

**Análisis de la calidad del agua de las playas El  
Tenis, Faro Maya, Descanso, Los Pinos y Buena  
Ventura de la provincia de Matanzas (Cuba)**



Maria Ginesta Arenas Moya

Judit Oliveras Simon

Girona, Juny 2012

**Tutor técnico:** Joaquim Comas Matas

**Tutor Docente:** Emili Mató Palos



“Es más importante examinar el agua frecuentemente  
por una simple prueba, que ocasionalmente  
por una prueba o una serie de pruebas más complicadas”

Anon, 1969



## **AGRADECIMIENTOS**

A Giovanni Pardini por ayudarnos a dar los primeros pasos y ejercer de nexo entre ambas universidades.

A Juana Zoila Junco por abrirnos las puertas de la universidad Camilo Cienfuegos de Matanzas y a la vez de ejercer de tutora del proyecto.

A Mariela Almeida y Yohandra de Armas por guiarnos en todas y cada una de las partes del proyecto. Además de permitirnos formar parte temporalmente de los estudios de monitoreo que se llevan a cabo en la provincia de Matanzas.

A Roberto, Josefina y Damaris por darnos parte de su tiempo para mejorar y completar nuestro trabajo.

A Joaquim Comas y Emili Mató por ser nuestros tutores de la universidad de Girona.

A Idannis, Mario y Cristian Mario, por abrirnos las puertas de su casa, por dejarnos conocer todo su entorno y lo más importante, por haber sido nuestra familia durante estos meses, estando a nuestro lado en todo momento y apoyándonos siempre.

A Ginesta, Sisqueta, Carme, Miliu, Marc, Pep y Lluís por el soporte incondicional a pesar de la distancia, por querernos y ayudarnos a hacer realidad nuestros sueños.

A nuestros amigos y compañeros que han hecho que los años en la universidad sean una etapa repleta de momentos inolvidables.

A todos vosotros:

**GRACIAS!**

## INDICE

Indice de figuras .....	IV
Indice de tablas .....	V
Indice de gráficos .....	VII
PREÁMBULO .....	IX
PALABRAS CLAVE.....	X
1. OBJETIVOS.....	1
2. JUSTIFICACIÓN.....	2
3. INTRODUCCIÓN.....	3
3.1. Situación geográfica.....	6
3.1.1. Cuba .....	6
3.1.2. Provincia de Matanzas .....	7
3.1.3. Bahía de Matanzas .....	8
3.1.4. Ciénaga de Zapata .....	11
3.1.4.1. Bahía de Cochinos.....	12
3.2. Situación socioeconómica.....	16
4. MARCO TEÓRICO Y ESTUDIOS PREVIOS .....	18
4.1. Concepto de zonas costeras.....	18
4.2. Zonas costeras de Cuba. Características.....	18
4.3. Las playas en el contexto de las zonas costeras cubanas. ....	20
4.4. Fundamentos teóricos del monitoreo ambiental.....	21
4.4.1. Concepto de monitoreo ambiental.....	21
4.4.2. Monitoreo ambiental en playas .....	23
4.4.3. Monitoreo ambiental en Cuba, experiencias en la provincia de Matanzas .....	24
4.5. Contaminación marina .....	26
4.6. Indicadores de calidad ambiental .....	28
4.6.1. Indicadores estéticos .....	28
4.6.2. Parámetros físicos-químicos.....	30
4.6.3. Indicadores microbiológicos .....	33
5. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	37
5.1. Muestreo y métodos de análisis .....	37
5.1.1. Ubicación de los puntos de muestreo.....	37

5.1.2. Toma de muestras, preservación y almacenamiento .....	37
5.2. Identificación de los indicadores a monitorear.....	38
5.3. Identificación de las técnicas de determinación empleadas .....	38
5.3.1. Indicadores estéticos .....	38
5.3.2. Parámetros físicos-químicos.....	39
5.3.3. Indicadores microbiológicos .....	44
5.4. Análisis estadísticos de resultados y procesamiento de datos .....	45
<b>6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>47</b>
6.1. Criterios de evaluación de la calidad sanitaria .....	47
6.2. Ubicación de los puntos de muestreo .....	48
6.2. Resultados del monitoreo de octubre 2011 .....	49
6.2.1. Indicadores estéticos .....	49
6.2.2. Parámetros físicos-químicos.....	50
6.2.3. Indicadores microbiológicos .....	52
6.3. Análisis de la evolución de la calidad sanitaria de las playas en el periodo 2006-2011 ..	52
6.3.1. Resultados indicadores estéticos .....	52
6.3.2. Resultados de los parámetros físicos-químicos.....	57
6.3.2.1. Temperatura .....	57
6.3.2.2. Salinidad.....	59
6.3.2.3. pH.....	63
6.3.2.4. Oxígeno disuelto .....	65
6.3.2.5. Demanda bioquímica de oxígeno .....	67
6.3.2.6. Demanda química de oxígeno .....	70
6.3.2.7. Grado de biodegradabilidad .....	72
6.3.2.8. Fósforo inorgánico .....	74
6.3.2.9. Fósforo total .....	76
6.3.2.10. Nitrógeno de nitrito .....	78
6.3.2.11. Nitrógeno de nitrato .....	80
6.3.2.12. Nitrógeno de amonio.....	82
6.3.3. Resultados microbiológicos de las playas de la bahía de Matanzas.....	84
6.3.3.1. Resultados según playa .....	84
6.3.3.2. Resultados según época.....	87
6.4. Relaciones estadísticas entre parámetros e indicadores .....	89
6.5. Recomendaciones.....	91



7. CONCLUSIONES.....	93
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	95
9. ANEXOS .....	102
9.1. Resultados monitoreo 2006-2011 parámetros físicos-químicos.....	102
9.2. Resultados monitoreo 2006-2011 indicadores microbiológicos .....	107
9.3. Resultados estadísticos para las comparaciones de las épocas de lluvia y seca .....	108



## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Mapa del archipiélago de Cuba. Fuente: google maps (2012) .....	6
<b>Figura 2:</b> Mapa de la Provincia de Matanzas. Cuadro 1 bahía de Matanzas y cuadro numero 2 bahía de Cochinos. Fuente: Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA).....	7
<b>Figura 3:</b> Mapa de la bahía de Matanzas. Fuente: google maps .....	9
<b>Figura 4:</b> Playa El Tennis. Fuente: AQUA (2011).....	9
<b>Figura 5:</b> Playa Faro Maya. Fuente: AQUA (2011).....	10
<b>Figura 6:</b> Mapa bahía de Cochinos. Fuente: CITMA (2011).....	13
<b>Figura 7:</b> Playa Los Pinos: Fuente: AQUA (2011) .....	14
<b>Figura 8:</b> Playa Buena Ventura. Fuente: AQUA (2011) .....	15
<b>Figura 9:</b> Playa Descanso. Fuente: AQUA (2011).....	16
<b>Figura 10:</b> Representación gráfica de las partes del perfil de playa. Fuente: Protocolo de erosión de playas. ....	20
<b>Figura 11:</b> Ciclo del programa de monitoreo. Fuente: Almeida (2011).....	23
<b>Figura 12:</b> Interacción entre los diferentes factores. Fuente: Almeida (2011).....	24
<b>Figura 13:</b> Conductímetro. Fuente: AQUA (2011) .....	39
<b>Figura 14:</b> pH-metro. Fuente: AQUA (2011) .....	40
<b>Figura 15:</b> Espectrofotómetro. Fuente: AQUA (2011) .....	43
<b>Figura 16:</b> Playa Buena Ventura. Fuente: AQUA (2011) .....	55
<b>Figura 17:</b> Playa Descanso. Fuente: AQUA (2011).....	56
<b>Figura 18:</b> Playa Faro Maya. Fuente: CITMA (2011) .....	57



## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Coordenadas de los puntos de muestreo. Fuente: AQUA (2011) .....	48
<b>Tabla 2:</b> Resultados de los indicadores estéticos del monitoreo de octubre 2011. Fuente: AQUA (2011).....	49
<b>Tabla 3:</b> Resultados físicos-químicos de octubre 2011. Fuente: AQUA (2011).....	50
<b>Tabla 4:</b> Resultados microbiológicos de octubre 2011. Fuente: AQUA (2011) .....	52
<b>Tabla 5:</b> Resultados de la evolución y comportamiento de los indicadores estéticos durante la época de seca. Fuente: AQUA (2011) .....	53
<b>Tabla 6:</b> Resultados de la evolución y comportamiento de los indicadores estéticos durante la época de lluvia. Fuente: AQUA (2011).....	54
<b>Tabla 7:</b> Análisis estadístico de la temperatura. Fuente: AQUA (2011).....	59
<b>Tabla 8:</b> Análisis estadístico de la salinidad. Fuente: AQUA (2011).....	62
<b>Tabla 9:</b> Análisis estadístico del Ph. Fuente: AQUA (2011).....	64
<b>Tabla 10:</b> Análisis estadístico del OD. Fuente: AQUA (2011) .....	67
<b>Tabla 11:</b> Análisis estadístico de la DBO. Fuente: AQUA (2011) .....	69
<b>Tabla 12:</b> Análisis estadístico de la DQO. Fuente: AQUA (2011) .....	72
<b>Tabla 13:</b> Análisis estadístico del GB. Fuente: AQUA (2011) .....	73
<b>Tabla 14:</b> Análisis estadístico del $PO_4^{3-}$ . Fuente: AQUA (2011).....	76
<b>Tabla 15:</b> Análisis estadístico del $P_T$ . Fuente: AQUA (2011).....	78
<b>Tabla 16:</b> Análisis estadístico de los $NO_2^-$ . Fuente: AQUA (2011) .....	79
<b>Tabla 17:</b> Análisis estadístico de los $NO_3^-$ . Fuente: AQUA (2011) .....	82
<b>Tabla 18:</b> Análisis estadístico $NH_4^+$ . Fuente: AQUA (2011).....	84
<b>Tabla 19:</b> Valores medios anuales de los EF. Fuente: AQUA (2011).....	86
<b>Tabla 20:</b> Análisis estadístico de los CT. Fuente: AQUA (2011) .....	87
<b>Tabla 21:</b> Correlaciones entre parámetros e indicadores. Fuente: AQUA (2011) .....	90
<b>Tabla 22:</b> Resultados parámetros físicos-químicos para la playa El Tenis. Fuente: CITMA (2011).....	103
<b>Tabla 23:</b> Resultados físicos-químicos par la playa Buena Ventura. Fuente: CITMA (2011) .....	104
<b>Tabla 24:</b> Resultados físicos-químicos para la playa Descanso. Fuente: CITMA (2011) .....	105



**Tabla 25:** Resultados parámetros físicos-químicos para la playa Los Pinos. Fuente: CITMA (2011)..... 106

**Tabla 26:** Resultados microbiológicos para las playas El Tenis y Faro Maya. Fuente: CITMA (2011)..... 107

**Tabla 27:** Resultados estadísticos por épocas y playas. Fuente: AQUA (2011) ..... 108

**Tabla 28:** Resultados estadísticos por épocas y playas. Fuente: AQUA (2011) ..... 108

**Tabla 29:** Resultados estadísticos por épocas y playas. Fuente: AQUA (2011) ..... 108

**Tabla 30:** Resultados estadísticos por épocas y playas. Fuente: AQUA (2011) ..... 108

## INDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1:</b> Evolución de la temperatura entre los años 2006-2011. Fuente: AQUA (2011) .....	58
<b>Gráfico 2:</b> Temperatura media de los años 2006-2011. Fuente: AQUA (2011) .....	58
<b>Gráfico 3:</b> Evolución de la salinidad entre los años 2006-2011. Fuente: AQUA (2011) .....	60
<b>Gráfico 4:</b> Salinidad media de los años 2006-2011. Fuente: AQUA (2011).....	60
<b>Gráfico 5:</b> Variación de la salinidad por época de los años 2006-2011. Fuente: AQUA (2011) .....	62
<b>Gráfico 6:</b> Evolución del pH entre los años 2006-2011. Fuente: AQUA (2011).....	63
<b>Gráfico 7:</b> pH medio de los años 2006-2011. Fuente: AQUA (2011).....	63
<b>Gráfico 8:</b> Variación del pH por época de los años 2006-2011. Fuente: AQUA (2011) .....	64
<b>Gráfico 9:</b> Evolución de la saturación de oxígeno entre los años 2006-2011. Fuente: AQUA (2011).....	65
<b>Gráfico 10:</b> Saturación de oxígeno media de los años 2006-2011. Fuente: AQUA (2011) .....	66
<b>Gráfico 11:</b> Evolución de la DBO entre los años 2006-2011. Fuente: AQUA (2011)..	67
<b>Gráfico 12:</b> DBO media de los años 2006-2011. Fuente: AQUA (2011) .....	68
<b>Gráfico 13:</b> Variación de la DBO por época de los años 2006-2011. Fuente: AQUA (2011) .....	69
<b>Gráfico 14:</b> Evolución de la DQO entre los años 2006-2011. Fuente: AQUA (2011) .	70
<b>Gráfico 15:</b> DQO media de los años 2006-2011. Fuente: AQUA (2011).....	71
<b>Gráfico 16:</b> Evolución del GB entre los años 2006-2011. Fuente: AQUA (2011) .....	72
<b>Gráfico 17:</b> GB medio de los años 2006-2011. Fuente: AQUA (2011).....	73
<b>Gráfico 18:</b> Evolución del $\text{PO}_4^{3-}$ entre los años 2006-2011. Fuente: AQUA (2011).....	74
<b>Gráfico 19:</b> $\text{PO}_4^{3-}$ medio de los años 2006-2011. Fuente: AQUA (2011).....	75
<b>Gráfico 20:</b> Evolución del $\text{P}_T$ entre los años 2006-2011. Fuente: AQUA (2011) .....	76
<b>Gráfico 21:</b> $\text{P}_T$ medio de los años 2006-2011. Fuente: AQUA (2011).....	77
<b>Gráfico 22:</b> $\text{NO}_2^-$ de la playa El Tennis .....	79
<b>Gráfico 23:</b> Evolución de $\text{NO}_3^-$ entre los años 2006-2011. Fuente: AQUA (2011).....	80

<b>Gráfico 24:</b> $\text{NO}_3^-$ medio de los años 2006-2011. Fuente: AQUA (2011) .....	81
<b>Gráfico 25:</b> Evolución de $\text{NH}_4^+$ entre los años 2006-2011. Fuente: AQUA (2011) .....	82
<b>Gráfico 26:</b> $\text{NH}_4^+$ medio de los años 2006-2011. Fuente: AQUA (2011).....	83
<b>Gráfico 27:</b> Evolución de los CT entre los años 2007-2011. Fuente: AQUA (2011) ...	85
<b>Gráfico 28:</b> Evolución CF entre los años 2007-2011. Fuente: AQUA (2011).....	85
<b>Gráfico 29:</b> CT, CF y EF medios de los años 2007-2011. Fuente: AQUA (2011) .....	88

## **PREÁMBULO**

El proyecto que se presenta a continuación es la parte final de una asignatura de la licenciatura de Ciencias Ambientales, cuyo objetivo es proporcionar a los futuros licenciados los conocimientos para el desarrollo de proyectos ambientales.

