estudio evolucionará desde un clima húmedo en la primera mitad del siglo hacia un clima subhúmedo seco susceptible a la desertificación en la segunda mitad del siglo actual para todos los escenarios con excepción del ECHAM4 B2.

El índice climático **M** indica una reducción progresiva de la productividad primaria neta y los rendimientos agrícolas de secano a través de la disminución del agua de suelo disponible para los cultivos mientras que la del índice **Φ** evidencia que la disponibilidad de escurrimiento para la recarga de acuíferos y embalses superficiales también disminuirá impidiendo la extensión en área de cultivos bajo riego.

Los resultados obtenidos implican una reducción sustancial y progresiva del potencial hídrico de la región a lo largo del presente siglo. El clima se hará cada vez más árido hasta alcanzar la categoría de subhúmedo seco en la segunda mitad del mismo. Otras regiones de Cuba, como la oriental, serán mucho más afectadas aún (Rivero y Rivero, 2010). Esto implicará una reducción de las disponibilidades de agua aprovechable para fines de regadío y hará necesario elevar la eficiencia en el uso del agua, posiblemente reduciendo las áreas bajo riego, para alcanzar rendimientos reales cercanos a los potenciales.

4.4. Medidas de adaptación.

4.4.1. Consideraciones generales.

De acuerdo con el grado de desarrollo de la actividad hidráulica en el país, las medidas de adaptación deben de estar dirigidas a elevar la eficiencia en el manejo y el uso del

agua y en la protección del recurso contra la contaminación, aunque indudablemente también se requerirían inversiones para modificaciones estructurales, fundamentalmente, en la construcción de pozos y obras para contrarrestar el efecto de la contaminación marina, así como de igual modo pudiera valorarse el aumento de la capacidad reguladora de las obras de conducción de gastos máximos y la construcción de obras de protección contra inundaciones.

Las medidas de adaptación en este sector deben ser, principalmente, acciones específicas a escala de proyecto, cuenca o región, para que respondan con eficacia a las particularidades de los sistemas para los que sean concebidas, aunque también son admisibles medidas de alcance nacional, sobre todo, en lo concerniente al planeamiento o aspectos de tipo metodológico. Un elemento a considerar para el análisis de las medidas de adaptación, es la importancia que el sector tiene para el funcionamiento y desarrollo de la mayoría de los sistemas ambientales, sectores económicos y la sociedad, lo que obliga a que dichas medidas deban ser integrales, de manera que sus beneficios satisfagan, en lo posible, a los intereses de todas las actividades que interactúan con el agua.

UNEP (1996) plantea dos tipos generales de medidas: la adaptación para el suministro de agua y la adaptación en la demanda de agua. Estas líneas de acción no cubren todas las posibilidades que existen para la adaptación, dejando fuera algunas acciones más generales que tienen que ver con el trazado de estrategias y políticas aplicables a escala nacional, la necesaria labor de vigilancia ambiental y la necesidad de adecuar ciertos procedimientos de cálculos, teniendo en cuenta los cambios que se pronostican en la distribución espacial y temporal de las variables del ciclo hidrológico.

Una visión más detallada del asunto que se viene tratando, se obtiene al revisar una relación de posibles medidas contenidas en un resumen hecho por CEPAL (1993), de las estrategias de adaptación propuestas por el IPCC para la ordenación del agua. Estas constituyen una propuesta de líneas de trabajo para una evaluación más rigurosa de las medidas de adaptación del sector de los recursos hídricos en Cuba.

Medidas de Tipo Estructurales, Planeamiento e Investigaciones

- Sincronización de las estrategias
- Mejoramiento de la medición, la vigilancia, el conocimiento y el pronóstico científico
- Protección de la calidad del agua
- Prevención de las inundaciones
- Determinación de la flexibilidad y vulnerabilidad de los sistemas actuales de abastecimientos de agua
- Seguridad de las presas y otros criterios técnicos
- Ordenación de los recursos naturales
- Transferencia voluntaria de derechos de agua o mecanismos del mercado
- Educación, transferencia de tecnología y asistencia financiera
- Socorro en casos de desastre y preparativos para emergencias

Medidas de Adaptación en el Suministro de Agua

- Optimización de los sistemas
- Modificación de la capacidad de almacenamiento y otras medidas de ampliación

Medidas de Adaptación en la Demanda de Agua

- Ahorro de agua
- Administración de la demanda mediante la fijación de precios
- Modificación de los sistemas de cultivo y labranza
- Mayor utilización de la energía hidroeléctrica:

4.4.2. Algunas medidas de adaptación.

En general, las distintas opciones de adaptación están sujetas a regulaciones o restricciones de índole económicas, físicas o biológicas. Por ello, para decidir las medidas necesarias es importante responder a las siguientes interrogantes: ¿Cuáles son técnicamente posibles?, ¿Cuáles son económicamente beneficiosas?, ¿Cuáles son socialmente o legalmente aceptables? y ¿Cuáles son, desde el punto de vista ambiental, válidas o sostenibles?.

A modo de ejemplo se presenta, a continuación, una valoración preliminar sobre algunas medidas específicas de adaptación, identificadas como resultado del análisis realizado, que pudieran considerarse en el sector de los recursos hídricos en Cuba y en el área de estudio, así como su factibilidad en el presente o en el futuro inmediato (Tabla 4.5).

Tabla 4.5. Valoración de medidas de adaptación específicas en Cuba

Medidas de Adaptación	Presente Inmediato
Construcción de presas y otras obras hidráulicas, con vistas a garantizar volúmenes adicionales y/o luchar contra las inundaciones.	<ul style="list-style-type: none"> • Técnicamente posibles sólo en algunos lugares, debido a la amplia cobertura de la infraestructura hidráulica. • Económicamente beneficiosas, pero costosas. • Socialmente aceptables. • Válidas y sostenibles. • Reducen la vulnerabilidad de regiones específicas y no dañan otras, aunque pueden ocasionar problemas de tipo medio ambiental.
Construcción de presas y otras obras, incluyendo pozos, para la recarga al manto subterráneo.	<ul style="list-style-type: none"> • Técnicamente posibles en muy pocos lugares. • Económicamente beneficiosas • Socialmente aceptables • Válidas y sostenibles. • Reducen la vulnerabilidad, no crean daños, aunque pueden crear problemas con la calidad de las aguas.
Construcción de diques o barreras contra la intrusión del agua de mar	<ul style="list-style-type: none"> • Técnicamente posibles en algunos lugares • Económicamente beneficiosos • Socialmente aceptables • Válidas y sostenibles. • Reducen la vulnerabilidad de los acuíferos; pueden crear daños u otros problemas medio ambientales
Construcción de pozos de bombeo, únicos o en baterías, para suplir las necesidades de abasto en general.	<ul style="list-style-type: none"> • Técnicamente posibles en muchos lugares costeros, no cercanos a las zonas de peligro. • Económicamente beneficiosos