Este se enmarca dentro de los estudios que lleva a cabo el Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente de Cuba. Este organismo realiza un monitoreo ambiental integral de las playas evaluando aspectos estructuro-morfológicos y dinámicos, estado de la vegetación y calidad del agua. El proyecto “Análisis de la calidad de las aguas de las playas El Tennis, Faro Mayo, Descanso, Buena Ventura y Los Pinos de la provincia de Matanzas (Cuba)” se centra en el monitoreo ambiental del agua de las playas, que tiene como propósito fundamental valorar, observar y controlar el recurso agua para proteger, conservar y mejorar su calidad.

En este proyecto se pretende analizar puntual y evolutivamente la calidad sanitaria de las playas usando la Norma Cubana como límite establecido. Para determinar dicha calidad se tendrán en cuenta distintos indicadores físicos-químicos y microbiológicos así como aspectos estéticos.

## **PALABRAS CLAVE**

- Temperatura (T)
- Salinidad
- pH
- Oxígeno disuelto (OD)
- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)
- Demanda química de oxígeno (DQO)
- Grado de biodegradabilidad (GB)
- Fósforo inorgánico ( $\text{PO}_4^{3-}$ )
- Fósforo total ( $\text{P}_T$ )
- Nitrógeno de nitrito ( $\text{NO}_2^-$ )
- Nitrógeno de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ )
- Nitrógeno de amonio ( $\text{NH}_4^+$ )
- Coliformes totales (CT)
- Coliformes fecales (CF)
- Estreptococos fecales (EF)

## 1. OBJETIVOS

Objetivo General:

- Evaluar la calidad sanitaria de las playas El Tenis, Faro Maya, Los Pinos, Buena Ventura y Descanso de la provincia de Matanzas (Cuba).

Objetivos específicos:

- Evaluar la calidad sanitaria de las playas El Tenis, Faro Maya, Los Pinos, Buena Ventura y Descanso mediante la determinación de indicadores físicos- químicos y microbiológicos.
- Analizar la evolución de la calidad sanitaria de las playas en el periodo 2006-2011

## 2. JUSTIFICACIÓN

En Matanzas (Cuba), desde el 2006 se ha llevado a cabo un análisis de la calidad sanitaria de las playas. AQUA juntamente con la universidad Camilo Cienfuegos han decidido analizar conjuntamente todos los datos obtenidos a lo largo de estos años (2006-2011) con el fin de encontrar posibles tendencias de los parámetros analizados y ver la evolución de la calidad del agua en las distintas playas puesto que el estudio evolutivo no se ha realizado previamente.

La unión de todas las partes participantes permitirá un intercambio de conocimientos científicos y metodológicos.

### 3. INTRODUCCIÓN

La concentración de la población humana en la zona costera provoca el deterioro del medio ambiente, al requerir de mayores recursos de energía y materia, que sumado a la inapropiada gestión y manejo de los desechos, éstos ingresan al mar en cantidades mayores cambiando negativamente la salud del ecosistema; esta alteración se ha manifestado con la disminución de la calidad de agua (Cloern, 2001).

En los últimos 20 años, científicos, gestores y autoridades públicas, han reconocido que los ecosistemas costeros sufren diferentes problemas ambientales, que son consecuencia de una compleja cadena de eventos que varían de un sitio a otro, y que pueden en parte, ser atribuidos al enriquecimiento de los nutrientes, nitrógeno y fósforo, que provienen de las descargas de agua dulce. La escorrentía de las tierras agrícolas, las actividades de engorda de animales, áreas urbanas, el vertido de aguas residuales, la precipitación atmosférica de compuestos liberados durante la ignición de combustibles fósiles, son actividades que añaden nutrientes al agua dulce antes de alcanzar el medio marino (NRC, 2000).

El concepto de calidad del agua es complejo y difícil de precisar. Sin embargo, se puede valorar al identificar y medir sus cualidades, que se identifican con cuantificaciones químicas, físicas y biológicas, para poder calificarla. Del estudio de la calidad del agua se pueden inferir los contaminantes y procesos que la afectan, con el fin de implantar los valores máximos permisibles de contaminantes, cuyas concentraciones no pongan en estrés a la vida acuática y permita al ser humano aprovechar el agua para diferentes usos; los procesos son un conjunto de intercambios entre componentes, del mismo sistema acuático y entre sistemas, de transformaciones biogeoquímicas que cambian el hábitat.

La calidad del agua costera ha sufrido un impacto negativo por la falta de control de los contaminantes que llegan al litoral por diferentes vías; no sólo está siendo alterada por las actividades que se desarrollan en la zona costera, sino también por aquellas

realizadas en tierra, en áreas relativamente alejadas, porque a pesar de todo las costas son el receptor final de los desechos generados por el ser humano (NRC, 2000).

La contaminación es el proceso mediante el cual se alteran las condiciones naturales de un medio ambiente determinado. Existen dos tipos de contaminación: natural e inducida. La contaminación natural considera a todos los procesos en la naturaleza que llegan a provocar alteraciones a las condiciones de equilibrio de la misma. Por otra parte la contaminación inducida es provocada de manera directa o indirecta por las actividades del hombre, que generan compuestos que pueden provocar severas alteraciones en el medio ambiente (Rincón-Espinosa, 1996).

**La contaminación marina se define como la introducción de sustancias ajenas al medio ambiente marino provocando la alteración de la calidad del agua de mar,** dañando las actividades productivas como la pesca y acuicultura, reduciendo el valor recreativo del medio debido al aumento de riesgos a la salud humana (SARH, 1985).

Las principales fuentes de contaminación de las aguas costeras son las descargas de aguas residuales urbanas, agrícolas e industriales.

En Cuba se desarrollan una gran diversidad de ecosistemas marinos y costeros, en general de gran fragilidad con extraordinaria riqueza. Estos ecosistemas constituyen el hábitat de innumerables especies de plantas y animales terrestres y marinos, así como el soporte de varias actividades sociales y económicas por lo que se hace imprescindible el manejo de estos ecosistemas para un uso sostenible de sus recursos mediante la implementación del Manejo Integrado de Zonas Costeras y Cuencas Hidrográficas.

Cuba, teniendo en consideración la necesidad de revertir la situación del deterioro ambiental en las cuencas hidrográficas y zonas costeras, originada tanto por condiciones heredadas del pasado, como por el desarrollo de la economía y por un cierto grado de desconocimiento social, creó el Consejo Nacional de Cuencas Hidrográficas y el Grupo Nacional de Costas.

Posteriormente en la provincia de Matanzas queda constituida (1997) la Comisión Provincial de Cuencas Hidrográficas que incluye la adopción del Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas.

A escala nacional y local, se requiere de acciones más específicas en lo relativo al impacto de las actividades terrestres sobre las áreas costeras, especialmente en la integración del manejo de cuencas y el manejo costero en las políticas de mitigación y prevención. Como proceso integrador que une la zona costera con la cuenca surge el Manejo Integrado de Cuencas y Áreas Costeras (MICAC), constituyendo hoy uno de los enfoques más importantes, necesarios y novedosos al ampliar el concepto de Manejo Integrado de Zonas Costeras integrando las áreas costeras con las cuencas en áreas de ejecutar acciones hacia el desarrollo sustentable de las costas y cuencas.

En la actualidad **las redes de monitoreo constituyen el instrumento fundamental para determinar el estado de la calidad del agua, dispersión y concentración de sustancias químicas**. A través de un programa de monitoreo, se valora la calidad de las aguas y nos permite deducir si sus características cumplen con los parámetros de calidad que aparecen en las normas vigentes, y de esta manera se determina si están aptas para sus usos. Los parámetros de calidad se muestrean periódicamente, a través de una red de muestreo, cuyas estaciones están ubicadas de forma que sean representativas del lugar de estudio.

La Bahía de Matanzas, en la actualidad está siendo impactada, por varias actividades que inciden en su entorno, como la presión demográfica y las actividades tales como: industriales, pesqueras, portuarias, turísticas, etc. Los recursos naturales que muestran mayor impacto por las actividades industriales y el crecimiento urbano son: las pequeñas playas entrampadas en la misma, el litoral rocoso y las aguas costeras, debido a la contaminación causada por las descargas de residuos sólidos y líquidos.

Dentro de los mayores atractivos de la bahía de Cochinos se encuentran las comunidades de arrecifes que bordean todo el litoral Este de la misma, donde se realiza buceo contemplativo y snorkeling. A pesar de ser esta bahía una de las menos contaminadas del país, ya que no existen vertimientos albañales, ni domésticos de interés, no deja de tener por eso presiones que provocan afectaciones en los ecosistemas marinos. Anualmente se vierten en esta bahía millones de metros cúbicos de agua dulce rica en sedimentos provenientes de toda el área de la ciénaga, precisamente producto de la antropización (González, 2003).

### 3.1. Situación geográfica

#### 3.1.1. Cuba

La República de Cuba (Fig.1) es un país asentado en un archipiélago del mar de las Antillas, también conocido como mar Caribe. Su isla principal, conocida como Isla de Cuba, es la más grande de las Antillas Mayores y tiene origen orogénico. También forman parte del archipiélago la Isla de la Juventud y una multitud de cayos o pequeñas islas que rodean a las antes mencionadas, entre estos cayos destacan: Cayo Coco, Cayo Guillermo, Cayo Largo del Sur, Cayo Jutía, entre otros.

Al norte se encuentran Estados Unidos y Bahamas, al oeste México, al sur las Islas Caimán y Jamaica y al sudeste la isla La Española.

Cuba es una isla larga y estrecha (1200 km del Cabo San Antonio, extremo occidental, a la Punta de Maisí, extremo oriental); el ancho máximo es de 210 km y el mínimo de 32 km. Tiene un área de 110922 km<sup>2</sup>, y una población de 11241161 habitantes (según los datos de la Oficina Nacional de Estadística de la República de Cuba para el año 2010).



Figura 1: Mapa del archipiélago de Cuba. Fuente: google maps (2012)

La forma de la isla, orientada de Este a Oeste, no permite la existencia de ríos largos y caudalosos. Entre los más importantes se encuentran el Cauto, Toa, Sagua la Grande, Zaza y Caonao.

El clima se puede clasificar como subtropical moderado, con predominio de temperaturas cálidas. Se distinguen dos estaciones: la de lluvia (mayo a octubre) y la de seca (noviembre a abril).

### 3.1.2. Provincia de Matanzas

La provincia de Matanzas (11739 km<sup>2</sup>) tiene 692536 habitantes (según los datos de la Oficina Nacional de Estadística de la República de Cuba para el año 2010), limita al Oeste con la provincia de Mayabeque, al Este con la provincia de Villa Clara y Cienfuegos, al Norte con el estrecho de La Florida y al Sur con el Mar Caribe. El territorio tiene un relieve llano donde el punto más elevado corresponde al Pan de Matanzas (381 m). El suelo es mayoritariamente cárstico lo que ha permitido la formación de grandes reservas de agua subterránea, es por eso que Matanzas es la única provincia de la isla que no utiliza agua de embalses.

La provincia matancera (Fig.1) cuenta con 14 municipios, y presenta desproporciones en la distribución espacial de la población, particularmente densa en Matanzas, Cárdenas y Varadero, y mínima en las zonas Noreste, Este y Sur. La Ciénaga de Zapata, específicamente, es el municipio de mayor extensión y a la vez el menos poblado del país.



**Figura 2: Mapa de la Provincia de Matanzas. Cuadro 1 bahía de Matanzas y cuadro numero 2 bahía de Cochinos. Fuente: Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA)**

La provincia cuenta con privilegiados recursos naturales, entre ellos la Península de Hicacos, donde se encuentra la reconocida playa de Varadero y se fomenta el turismo internacional. En el Sur aparece la Ciénaga de Zapata y al Norte Cárdenas con su potencial petrolero. Matanzas es conocida en todo el país por la producción de caña de azúcar y cítricos, de los que tiene la mayor producción de la isla.

### **3.1.3. Bahía de Matanzas**

Se encuentra ubicada en la sección noroeste de la costa norte de la provincia de Matanzas, se localiza entre las coordenadas 23° 0,2' 53,28'' N; 81° 34' 18,49''W (extremo occidental), y 23° 0,5' 46,65''N; 81° 28' 15,68''W (extremo oriental).

Con aproximadamente 8 km de largo por casi 5 de ancho y una profundidad máxima de 712 m, puede ser clasificada como una **bahía abierta**, con su desembocadura más ancha que su interior. En ella desembocan los ríos Yumurí, San Juan, Canímar y Bueyvaca. Estructuralmente la bahía está formada por un graben típico que determina un extenso y profundo cañón submarino, que constituye una magnífica vía de escape de sedimentos transportados por los ríos y por el escurrimiento superficial.

En el interior de la bahía de Matanzas se ubican las playas El Judío, El Tenis, Allende, Buey Vaca y Mamey. En el exterior se localizan las playas Faro Maya y El Coral.

Actualmente constituye el enclave portuario más importante de Cuba para el tráfico de supertanqueros portadores de petróleo.

- **Descripción de las playas estudiadas de la bahía de Matanzas**

En la figura 3 se muestra la bahía de Matanzas y la ubicación de las playas, casos de estudio.



Figura 3: Mapa de la bahía de Matanzas. Fuente: google maps

En este estudio se escogieron dos de las siete playas que son muestreadas dentro del programa de monitoreo ambiental integral de las playas de la provincia de Matanzas, por su intensa explotación recreativa por parte de la población de la Ciudad de Matanzas, sobre todo durante la temporada veraniega.

#### Playa El Tennis:

Las **coordenadas geográficas** de los puntos extremos de la playa El Tennis (Fig.4) son 23°02'12"N (Latitud) y 81°33'32"W (Longitud) por el Oeste, 23°02'06"N (Latitud) y 81°33'26"W (Longitud) por el Este.



Figura 4: Playa El Tennis. Fuente: AQUA (2011)

**Longitud:** 246 m

**Configuración:** forma de concha

**Otras características:**

- Su configuración es a razón de la construcción del viaducto Habana-Varadero.

Playa Faro Maya:

Las **coordenadas geográficas** de los puntos extremos de playa Faro Maya (Fig.5) son 23°05'47,08"N (Latitud) y 81°28'24,21"W (Longitud) por el Oeste, 23°05'48,61"N (Latitud) y 81°21'11,35"W (Longitud) por el Este.



**Figura 5: Playa Faro Maya. Fuente: AQUA (2011)**

**Longitud:** superior a 1000 m

**Configuración:** lineal

**Otras características:**

- Tiene una cresta arrecifal a 50 m de la costa.
- Presencia de pasto marino.

### 3.1.4. Ciénaga de Zapata

La Ciénaga de Zapata con sus 6000 km<sup>2</sup> es el **mayor y mejor conservado humedal del Caribe insular**, por lo que fue declarada Reserva de la Biosfera por la UNESCO (2000) y Sitio RAMSAR (2001). Se encuentra ubicado al Sur de la provincia de Matanzas (22°24'26" N 81°41'26" W) con una longitud de 175 km de Este a Oeste, entre Punta Gorda y Jagua, un ancho máximo de 58 km de Norte a Sur, desde el Sur de Torriente hasta Cayo Miguel, y un ancho promedio de 16 km (González, 2003).

Esta región natural colecta todo el agua procedente del escurrimiento de la parte central de la provincia de Matanzas y parte de la provincia de Cienfuegos, constituyendo el mayor y más complejo sistema de drenaje del país (Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía, 1993).