Tabla 4.5. Valoración de medidas de adaptación específicas en Cuba

Medidas de Adaptación	Presente Inmediato
	<ul style="list-style-type: none"> • Socialmente aceptables • Válidos y sostenibles. • Reducen la vulnerabilidad y no crean daños
<p>Construcción de pozos de bombeo poco profundos, únicos o en baterías, trincheras u otras alternativas, para suplir las extracciones en lugares no adecuados para las técnicas tradicionales.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Técnicamente posibles en muchos lugares costeros y bajos. • Económicamente beneficiosos • Socialmente aceptables • Válidos y sostenibles. • Reducen la vulnerabilidad y no crean daños
<p>Modificaciones en la red de pozos existentes:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Cambiar bombas de pozos profundos por bombas horizontales en algunos lugares de las franjas costeras que lo permitan, evitando la succión en profundidad y la salinización de las fuentes. 2. Subir los impelentes en pozos de bombeo en una buena parte de las zonas costeras, con el objetivo de bombear en niveles superiores y con menos peligro de salinidad 3. Reubicar las fuentes (pozos) aún no salinizados de algunas de las zonas más bajas de la franja costera, a no menos de 2-3 km. de la costa, considerando que la influencia directa del ascenso del nmm debe llegar hasta 1.5 km. de la costa. 4. Reubicar hacia zonas más altas, en la medida que sea posible, los pozos de las zonas costeras que han presentado elevación de los niveles de salinidad, aún en forma admisible, pero que tendrán valores superiores en el futuro. 	<ul style="list-style-type: none"> • Técnicamente posibles en muchos lugares costeros • Económicamente beneficiosos • Socialmente aceptables • Válidos y sostenibles. • Reducen la vulnerabilidad y no crean daños

4.5. Bibliografía

1. Barros Mouriño, O. (1996). El agua subterránea en Cuba. Centro de Hidrología y Calidad del Agua (manuscrito)
2. CEPAL (1993). Cambio climático y gestión del agua en América Latina y el Caribe (versión en Español). LC/G.1765, Naciones Unidas.
3. González Báez, A. (1997). La recarga artificial contra la intrusión salina ¿hasta donde resulta eficaz en las formaciones cársicas?. Investigaciones hidrogeológicas en Cuba. TAHICU 96. Cuba. 89 – 103
4. González Báez, A. (1997). Obras costeras contra la intrusión salina para el beneficio de los recursos explotables de una cuenca subterránea. Investigaciones Hidrogeológicas en Cuba. TAHICU 96. Cuba, p. 71 – 86.
5. Programa Nacional de Ciencia y Técnica (1999). Proyecto “Impacto del cambio global en la dinámica de la intrusión marina”: Informe técnico final de la evaluación de las afectaciones en los recursos hídricos subterráneos. Barros Mouriño, Osvaldo.
6. Revista Ingeniería Hidráulica y Ambiental Vol. XXII, No. 4 (2001) Impacto del cambio global en la dinámica de la intrusión marina. Barros Mouriño, Osvaldo y Haydée Llanusa Ruiz. Pág. 21 - 28
7. Revista Voluntad Hidráulica No. 102 (2009). Sobre las medidas de adaptación de los recursos hídricos cubanos ante el impacto de los cambios climáticos. García Fernández, Jorge Mario. Páginas 10 19. ISSN 0505-9461. La Habana, Cuba.

8. Revista Voluntad Hidráulica No. 87 - 88 (1998). Variabilidad de la intrusión salina en cuencas costeras cársicas de Cuba. Barros Mouriño, Osvaldo. Pág. 11 – 20. ISSN 0505-9461.
9. Revista Voluntad Hidráulica No. 98 (2006). Nuevos logros en el estudio de la pluviosidad en Cuba: Mapa Isoyético para el período 1961-2000. Servicio Hidrológico Nacional. Dirección de Cuencas Hidrográficas. INRH. Pág. 2 – 14. ISSN 0505-9461.
10. Rodríguez Pérez, L. (2010). Posibles impactos del cambio climático en el tramo HS-3 de la Cuenca Sur de La Habana. Tesis presentada en opción al grado de Ingeniero Hidráulico, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría. La Habana. 77 p.
11. UNEP (1996). Handbook on methods for climate change impact assesment and adaptation strategies. Draft, version 1.3
12. CCD (1995): Convención de las Naciones Unidas de Lucha Contra la Desertificación. Secretaría Provisional de la Convención, Ginebra, 230 pp.
13. Hulme, M., Wigley, T.M.L., Barrow, E.M., Raper, S.C.B., Centella, A., Smith, S.J. and Chipanshi, A.C. (2000): Using a Climate Scenario Generator for Vulnerability and Adaptation Assessments: MAGICC and SCENGEN Version 2.4 Workbook. Climatic Research Unit, Norwich UK, 52 pp.
14. INSMET (2001): República de Cuba. Primera Comunicación Nacional a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, Instituto de Meteorología, La Habana.
15. Planos, E., O. Barros y A. Carrasco (1999): *Recursos Hídricos*. En Impactos del Cambio Climático y Medidas de Adaptación en Cuba. Informe Final Proyecto No. FP / CP / 2200-97-12, Instituto de Meteorología, 27 – 54 pp.
16. Rivero, R. E. (1999b): El clima como condicionante y factor de la desertificación. Memorias de la II Convención Internacional sobre Medio Ambiente y Desarrollo (I Congreso de Conservación, Manejo y Gestión de Suelos en Cuencas Hidrográficas). La Habana, 14 – 18 de julio de 1999.
17. Rivero, R. E. (2008): Workbook of Climate Change Impacts Assessments in Agriculture: Basic Knowledge, Methodologies and Tools, CCCCC / INSMET / Commonwealth Secretariat, Belmopan, 148 pp.
18. Rivero, R. E.; R. R. Rivero y D. R. García (1996a): Sistema de Alerta Temprana de la Sequía Agrícola. Informe Científico Técnico, Centro Meteorológico de Camagüey, Camagüey, 40 pp.
19. Rivero, R. E., R. R. Rivero y D. R. García (1996b): Uso del Sistema de Alerta Temprana de la Sequía Agrícola. I Conferencia Internacional de Bomberos / IV Congreso Internacional de Desastres, La Habana, 12 – 15 Noviembre de 1996.
20. Rivero, R. E., G. Gómez, A. Álvarez, R. R. Rivero, D. R. García, I. C. Martínez *et al.* (1999c): *Agricultura y Silvicultura*. En Impactos del Cambio Climático y Medidas de Adaptación en Cuba. Informe Final Proyecto No. FP / CP / 2200-97-12, Instituto de Meteorología, La Habana, 81 – 130 pp.