La red de drenaje superficial de la cuenca está fragmentada por los procesos cársticos y de empantanamiento, así como por los procesos antrópicos de canalización y regulación del drenaje. En la llanura cárstica y Meridional de Colón, el desarrollo cárstico ha provocado que las corrientes superficiales se infiltren a la ciénaga a través del sistema de honores (Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía, 1993).

Hacia el Noroeste se origina la cuenca del río Hanábana, que vierte sus aguas hacia la Laguna del Tesoro y de este embalse pasa a la bahía de Cochinos mediante el Canal de Soplillar, conectado al mar por ponores naturales, constituyendo uno de los principales sistemas de drenaje de la cuenca.

Otra importante vía de drenaje superficial lo constituye la cuenca del río Hatiguanico, compuesta por el río Hatiguanico, Negro y Guareiras, la cual vierte directamente al mar a través de la Ensenada de la Broa. Esta cuenca se origina dentro de la propia ciénaga a partir de aportes subterráneos de manantiales que brotan a través de las ventanas hidrológicas y drenan grandes volúmenes de aguas dulces procedentes de la Llanura Cárstica Meridional y de Colón. Los procesos de canalización y drenaje tienen una menor cuantía en esta cuenca (Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía, 1993).

La circulación de aguas de la Llanura Cárstica Meridional y de Colón tiene además características freáticas en la parte baja de esta, las cuales continúan en profundidad

hasta el mar. Estas aguas se encuentran estratificadas, siendo las superiores del tipo bicarbonatada-cálcicas de baja mineralización y las inferiores del tipo clorurado-sódicas con alta mineralización, denotando además la influencia de la intrusión marina (Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía, 1993).

La alimentación de las aguas subterráneas de la zona oriental de la bahía es a partir de las precipitaciones y aportes subterráneos de los acuíferos de la llanura cárstica y de las zonas cenagosas de pantanos sobre turbas del Norte de la ciénaga. En la zona de los Hondones se realizaron estudios de batimetría y sondeos de conductividad que demuestran la existencia de espesores de agua dulce superiores a los 30-40 m (Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía, 1993).

#### **3.1.4.1. Bahía de Cochinos**

El sistema de bloques a ambos lados de la bahía determinan las diferencias entre las características de la costa oriental y occidental y las grandes profundidades de ésta. La bahía de Cochinos **se encuentra formando una “lengua” de agua oceánica** (en la entrada hay entre 490 y 760 m y en la parte central 400 m), cuyas costas son de origen cárstico, con poca turbulencia, sobretodo en la parte más interna de esta (Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía, 1993).

La costa Este es una terraza baja de diente de perro con camellones de tormenta. A los 100 m cercanos a la línea de costa el arrecife tiene una profundidad entre 1 y 15 m con áreas de cabezos y arenazos y a los 150 m se produce una abrupta caída a profundidades de más de 200 m con una pared arrecifal de incuestionable belleza.

El relieve submarino está constituido por un sistema de llanuras y terrazas marinas, que se originaron por débiles descensos de la superficie y cambios del nivel del mar. Estas terrazas se encuentran hoy disfrazadas con corales, esponjas y otros seres vivos que le imprimen una apariencia singular. La profundidad varía entre 0 y 4 m en la línea de la costa y es significativo destacar que el talud de la bahía, en algunos lugares de la costa oriental está muy cercano a la línea de marea (100-120 m).

Los territorios sumergidos presentan diferencias significativas en la distribución de la vegetación submarina la que condiciona los tipos de fondos, las variaciones de

temperatura y salinidad debido a los irregulares aportes de agua dulce, nutrientes y sedimentos.

En la parte oriental de la bahía se ubican las playas Caletón, Buena Ventura, playa Larga, Río, Descanso, Campismo, Cubanita y playa Máquina. En su parte más exterior se sitúan las playas Girón y Los Pinos.

- **Descripción de las playas estudiadas de la bahía de Cochinos**

En la figura 6 se muestra la ubicación de las playas casos de estudio en la bahía de Cochinos.



Figura 6: Mapa bahía de Cochinos. Fuente: CITMA (2011)

De las diez playas que se incluyen dentro del programa de monitoreo ambiental, se analizaron tres de ellas. En la figura 8 se muestra su ubicación geográfica en la bahía de Cochinos.

Playa Los Pinos:

Las **coordenadas geográficas** de los puntos extremos de playa Los Pinos (Fig.7) son 22°03'47" N (Latitud) y 81°01'49" (Longitud) por el Oeste, 22°03'50" N (Latitud) y 81°01'57" (Longitud) por el Este.



**Figura 7: Playa Los Pinos: Fuente: AQUA (2011)**

**Longitud:** 435 m

**Configuración:** abierta

**Otras características:**

- Barrera de arrecife coralino a 100 m de la costa.
- Presencia de parches de pasto marino.
- Poco antropizada.

Playa Buena Ventura:

Las **coordenadas geográficas** de los puntos extremos de playa Buena Ventura (Fig.8) son 22°16'50" N (Latitud) y 81°12'01" W (Longitud), por el Oeste, 22°16'35" N (Latitud) y 81°13'05" W (Longitud), por el Este.



**Figura 8: Playa Buena Ventura. Fuente: AQUA (2011)**

**Longitud:** 1087 m

**Configuración:** Costa acumulativa

**Otras características:**

- Tiene el poblado de Buena Ventura a pocos metros de la línea de costa.
- Recibe aguas del drenaje de la Ciénaga de Zapata.

Playa el Descanso:

Las **coordenadas geográficas** de los puntos extremos de la playa el Descanso (Fig.9) son 22°16'14" N (Latitud) y 81°10'40" W (Longitud), por el Oeste, 22°16'12" N (Latitud) y 81°10'36" W (Longitud), por el Este.



**Figura 9: Playa Descanso. Fuente: AQUA (2011)**

**Longitud:** 210 m

**Configuración:** forma de concha

**Otras características:**

- Antiguo cementerio en la parte oriental.
- Presencia de una duna bien consolidada.
- Poco antropizada.

### **3.2. Situación socioeconómica**

Des del triunfo de la revolución (1959) la forma de gobierno de Cuba ha sido parlamentaria (un estado típicamente socialista). El jefe de estado y gobierno fue durante unos 50 años Fidel Castro, actualmente este puesto lo ocupa su hermano, Raúl Castro.

Sobre el gobierno recae la responsabilidad de la economía puesto que la mayoría de la producción pertenece y es administrada por este. También existe un número reducido de personas que trabajan por su cuenta (“cuentapropistas”) o de forma independiente.

La economía del país está sustentada principalmente por los recursos naturales desde los metales (industria minera) hasta el paisaje natural (turismo).

Las principales industrias son: turismo, azúcar, petróleo, tabaco, construcción, níquel, acero, cemento, maquinaria agrícola e industria farmacéutica. Entre las producciones agrícolas destacan: caña de azúcar, tabaco, cítricos, café, arroz, papas, frijoles. También es importante la producción ganadera.

El embargo de los EEUU a Cuba afecta negativamente sobre el sistema económico, más concretamente sobre el comercio, dificultando el acceso a productos estratégicos.

En el sistema monetario actual de Cuba coexisten dos monedas:

- Peso cubano (o moneda nacional): los trabajadores del estado reciben su salario en dicha moneda y es utilizada principalmente en los mercados, transporte público y puestos de comida callejeros.
- Peso convertible (o C.U.C.): equivale a 24 pesos cubanos y se puede canjear en cualquier casa de cambio o banco. Su uso mayoritario es en tiendas de productos variados (leche, jabón, aceite, bebidas, etc.)

Según el informe del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) del año 2009 sobre la calidad de vida y desarrollo humano, Cuba se encuentra en el 51 puesto a escala nacional y el 5º mejor país de la América Latina. Cuba cuenta con una elevada esperanza de vida además de una alfabetización del 99.8% de la población.

Además según UNICEF (2009) existe un 0% de desnutrición infantil en el país.

## 4. MARCO TEÓRICO Y ESTUDIOS PREVIOS

### 4.1. Concepto de zonas costeras

La extensión de **la zona costera puede variar**, ya que sus límites no sólo son determinados por características ambientales y geológicas, sino también por un concepto político y administrativo. De este modo, se puede incluir toda el área terrestre de las cuencas hidrográficas y toda el área acuática hasta la plataforma continental, aunque en la práctica, según Chi (2000), “la zona costera es la tierra y aguas que se extienden 1 km tierra adentro, desde la marca de marea alta en la playa y que se extienden hacia el mar hasta la curva de nivel de 30 m de profundidad, y también incluye las aguas, lechos y bancos de todos los ríos, estuarios, ensenadas, arroyos, bahías o lagos bajo la influencia de la fluctuación de las mareas”.

Las zonas costeras están sujetas en la mayor parte del mundo a un incremento de la presión debido al aumento en el desarrollo y utilización de los recursos naturales y a los impactos producidos por los cambios globales.

La tierra costanera es atractiva y valiosa para el uso residencial; en muchas áreas del mundo en vías de desarrollo, las tasas de crecimiento demográfico y las poblaciones urbanas son más grandes en la costa. Estas zonas han sido empleadas por siglos para la recreación, por lo que actualmente el turismo es un negocio importante, siendo el sector más grande de la economía de algunos países.

### 4.2. Zonas costeras de Cuba. Características

Las zonas costeras de Cuba se caracterizan por presentar una **configuración estrecha y alargada**, con gran irregularidad y diversidad de sus costas, entre las que se identifican dos tipos fundamentales: las costas abrasivas – cársticas o rocosas y las acumulativas (Feenstra y col., 1996).

Las costas cubanas alcanzan una longitud total de 5746 km de los cuales 3209 corresponden a la costa norte y 2537 km a la costa sur. Existe una gran diversidad de ecosistemas marinos y costeros, en general de gran fragilidad, que contienen una

extraordinaria riqueza, y constituyen el hábitat de innumerables especies de plantas y animales terrestres y marinos, así como el soporte de varias actividades sociales y económicas (Nuñez, 1990).

Las costas de Cuba describen dos curvas con cierto paralelismo hacia el Norte en dirección Noroeste-Sureste, desde la península de Hicacos a la Punta de Maisí, y de Noreste-Sureste desde la península de Hicacos hasta el Cabo de San Antonio con contorno irregular, lo cual unido a la poca anchura de su territorio, hace que ninguno de sus puntos en tierra firme se encuentre a más de 100 km de la línea de costa. Este hecho facilita las comunicaciones y la transportación de cabotaje y propicia la influencia marina en el clima insular.

Se puede considerar que en Cuba existen cuatro tipos de costas:

- Terraza baja de diente de perro: la constituida por rocas carbonatadas, incluyendo el camellón de materiales sueltos tales como cantos, guijarros, gravas y arenas, formados durante los temporales, y regularmente cubiertos de vegetación. Su límite se establece en el borde extremo hacia el camellón.
- Costa baja de manglar: área que comprende las extensiones de manglar asociadas con las ciénagas, lagunas costeras, y en general, los terrenos bajos que reciben la influencia del flujo y reflujos de las mareas, de las olas o de la filtración del agua de mar. Su límite hacia tierra está dado por la penetración máxima del bosque de mangle.
- Costa acantilada: área con acantilados cuya cima no sea sobrepasada por las marejadas o penetraciones del mar. Se extenderá 20 m hacia tierra a partir de dicha cima.
- Playa: son ecosistemas de la zona costera constituidos por materiales sueltos de diferente espesor en áreas emergidas y submarinas que manifiestan procesos de erosión y acumulación por alteraciones de origen natural o antrópico, con cambios en la dinámica de su perfil (Fig.10); pertenecen a ella las barras submarinas, las bermas y las dunas.

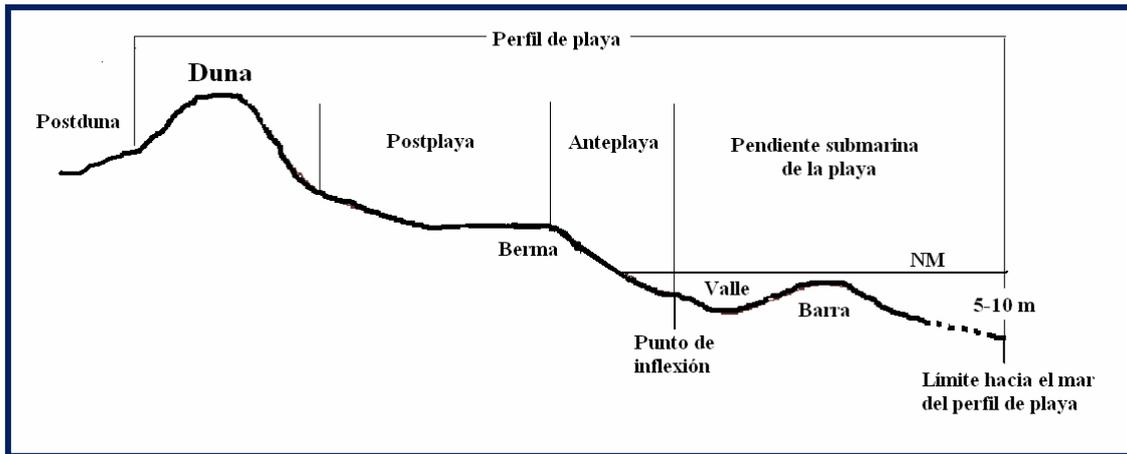


Figura 10: Representación gráfica de las partes del perfil de playa. Fuente: Protocolo de erosión de playas.

### 4.3. Las playas en el contexto de las zonas costeras cubanas.

El origen de las playas es variado según sea la fuente que aporta la arena, algunas son biogénicas, otras se forman por la acumulación de sedimentos oolíticos-biogénicos y también pueden formarse por la acumulación de arenas fluviales o por la abrasión costera. Estas acumulaciones son frágiles y aunque en muchos casos su erosión acelerada se debe al mal manejo, también se produce erosión por causas naturales.

La escasez de aportes terrígenos debido a la ausencia de ríos de gran caudal, así como la existencia de grandes extensiones de manglares y ciertas áreas de lagunas costeras explica que las playas cubanas posean una constitución principalmente biogénica y oolítica.

Las playas son quizás uno de los ecosistemas con menor diversidad biológica, debido a su homogeneidad física, su baja bioproductividad y elevada turbulencia. Sirven de sitio de nidificación de diversas especies de aves marinas y de las tortugas marinas, especies de gran interés para la conservación.

La región del Caribe, y Cuba como parte de ella, ha experimentado en los últimos años un crecimiento del sector turístico, muy estrechamente ligado a las playas. Este desarrollo turístico ha traído aparejado cambios muy rápidos en la estructura y funcionamiento de los sectores costeros de playas.

En la costa norte de Cuba existen 83 playas de las cuales un 92% presentan significativos procesos erosivos, mientras que en la costa sur se encuentran 57 playas, que en general están menos afectadas por los procesos erosivos.

#### **4.4. Fundamentos teóricos del monitoreo ambiental**

##### **4.4.1. Concepto de monitoreo ambiental**

Sors (1987) define el monitoreo ambiental como un "sistema continuo de observación de medidas y evaluaciones para propósitos definidos; el monitoreo es una herramienta importante en el proceso de evaluación de impactos ambientales y en cualquier programa de seguimiento y control".

Otros autores plantean que: "el monitoreo ambiental no es un fin por sí mismo, sino un paso esencial en los procesos de administración del ambiente" (Rockefeller Foundation, 1977). Por otra parte, para Jacinto (2006), el monitoreo es un instrumento para mantener y actualizar el diagnóstico de una situación específica y se elabora de manera especial, atendiendo a aspectos o intereses particulares. Contempla las acciones de observación, muestreo, medición y el análisis de datos técnicos y ambientales. El propósito es el de definir las características del medio ambiente o entorno de un ecosistema, así como identificar los impactos ambientales y conocer la variación o degradación del ambiente a través del tiempo.