21. Rivero, R. E., Z. I. Rivero y R. R. Rivero (2005): Impacto del Cambio Climático sobre los Recursos Hídricos en Camagüey. Memorias del VII Congreso Internacional de Hidráulica, 25 - 28 octubre 2005, 15 pp. ISBN 959-247-015-4
22. Rivero, R. E., Z. I. Rivero y R. R. Rivero (2009a): Índice de aridez hidrológica con fines de monitoreo, evaluación de impactos y adaptación al cambio climático. Memorias del Primer Congreso Internacional de Cambio Climático de la VII Convención Internacional sobre Medio Ambiente y Desarrollo, La Habana, 6 - 10 de Julio de 2009, 13 pp. ISBN: 978-959-304-003-7
23. Rivero, Z. I. y R. E. Rivero (2009b): Una línea base 1961 – 90 para el clima de Cuba con fines de utilización en la evaluación de los impactos agrícolas del cambio climático. Centro Meteorológico de Camagüey, Camagüey, Diciembre 2009, 18 páginas + base de datos digitales.
24. Rivero, Z. I. y R. E. Rivero (en prensa): Impactos de los cambios climáticos sobre la productividad primaria neta y la densidad potencial de biomasa de los ecosistemas terrestres en Cuba. Informe Científico Técnico para la Segunda Comunicación Nacional de la República de Cuba al Convenio Marco de Naciones Unidas para el Cambio Climático, Camagüey.
25. Sellers, W. D. (1970): Physical Climatology. Instituto del Libro, La Habana, 272 pp.
26. Wigley, T. M. L. (2003): MAGICC/SCENGEN 4.1 User Manual, National Center for Atmospheric Research, Boulder, 24 pp.

CAPÍTULO 5. RECURSOS MARINOS Y ZONAS COSTERAS.

El Golfo de Batabanó, (Figura 5.1), se encuentra localizado al SW de Cuba, entre los 21° 25' y los 22° 41' N y los 80° 52' y 84° 00' y se extiende desde la Bahía de Cortés hasta Cayo Guano del Este. Se caracteriza por ser semi-cerrado y somero extendiéndose en un área aproximada de 21285 km² (Lorenzo, y col., 2005). En su configuración costera se destacan las Ensenadas de La Broa y la Sigüanea y en él se encuentra enmarcado el Archipiélago de los Canarreos, con un total de 672 islas, cayos y cayuelos, formado por varias cayerías, entre ellas Las Cayamas, los Cayos de la Leña y los Cayos del Hambre, dispersas hacia el centro y norte del Golfo. Limita al norte con las provincias de Artemisa, Mayabeque y Matanzas; al este, con el Golfo de Cazones y en toda su porción sur, desde el Occidente hacia el Oriente, con las cayerías de Los Indios y San Felipe, la Isla de la Juventud, la cayería Bocas de Alonso, la cual emerge al noroeste de Punta del Potrero, en la costa Este de dicha Isla y termina cerca de Cayo Campos a 35 km de distancia, y los grandes cayos de origen rocoso que se extienden a continuación e integran Los Jardines y Jardinillos, conjunto insular que con 156 Km de extensión, se inicia desde Punta del Este, extremo este de la Isla de la Juventud y termina en Cayo Guano del Este (Núñez, Jiménez, 1984). Su relieve es muy uniforme, con una profundidad media de seis metros.

En el Golfo de Batabanó predomina el viento del este, con una velocidad media de 2,92 m/s y una frecuencia de ocurrencia de 21,8 % (Nuevo Atlas Nacional de Cuba, 1989). Sin embargo, sobre la superficie del mar, fuera de las influencias originadas por el relieve, la vegetación y las edificaciones (fricción, turbulencia y efecto de pantalla), la velocidad promedio del viento debe ser mayor que los valores registrados por las estaciones meteorológicas costeras (Blázquez y Romeu., 1982; Blázquez, 1988).

Los eventos meteorológicos severos perturban el régimen dinámico de las aguas someras del archipiélago cubano, que imponen durante la mayor parte del año los vientos Alisios. El Golfo de Batabanó es la zona de la plataforma insular cubana azotada con mayor frecuencia por intensos eventos meteorológicos (Hernández *et.al.*, 1998). Los ciclones tropicales, que tienen lugar entre junio y noviembre durante la temporada ciclónica, inciden con mayor frecuencia sobre la mitad occidental de Cuba y la mayoría de los huracanes más intensos que han azotado al país, han pasado por el Golfo de Batabanó o por sus inmediaciones. Es a principios y finales de temporada, cuando estos organismos presentan una tendencia a formarse en el Mar Caribe Occidental y toman trayectorias que en general suelen ir de Sur a Norte (López y Rubiera, 1988), constituyendo las etapas de la temporada ciclónica más peligrosas para el Golfo de Batabanó. Los "Sures" actúan sobre la mitad occidental de Cuba entre septiembre y mayo, con rumbos que cambian del Sur-sureste al Sur-suroeste y con velocidades que en algunas ocasiones han sobrepasado los 27,8 m/s (Rodríguez y Ballester, 1985).

En la región de estudio, se encuentran bien definidos los períodos de lluvia (de mayo a octubre) y de seca (de noviembre a abril) por lo que las precipitaciones describen un ciclo anual, con máximos de hasta 154 mm y mínimos de 328 mm (Nuevo Atlas Nacional de Cuba (1989).

El presente informe tiene como objetivo mostrar la tendencia del ascenso del nivel medio del mar y la influencia sobre algunos de los principales aspectos del sector de costa estudiado, atendiendo a la necesidad de cubrir las principales brechas de

información aún existentes: Una sola fuente de levantamiento batimétrico y altimétrico, lo cual permitiría una exactitud más rigurosa en las evaluaciones de impacto por ascenso del nivel medio del mar.

5.1 Materiales y métodos.

Los principales conceptos que sostienen la evaluación de la vulnerabilidad y el impacto en las zonas costeras y los recursos marinos se tomaron de Bijlsma, 1996; Munn, 2002 y Feenstra, 1996. Siguiendo a este último se definieron los principales métodos de evaluación: modelos predictivos, estudios empíricos, juicio de expertos y experimentación. El trabajo realizado incluye los estudios realizados por varios autores cubanos desde la Primera Comunicación Nacional (Centella *et al*, 2001) hasta la fecha. Con la finalidad de completar los resultados ya existente, se emplearon modelos desarrollados en el Instituto de Oceanología, sistemas de información geográfica y otros sistemas de desarrollo gráfico.

El país cuenta con mediciones continuas que se realizan en la Red Mareográfica Nacional y mantiene un monitoreo de las series de perfiles de playa y de los arrecifes en algunas localidades. Sin embargo, existen limitaciones para mantener un monitoreo sistemático a largo plazo que haga más fácil la realización del análisis integrado y simultáneo de la variabilidad de los factores y procesos biogeomorfológicos e hidrológicos en la zona costera.

5.2. Vulnerabilidades e impactos.

5.2.1 Zona costera Playa Majana - Playa Mayabeque.

La zona de estudio se encuentra comprendida entre la Ensenada de Majana y Playa Mayabeque, en la Región Occidental de Cuba, y comprende además las aguas adyacentes del Golfo de Batabanó (Figura 5.1).

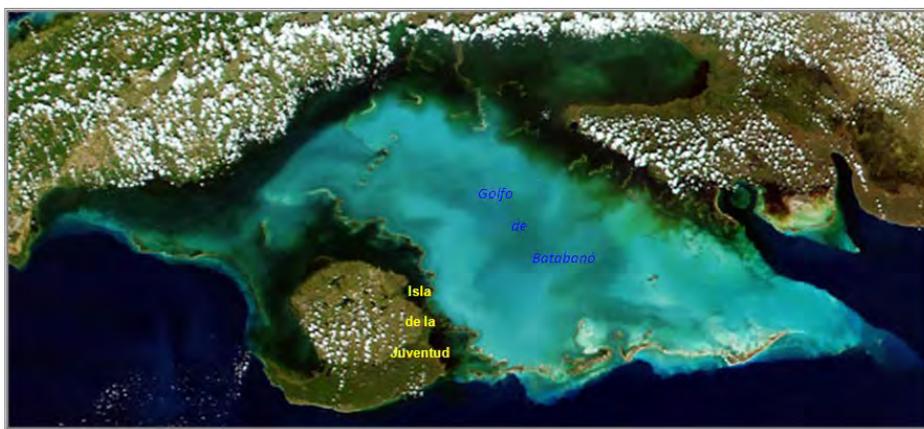


Figura 5.1. El Golfo de Batabanó visto por el sensor MODIS.

En las aguas de la plataforma insular adyacente ocurren grandes variaciones estacionales y espaciales de los parámetros hidrológicos, lo cual se debe a particularidades físico-geográficas e hidroclimáticas. Entre las primeras ocupa un lugar importante, el relativo aislamiento que existe entre las aguas de la plataforma y las

oceánicas (Claro, y col., 1994) y la existencia, en la plataforma, de extensas áreas poco profundas. En las segundas figuran, en primer lugar, la tasa de escurrimiento desde tierra, sobre todo de la parte emergida de la zona costera y las cuencas hidrográficas, y la tasa de evaporación. El escurrimiento que llega al Golfo de Batabanó durante la época de lluvia origina una reducción general de la salinidad en gran parte del mismo; mientras que en la época poco lluviosa las aguas con valores bajos de salinidad se concentran en la Ensenada de La Broa.

La amplitud máxima de los valores medios mensuales de temperatura del mar es de 6°C aproximadamente. La variación espacial de la temperatura en la plataforma insular fluctúa entre 1 y 2°C. Con respecto a las variaciones de más alta frecuencia de la temperatura se ha comprobado con datos experimentales que los frentes fríos son capaces de provocar variaciones bruscas de la temperatura de las aguas, de hasta 2°C (Blázquez, 1981). Los factores físico-geográficos e hidroclimáticos que gobiernan el comportamiento de hidrología en la plataforma insular pueden variar a largo plazo como consecuencia del cambio climático.

5.2.1.1. *Corrientes, mareas y variaciones aperiódicas del nivel del mar.*

Emilson y Tápanes (1971); Blázquez y Romeu (1982) y Blazquez *et al.* (1988), presentaron un esquema cualitativo de la circulación general de las aguas del Golfo de Batabanó, atribuyendo al viento el principal papel en la generación de este proceso, en virtud de la poca profundidad de estas zonas, y en menor medida a la marea y a las corrientes en las aguas oceánicas adyacentes. Las corrientes en el Golfo tienen una deriva promedio hacia el oeste a 4 millas náuticas por día, bajo la influencia de los vientos predominantes. Un 20% de la energía cinética de las corrientes observadas corresponde al movimiento medio y el 72% a las fluctuaciones (Blázquez *et al.*, 1988) (Figura 5.2).



Figura 5.2. Principales aspectos de las corrientes marinas en el Golfo de Batabanó (Tomado y adaptado de Lorenzo *et al.*, 2005).

Las oscilaciones de la marea, (fenómeno de origen gravitacional que posee un carácter periódico), tienen por lo general dos pleamares y dos bajamares en la mayor parte del archipiélago cubano. Sin embargo, en la zona de estudio (Figura 5.4), localizada en el interior del Golfo de Batabanó, prevalece la influencia de los factores meteorológicos sobre las variaciones del nivel del mar, logrando perturbar notablemente el mareograma (Rodríguez y Rodríguez, 1983); por lo que se ha podido determinar que hay una mayor variabilidad de la componente aperiódica del nivel del mar de escala sinóptica en dicha zona (Hernández, en prensa).

5.2.1.2. La costa y los sedimentos marinos.

En el sector estudiado, las costas son bajas, cubiertas de manglares y pantanosas en muchos sitios, con una ciénaga litoral muy extensa, cubierta por espesos manglares. En la Ensenada de la Broa desemboca el Río Hatiguanico, que corre casi de este a oeste. En las aguas adyacentes se hallan presentes numerosos cayos y desemboca el Río Mayabeque y se encuentra la Playa Rosario (Toledo et. al., 2005). Estas zonas litorales, con plataformas amplias, presentan costas acumulativas biogénicas (de manglar), donde la existencia de cayos y arrecifes en el límite exterior de la plataforma, le confiere una relativa estabilidad geólogo-geomorfológica, que favorece la distribución de las costas de acumulación biogénica en el litoral con la presencia de humedales (Chang et. al., 2003). Los agentes de resedimentación han sido las corrientes marinas y el oleaje, fundamentalmente en los períodos de las transgresiones cuaternarias. La distribución de los sedimentos reviste una importancia capital para la vida marina, y las formas de sedimentación posee una elevada susceptibilidad de ser afectadas por un incremento del nivel medio del mar o por un aumento de la temperatura media de las aguas a través de complejos mecanismos (Guerra, y col., 2005).