Fernández y col. (2008) plantea que en el monitoreo o en el diseño de una red de monitoreo el propósito fundamental es el de valorar, observar y controlar el recurso agua, con vistas a su protección, conservación y mejoramiento ante el impacto que se pueda producir. Un programa científicamente establecido de observaciones frecuentes en el tiempo de los procesos dinámicos más significativos.

Un programa de monitoreo constituye un documento técnico de control ambiental, en el que se concretan los parámetros del seguimiento de la calidad de los diferentes factores ambientales afectados, así como, de los sistemas de control y medida de estos parámetros.

El monitoreo ambiental tiene como objetivos:

- **Registrar**, de forma sistemática y ágil, los cambios que se operan en los ecosistemas.
- **Descubrir** posibles relaciones causa-efecto.
- **Determinar** si una acción de manejo específica está dando los resultados deseados.
- **Medir** el efecto de tensores naturales o antrópicos.

Según Almeida (2011), en el diseño, implementación y evaluación de un programa de monitoreo que logre una representatividad y enfoque holístico de todo el ecosistema playa, es necesario la fundamentación de los siguientes pasos (Fig.11):

1. Diagnóstico ambiental integral: es el punto de partida del ciclo del diseño e implementación del programa de monitoreo.

De acuerdo con (Bartram y Rees, 2000; Davis, 2001) la descripción del área de monitoreo debe contemplar, como mínimo:

- Definición de la extensión del área. Límites de la zona de estudio.
  - Resumen de las condiciones ambientales y procesos (incluyendo actividades humanas) que pueden afectar la calidad del ecosistema.
  - Información meteorológica e hidrológica.
  - Descripción del ecosistema. Características oceanográficas.
2. Identificación de objetivos: A partir de unos objetivos generales y específicos se podrá conocer cuál es el funcionamiento y la dinámica de la zona a evaluar.
  3. Diseño del programa: determinación de los parámetros que se van a evaluar en función de los objetivos marcados previamente. Es importante georeferenciar los puntos de muestreo lo cual permitirá comparar los resultados obtenidos en el mismo sitio en un espacio temporal.

4. Implementación y validación: se lleva a cabo la interpretación de los datos que permitirá la validación del programa realizando una valoración de los resultados que se van obteniendo.
5. Evaluación: Se observan las posibles tendencias y regularidades que pueden tener lugar en todo proceso. Esta es la base para el perfeccionamiento continuo del programa.
6. Rediseño: Los programas de monitoreo deben revisarse periódicamente para asegurarse de que se obtiene la información que necesitamos. A medida que se gane un mayor conocimiento de las condiciones de un ecosistema, se necesitará información adicional o, alternativamente, prescindir de alguna de ella. En cualquier caso, debe rediseñarse el programa para cumplir los objetivos propuestos.

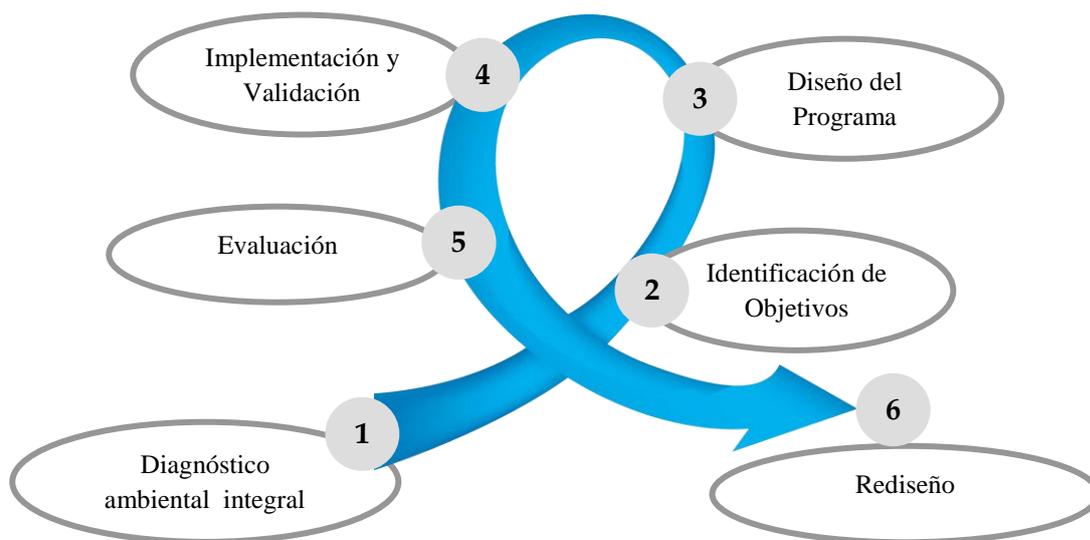
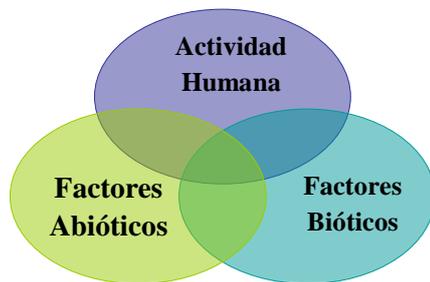


Figura 11: Ciclo del programa de monitoreo. Fuente: Almeida (2011)

#### 4.4.2. Monitoreo ambiental en playas

Internacionalmente los programas de monitoreo de los ecosistemas playas son variados y diversos encaminados al muestreo de parámetros muy específicos asociados a aquellas variables que conforman el sistema: la calidad del agua y aspectos morfológicos como la evolución de los perfiles topográficos, dinámica y movimiento de sedimentos.



**Figura 12: Interacción entre los diferentes factores. Fuente: Almeida (2011)**

La propuesta de programa de monitoreo aplicado a las playas se fundamenta en la superposición de diferentes factores (Fig.12) que en su interrelación describen los procesos que intervienen en el funcionamiento del ecosistema. Estos factores son los que integran los componentes abióticos, los bióticos y las actividades humanas.

- Los componentes abióticos: son los que están definidos por los parámetros geomorfológicos y estructurales de ecosistema, la calidad de las aguas y los sedimentos que lo componen.
- Los bióticos: están relacionados con la vegetación emergida y sumergida, ambas asociadas al ecosistema, estudios de biodiversidad, y bioindicadores de calidad.
- Las actividades humanas: tienen una estrecha relación con las acciones de gestión y manejo de todo tipo sobre el ecosistema.

#### **4.4.3. Monitoreo ambiental en Cuba, experiencias en la provincia de Matanzas**

El Sistema Nacional de Monitoreo Ambiental en Cuba ha sido concebido como un complemento del Sistema de Información Ambiental, reconocido por la Ley 81 de Medio Ambiente, como uno de los instrumentos principales de la gestión ambiental en el país. El mismo permite evaluar un conjunto de indicadores ambientales seleccionados, entendiendo como tal, determinados elementos cualitativos del medio ambiente susceptibles de ser medidos u observados, captados, almacenados, procesados y evaluados, en función de ofrecer una visión comparativa del estado del medio ambiente nacional o territorial en un período de tiempo determinado, evaluando también, las principales tendencias cualitativas y cuantitativas de su comportamiento (ECURED, 2011).