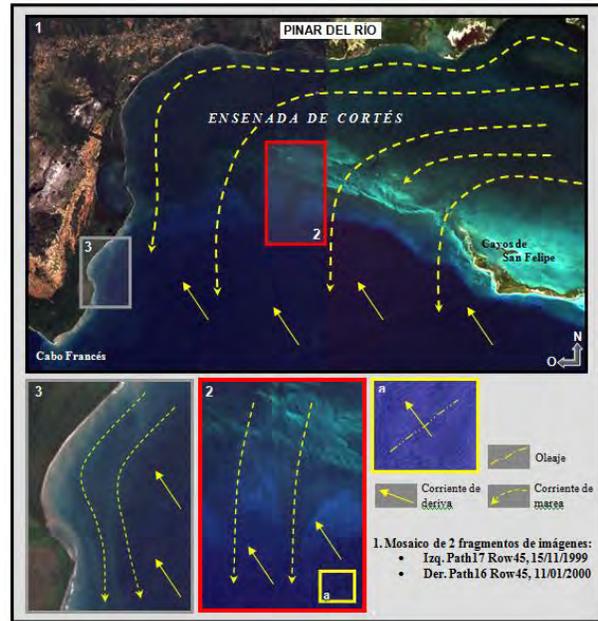


Figura 5.3. Principales aspectos de las corrientes marinas en el Golfo de Batabanó (Tomado y adaptado de Lorenzo et al., 2005).

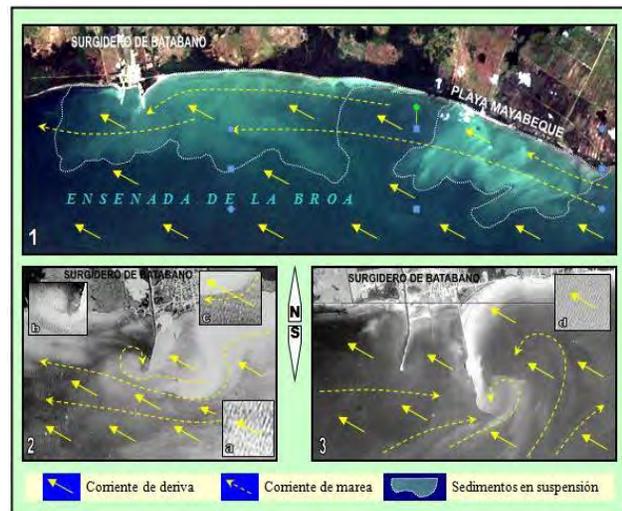


Figura 5.4. Principales aspectos de las corrientes marinas en el Golfo de Batabanó (Tomado y adaptado de Lorenzo, y col., 2005).

5.2.2. Influencia del aumento del nivel medio del mar.

5.2.2.1. Tendencia del nivel medio del mar.

El aumento del nivel medio del mar tendrá como consecuencia la inundación y desplazamiento de humedales y costas bajas; erosión de la línea costera; incremento de las inundaciones de tormenta; aumento de la salinidad en los estuarios y amenaza a los acuíferos de agua dulce; alteración de la amplitud de la marea en ríos y bahías; alteración de los patrones de sedimentación y decrecimiento de la cantidad de luz que reciben los fondos marinos. Otros autores confieren una mayor importancia al retroceso de la línea costera, inundaciones temporales e intrusión salina (Titus, 1987), aunque la consecuencia más obvia será la gradual y permanente inundación de las zonas más bajas.

En el Golfo de Batabanó no existen mediciones instrumentales del nivel del mar de varias décadas de duración, que permitan hacer estimaciones de su tendencia. Sin embargo, la semejanza entre la variabilidad interanual del nivel del mar de las series de la Estación Siboney, en la ciudad de La Habana, que funciona desde 1966 hasta la fecha y la Estación La Coloma, ubicada en el Golfo, la cual funcionó entre 1991 y el 2001, indica que ambas localidades se asemejan por la influencia que ejercen los procesos de escala estacional y de más largo período (Figura 5.5), sobre las variaciones del nivel del mar, como el ENOS y el Cambio Climático (Hernández y Díaz, 2003). La tendencia lineal del nivel medio del mar a escala local puede considerarse de 2.14 mm/año (Hernández, 2010).

Diversos autores plantean la posibilidad de un ascenso acelerado del nivel medio del mar. En este sentido, las estimaciones no lineales del ascenso del nivel medio del mar, a partir de mediciones directas son comparables con los resultados de la modelación (Macroproyecto 9).

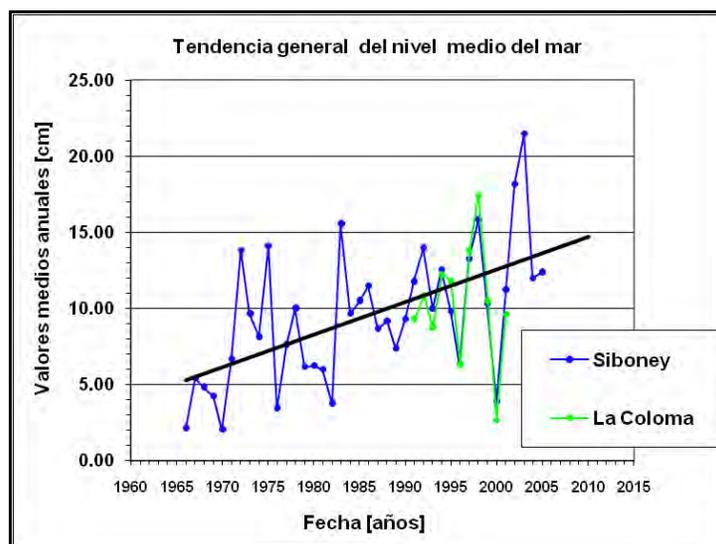


Figura 5.5. Tendencia del nivel medio del mar en la región occidental de Cuba.

5.2.2.2. Ascenso del nivel medio del mar e inundación de zonas bajas.

Una gran parte del perímetro costero del Golfo está conformado por costas bajas y cenagosas que en algunos sectores están sometidas a un proceso de hundimiento, al igual que toda la parte occidental de la Península de Zapata y el sector costero que se extiende hasta Surgidero de Batabanó, con valores de descenso que alcanzan los -4.0 mm/año (Hernández M., 2005a y b; Hernández A. y col., 2006). De acuerdo con las estimaciones más pesimistas del IPCC, un aumento del nivel medio del mar de alrededor de un metro para finales del siglo XXI, inundaría gradualmente y de forma permanente las tierras más bajas, proceso que ocurrirá más rápido en zonas como las mencionadas anteriormente, de elevada tasa de hundimiento.

Tomando en consideración lo expuesto en el epígrafe anterior y de acuerdo a la inundación costera permanente estimada para un ascenso del nivel medio del mar de 0,85 m en el año 2100, que considera solo los efectos eustáticos y estéricos del ascenso del nivel mar (Macroproyecto, 2009), al sur de Güira de Melena, la línea costera debe experimentar un retroceso máximo de siete kilómetros aproximadamente, desde Punta de Cayamas hacia el interior de la isla. Una amplia faja costera y algunos asentamientos humanos quedarían inundados (Figura 5.6).

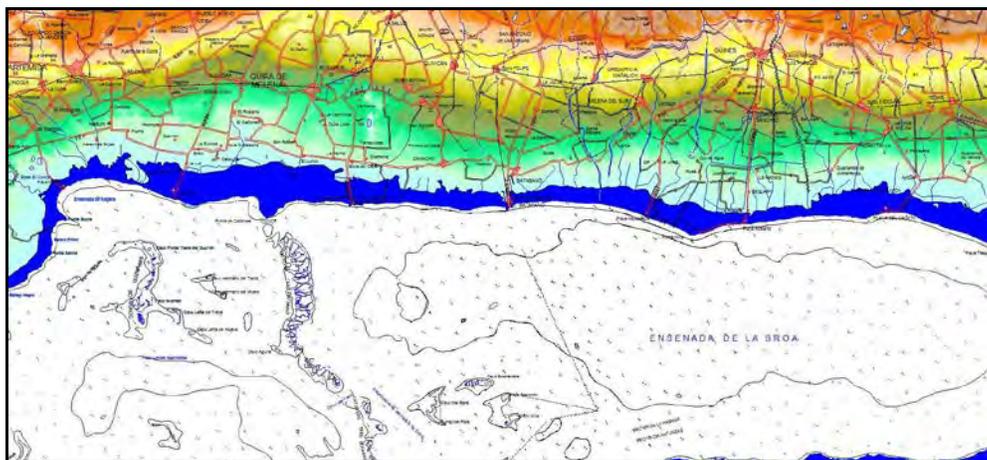


Figura 5.6. Inundación permanente del sector costero estudiado, Playa Majana – Playa Mayabeque, para un ascenso del nivel medio del mar de 0,85 m en el 2100 (Resultado del Macroproyecto, 2009).

5.2.2.3. Influencia ascenso nivel medio del mar en la circulación.

El ascenso del nivel medio del mar puede producir una tendencia al aumento de la velocidad de las corrientes marinas, con consecuencias importantes para los organismos marinos dependientes de la circulación general de las aguas; así como para las tasas de sedimentación y de intercambio de materia y energía tierra-plataforma-océano (Hernández M., 2005a). El resultado de la modelación matemática más reciente, que considera solo un aumento de 0,85 m del nivel medio del mar, asegura un incremento de más de 0,3 m/s de la velocidad de las corrientes marinas en las aguas adyacentes al sector de costa estudiado para el 2100 (Figura 5.7).

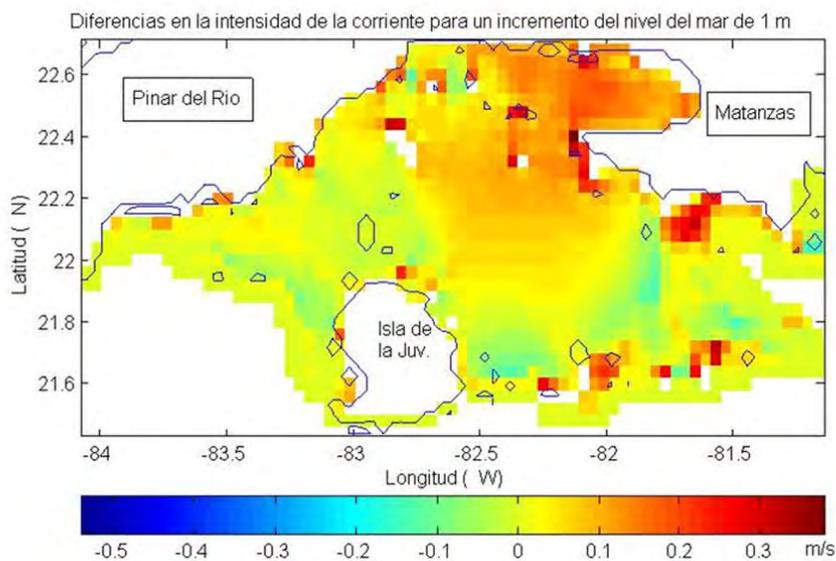


Figura 5.7. Campo de las corrientes marinas en el año 2100 (Tomado y adaptado de Arriaza, y col., 2004).

5.2.2.4. Influencia sobre la erosión y la transformación de la costa.

De acuerdo a Tristá (1999), las playas interiores que se hallan en el sector de costa estudiado, y en las cercanías al mismo, reúnen las siguientes características:

- Limo Arenoso Aleurítico, mal Clasificado, carbonatado con abundante contenido de moluscos y foraminíferos, biogénico: este tipo de sedimento se encuentra en la costa suroccidental en Playa Majana; conformando una costa aplanada acumulativa de muy baja pendiente, según Ionin *et al.* (1977). Los sedimentos están formados por un gran número de biodetritos, con textura limo arenosa en las fracciones más finas, mientras la fracción arenosa está representada por un material detrítico de moluscos bivalvos de paredes muy finas, encontrándose también algunas especies de foraminíferos bentónicos. Se observa además en las partículas del sedimento, una pigmentación negruzca en muchas de las conchas, además de un elevado grado de fragmentación y angulosidad, reflejo de un ambiente litodinámico pasivo.
- Limo Aleurítico, bien Clasificado, carbonatado, con abundante contenido de foraminíferos, biogénico: este tipo de sedimento se ubica en las playas Guanímar y Cajío y yacen, según Ionin *et al.* (1977), en una costa aplanada acumulativa y de manglar, con pendientes muy suaves. Los sedimentos están formados por limos muy finos, aleuríticos con buena clasificación, su coloración varía desde gris oscuro hasta carmelita claro. La presencia del sistema de cayos Las Cayamas próximo a las playas Guanímar y Cajío, con una densa población de manglar y bajas profundidades de la pendiente submarina que rodean a los mismos, favorecen la acumulación de sedimentos muy finos con un alto contenido de materia orgánica y una elevada uniformidad en su textura, lo cual responde a condiciones hidrodinámicas de baja energía.

- Arena Gruesa, bien Clasificada, carbonatada con abundante contenido de moluscos, biogénica; este grupo se encuentra en las playas Surgidero, Mayabeque, Rosario, La Pepilla y Caimito. Las que conforman una costa baja de origen denudativo y en partes aluvial, según Ionin, y col. (1977). Los sedimentos están formados por arena gruesa biodetrítica, de color amarillo carmelitoso con abundante contenido de moluscos principalmente bivalvos (pelecípodos) y en menor cantidad gasterópodos. Los fragmentos de moluscos presentan paredes finas y bordes angulosos, con una coloración negruzca que responde a estadios de elevada maduración sedimentaria.

Lo anteriormente expuesto podría ser el resultado de un proceso de cambio incipiente en el que se mezclan sedimentos jóvenes con elementos más antiguos redepositados en la parte emergida del litoral. De acuerdo a las características de los sedimentos de las playas interiores, puede sintetizarse que los mismos presentan una heterogeneidad textural determinada por más de una fuente de sedimentación y además un bajo nivel de erosión de las partículas, lo cual es un indicador de que el régimen hidrodinámico imperante es de baja energía (Tristá, 1999).

De forma simultánea con el incremento paulatino del nivel medio del mar, ocurrirá una invasión por el mar de las áreas emergidas más bajas de la zona costera y un incremento de la profundidad de las áreas sumergidas de la misma, aumentando la distancia entre la superficie y el fondo del mar. Esta inundación también será notable en las partes más bajas de las cuencas hidrográficas. De esta forma variará la configuración geográfica del litoral y de la desembocadura de los ríos de la zona costera. Al mismo tiempo ocurrirá también gradualmente, un ascenso del plano de las fluctuaciones diurnas y semidiurnas de la marea y del plano de las variaciones aperiódicas del nivel del mar.

La erosión será el papel de principal fenómeno generador en el retroceso de la línea costera, ya que al aumentar el plano de las fluctuaciones de la marea y de otras variaciones aperiódicas del nivel del mar, en condiciones de régimen y durante eventos atmosféricos severos, se alterarán los procesos de la dinámica costera, que mantienen una estacionalidad que garantiza la existencia del equilibrio dinámico en la costa. Considerando lo anterior y asumiendo que no se produzcan cambios a largo plazo en los patrones de los fenómenos y parámetros que generan el oleaje, con solo un incremento paulatino del nivel medio del mar, se intensificará el escape de sedimentos mar afuera. La inundación de las zonas bajas y la erosión, al provocar el retroceso de la línea de costera, ocasionarán un distanciamiento entre ésta y los bancos de arena, barreras arrecifales y cadenas de cayos, lo cual, unido a un paulatino aumento de la profundidad, modificarán los patrones de la dinámica en las aguas someras cercanas al litoral. Esto posee una particular importancia para esta zona, donde la plataforma está constituida por lagunas y “*mares interiores*” delimitados por cadenas de cayos y arrecifes en su lado oceánico.

5.3. Conclusiones.

La costa debe experimentar un retroceso máximo de alrededor de siete kilómetros.

Se estima que las corrientes marinas podrían resultar un máximo de más de 0,3 m/s más rápidas que en la actualidad en la zona en que se encuentra el sector de costa estudiado.

Ocurrirá un aumento de la profundidad de la plataforma, y como consecuencia, del sector de costa estudiado, y de su intercambio con las aguas oceánicas adyacentes.

Sería afectado el proceso de erosión – acumulación a lo largo del sector costero estudiado y podría cambiar la distribución espacial de los sedimentos.

5.4. Bibliografía.

1. Areces A., A. García Cagide, G. Hidalgo, J. C. Martínez, R. del Valle, M. Abreu, S. Castellanos y C. Martínez (2007); Hacia el uso sostenible del Golfo de Batabanó: Análisis de sistemas y modelación de escenarios. Informe Final de Proyecto. Programa Ramal de Protección del medio Ambiente y Desarrollo Sostenible.
2. Arriaza L., J. Simanca, L. Rodas, S.L. Lorenzo, M. Hernández, E. O. Linares, D. Milian, P. Romero (2008): Corrientes Marinas Estimadas en la plataforma suroriental cubana. Serie Oceanológica. No. 4. ISSN: 2072-800X. <http://oceanologia.redciencia.cu>.
3. Arriaza, L., M. Hernández, L. Rodas, J. Simanca 2004: Simulación de la circulación en el Golfo de Batabanó, Rev. Invest. Pesq. No.1. Ed. Esp. 2004. ISSN- CUB 0138-8456. Blázquez L.(1981): Algunos aspectos del régimen de la temperatura en la plataforma Noroccidental de Cuba y la región oceánica adyacente. Inf. Cient. Téc. Acad. Cienc. Cuba, 171: 1 -28.
5. Blazquez, L. y E. Romeu (1982): Contribución al estudio de la circulación general en el Golfo de Batabanó, Zona B. Rep. Invest., Inst. Oceanología, 1:1-33.
6. Blázquez L. J.P Rodríguez-Portal, I. Rosabal- Campos y R. Calderón-Hebra. (1988): Mediciones de corriente en el Golfo de Batabanó. Reporte de Investigación del Instituto de Oceanología No 14.
7. Chang J.L., A. Oviedo, F. Borrel, M. Toledo, F. Piedra, L. E. Díaz, S. Matousek, H. A. de Anta, E. Kessel, J. J. Moya, B. Molina, M. Ribot, M. Pardo, L. L. Peñalver. F. Prieto (2003): Análisis de los movimientos recientes de la corteza terrestre en zonas costeras de Cuba. Informe Científico. IGP. Archivo Científico del Instituto de Oceanología. 45 pp.
8. Claro, R.; G. Bustamante; J.P. y col. (1994): Ecología de los peces marinos de Cuba. 525p. Ed. México.
9. Emilsson Y. y J.J. Tápanes (1971): Contribución a la hidrología de la plataforma Sur de Cuba. Ser. Oceanol. 9:1-22.
10. Guerman V.J. y S.P. Levikov (1988): Análisis probabilístico y modelación de las variaciones del nivel del mar. Edit. Hidrometeoizdat. Moscú. 229 pp.
11. Guerra R.F., L. Rivas, L. I. Peña, M. Sosa, C. M. Peón, M. E. Chávez, G. Legrá (2005): Geología de la Plataforma Marina de Cuba. Versión Original Recuperada. Informe Final de Proyecto. Archivo Científico del Instituto de Oceanología. 354 pp + anexos.
12. Hernández M., A. Hernández-Zanuy, L. Arriaza, J. Simanca, S. L. Lorenzo, S. Cerdeira, L. Rodas, G. Díaz, I. Hernández, O. Marzo, J. L. Chang, A. Oviedo, H. M. Alfonso (2003): Evaluación de la tasa de incremento del nivel medio del mar y su influencia sobre algunas características oceanográficas y de las áreas de

manglares de la plataforma insular cubana. Informe Final de Proyecto. Archivo Científico del Instituto de Oceanología. 160 pp.

13. Hernández-Zanuy A., E. Tristá, M. Guerra, s. Lorenzo, M. Martínez, M. Hernández, P. M. Alcolado, L. Peña, M. Esquivel, R. Tomás-Capote, M. Sosa (2007): Diagnóstico para la rehabilitación ecológica del tramo de costa comprendido entre Surgidero de Batabanó y Mayabeque, costa Sur de la Habana. Informe Final de Proyecto. Archivo Científico Instituto de Oceanología. 2007:150 pp.
14. Hernández, M. Estructura espectral de la componente aperiódica del nivel del mar de origen meteorológico en la escala sinóptica de frecuencias, Revista Cubana de Meteorología, (aceptada para publicar).
15. Hernández, 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. <http://oceanologia.redciencia.cu>.
16. Hernández M., O. Marzo y A. Acanda (2010): Tendencia lineal del nivel medio del mar en algunas localidades del archipiélago cubano. Serie Oceanológica. No. 7, ISSN: 2072-800X. <http://oceanologia.redciencia.cu>.
17. Hernández, M. y G. Díaz (2003): Some considerations on synoptic sea level variability in the Gulf of Batabano. Serie Oceanológica. No. 1. ISSN: 2072-800X. <http://oceanologia.redciencia.cu>
18. Hernández, M. y G. Díaz (2001): Influences of ENSO on seasonal and inter – annual sea level variability in the Cuban Archipelago. Serie Oceanológica. No. 0. ISSN: 2072-800X. <http://oceanologia.redciencia.cu>
19. Hernández, M. y G. Díaz (2001): Algunos aspectos de la variabilidad mensual del nivel del mar en. La Habana, Cuba. Afro América GLOSS News. Patrocinada por la UNESCO y el COI. <http://www.mares.IDO.usp.br/aagn/ind.html>.
20. Hernández M., P. García, M. Izquierdo (2000): Preliminary considerations on the probable impact of sea level rise and water temperature in some localities of the coastal zone of the cuban archipelago. 183 – 202. En Climate Change Impacts and Responses. Proceedings of the Conference on National Assessment Results of Climate Change. San José. Costa Rica. Marzo 25 – 28, 1998. Edited by Nobuo Mimura. Printed by the Japan Environment Agency and Overseas Environmental Cooperation Center. 751 pp.
21. Ionin, A.S., y A. Pavlidis, y O. Avello-Suárez (1977): Geología de la plataforma de Cuba. [En Ruso]. Nauka. Moscú. 215 pp.
22. Juanes, J. L., (1997): “La erosión en las playas de Cuba. Alternativas para su control”. Tesis Doctoral . Archivo Científico del Instituto de Oceanología.
23. Lorenzo S. L., J. Simanca; L. Rodas; L. Arriaza; M. Hernández y C. Martínez (2007): Carta de circulación general de las aguas del Golfo de Batabanó, Cuba. Proceedings de Informática 2007. ISBN: 978-959-285-002-5.
24. Lorenzo S. L., L. Rodas, L. Arriaza, M. Hernández, A. Morales y J. Viamonte (2007): Espaciocartas sobre la circulación general de las aguas en las

plataformas Noroccidental, Suroccidental y Suroriental de Cuba. Proceedings de Informática 2007. ISBN: 978-959-285-002-5.

25. Mitrani I., I. Salas García, M. Ballester, Y. Juantorena (2000a): Coastal flooding by wind setup at the shore zone on Batabano Gulf under the south wind events influence, with the present and possible middle sea level increase scenarios- Boletín Sometcuba, Volumen 6, Número 1, Enero del 2000.
26. Moreno, A., R. Pérez, G. O mar, P. Miguel, I. Salas, I. Mitrani, R. Casals, A. Pérez, C. Rodríguez, J. Peguero, J. Guerra, M. Hernández, J. Simanca, J. Batista y M. Sánchez (1997): Desarrollo de las Técnicas de Predicción de las Inundaciones Costeras. Prevención y Reducción de su Acción Destructiva. Informe final de proyecto científico. PNUD. 172 pp. Mapas, figuras y tablas en anexos, 45 pp. Archivo Científico de los institutos de Meteorología y Oceanología.
27. Nuevo Atlas Nacional de Cuba (1989): Editado por el Instituto de Geografía de la Academia de Ciencias de Cuba y el Instituto de Geodesia y Cartografía. © Instituto de Geografía de la Academia de Ciencias de Cuba. NIPO 152-88-015-16. Depósito legal: N-25.925-1989. ISBN 84-7819-007-4.
28. Nuñez Jiménez, A. 1984. Cuba: La Naturaleza y el Hombre. Bojeo. La Habana, Ed. Letras Cubanas, 702 p.
29. Lluís Riera, M. 1983. Régimen hidrológico de la plataforma insular de Cuba. Archivo Científico, Instituto de Oceanología, I-432-83, 31 p.
30. Pavlidis Y., Ionin A. S., Ignatov E., Lluís M., and Avello O. 1973: Condiciones de formación de la oolita en las regiones someras de las aguas tropicales. 18 Oceanologic Series.
31. Rodas, L. y M. Hernández (1994): Análisis del comportamiento de los niveles medios y extremos del mar en la costa sur de Cuba. Ciencias de la Tierra y del Espacio, No. pp. 23 – 24.
32. Rodríguez, P.J. y Rodríguez, J.E. 1983. Las mareas en las costas cubanas. Rep. Invest. Inst. Oceanología, Cuba, 6, 1-37.
33. Titus J.G. (1987): Greenhouse Effect , Sea Level Rise and Coastal Wetlands. EPA. 152 pp.
34. Toledo M., H. M. Alfonso, F. Piedra, L. Díaz, B. Molina, M. Ribot, S. Matousek, H. Carrasco, M. Hernández, I. Hernández, J. L. Chang (2005): Características geológico – geomorfológicas de las costas cubanas. Incidencia en la vulnerabilidad de estas y su dinámica litoral. Proceedings de Geociencias 2005. Sociedad Cubana de Geología. 5 al 8 de abril del 2005. Palacio de las Convenciones. La Habana. Cuba. . ISBN 959-7117-03-7.
35. Tristán E. (1999): Evaluación de los procesos de erosión en las playas interiores de Cuba. Tesis Doctoral. 104 pp + 8 pp en anexos. Archivo Científico del Instituto de Oceanología.