Según los planteamientos del Centro de Información, Gestión y Educación Ambiental los objetivos generales del Sistema Nacional de Monitoreo Ambiental (SNMA) son:

1. Identificar, mediante la recolección, procesamiento y evaluación de los datos básicos, la situación ambiental y calidad de los recursos naturales del país, reconociendo los cambios y tendencias que se producen a corto, mediano y largo plazo.
2. Precisar cualitativamente y cuantitativamente la influencia negativa de la contaminación producida por la actividad económica y social sobre los distintos componentes del medio ambiente nacional y territorial.
3. Llevar a cabo procesamientos de la información que permitan predecir el comportamiento futuro de los indicadores ambientales, facilitando la toma de decisiones en las acciones de recuperación, mitigación y protección ambiental.
4. Contribuir a la elaboración de los reportes sistemáticos sobre la situación ambiental del país.

Por otra parte, esta institución plantea que los componentes o elementos del medio ambiente, que serán objeto de inclusión en el SNMA, en una etapa inicial, y sobre los cuales habrá que seleccionar los indicadores ambientales correspondientes son los siguientes:

- Aguas Terrestres
- Aguas Costeras
- Atmósfera
- Recursos Forestales
- Diversidad Biológica
- Áreas Protegidas
- Fuentes de Contaminación
- Suelos

En la provincia de Matanzas se han realizado estudios en playas desde la década de los 70, con la consiguiente ejecución de acciones encaminadas a eliminar problemas detectados. En un principio se prestaba más atención a la evaluación de los aspectos morfológicos de las playas. Ya en el 2001, y como parte de los trabajos de la Delegación Territorial del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente

(CITMA) en Matanzas, se realizó un estudio más abarcador del sistema y evaluó elementos que hasta entonces habían sido ignorados o analizados parcialmente. Este fue el primer acercamiento a una visión integrada del sistema playa en Cuba.

Mena y Blanco (2003) realizaron un diagnóstico ambiental de las playas de la bahía de Matanzas y bahía de Cochinos como punto de partida y el reto en la conformación, implementación práctica y perfeccionamiento continuo del programa de acciones. El diagnóstico ambiental se convierte en una herramienta de identificación de los principales problemas iniciales en estos ecosistemas.

En el 2006 se instaura un programa de monitoreo integral de playas en la provincia. En este programa se encuentran incluidas un total de 20 playas (10 en la costa norte y 10 en la costa sur). En este programa los indicadores de la calidad del medio marino acuático evaluados son: aspectos estructuro-morfológicos y dinámicos, estado de la vegetación y calidad del agua del mar.

#### **4.5. Contaminación marina**

El estudio y control de la contaminación ambiental en sus diferentes manifestaciones constituye una de las tareas más apremiantes en que están empeñadas las sociedades modernas. La contaminación de los recursos hídricos y en particular la contaminación marina es un problema que se manifiesta a nivel mundial. Los ecosistemas marinos y costeros en todo el planeta se han visto cada vez más afectados por las actividades humanas, entre las que se encuentran la descarga de aguas residuales domésticas e industriales sin tratar, actividades de exploración, extracción y transporte de gas y petróleo y el desarrollo turístico (PNUMA, 1999).

En Cuba las áreas costeras asientan a dos tercios de la población del país y esta densidad poblacional con su constante y progresivo desarrollo económico-social constituye un factor de presión sobre el medio ambiente litoral determinado por la explotación de los recursos marino-costeros y las afectaciones asociadas a vertidos de residuales urbano-industrial, agrícola, mineros y los derrames de hidrocarburos. Por este motivo, se ha hecho evidente la necesidad de estudiar la evolución y calidad de estos

ecosistemas con el objetivo de preservar nuestros recursos naturales y evitar su deterioro. (CIMAB, 2001).

Uno de los problemas sanitarios más críticos en los países de América Latina y el Caribe, es la descarga incontrolada de aguas residuales domésticas sin tratamiento, las cuales contaminan los recursos hídricos superficiales, subterráneos y las zonas costeras. La inadecuada disposición de excretas y la ausencia o el deficiente sistema de alcantarillado y tratamiento, están asociados a la contaminación del agua causando numerosas enfermedades, tales como el cólera, la amebiasis, la hepatitis, la fiebre tifoidea y paratifoidea, entre otras. La epidemia del cólera y los brotes causados por microorganismos patógenos como *Cryptosporidium*, cuya vía de transmisión fundamentalmente es el agua, han originado una alerta en diferentes países para tratar de prevenir estos eventos que han provocado una alta morbilidad y mortalidad en la población mundial (González y col, 2003).

La contaminación es el primer factor de degradación del medio marino, los agentes contaminantes actúan por las vías respiratorias, por vías digestivas o por contacto. Debemos tener en cuenta que la diversidad de productos en forma de residuos que genera la actividad humana se acerca a los 100000 y además, crece continuamente en peso y volumen (Seoáñez, 2000).

La mayoría de las zonas turísticas costeras suelen tener una ubicación próxima a importantes núcleos urbanos. La eliminación de las aguas residuales conjuntamente con el aporte de las desembocaduras de los ríos, son las fuentes más importantes de contaminación microbiológica del mar. La contaminación de las zonas costeras supone un importante factor de riesgo para la salud, ya que los bañistas están expuestos al contacto, inhalación y a la ingestión de microorganismos patógenos que pueden estar presentes tanto en el agua de mar como en la arena de la playa (Figueras y col, 1994).

Según Pignataro (2007) las fuentes de contaminación son el saneamiento (alcantarillado), líquidos pluviales, lixiviados, rellenos sanitarios, industrias y agricultura. La contaminación puede ser de tipo orgánica, física, patógena, estética, tóxica y eutrófica.

Entre los contaminantes más frecuentes de las aguas se encuentran: materias orgánicas, bacterias, desperdicios industriales y domésticos, entre otros, por lo que determinar la calidad sanitaria de estos cuerpos de agua proporciona herramientas indispensables para la toma de decisiones en relación al control de los vertimientos, tratamiento de las aguas y conservación del ecosistema (Sardiñas y col, 2006).

## **4.6. Indicadores de calidad ambiental**

### **4.6.1. Indicadores estéticos**

Los parámetros cualitativos de la calidad de las aguas de las zonas recreativas o de baños están muy relacionados con los indicadores estéticos de estos ecosistemas. Los aspectos que incluyen la aceptabilidad estética general de un ambiente acuático se expresa en términos de criterio de: transparencia o turbiedad de las aguas, olor y color, presencia de residuos sólidos flotantes y dispersos en la arena, presencia de película de grasas, aceites y espumas (OMS, 1998), los cuales se describen a continuación:

#### Aceites y grasas:

Son perjudiciales para la vida acuática, porque forman películas sobre la superficie del agua, reducen la aeración y disminuyen la penetración de la luz solar necesaria para la fotosíntesis de las plantas acuáticas. También pueden formar agregados de alquitrán en las playas. Es por ello que los aceites o productos petroquímicos no deben estar presentes en concentraciones que se detecten como una película visible, brillo o se detecten por el olor.

#### Hidrocarburos:

La presencia de hidrocarburos puede ocasionar la destrucción y muerte de aves marinas y otros animales, causando efectos perjudiciales en peces y microorganismos marinos. Además los hidrocarburos permanecen durante largo tiempo y pueden ser trasladados por las corrientes marinas hacia las costas u otras latitudes.

Las contaminaciones pueden presentarse de dos formas generales: puntuales y sistemáticas. Las primeras ocurren de manera fortuita en los cuerpos de agua donde generalmente no hay presencia de hidrocarburos. Las segundas son habituales y

caracterizan a aquellas aguas que son contaminadas por la actividad antrópica que en ellas se realiza. Por otro lado, las fuentes de la contaminación pueden ser simples o múltiples, y verter al medio uno o varios componentes del petróleo.

#### Sabor:

El sabor define solamente las sensaciones gustativas que se designan como amargas, saladas, ácidas, y dulces, resultantes de la estimulación química de las terminaciones nerviosas sensitivas de las papilas de la lengua y del paladar blando. El sabor abarca un complejo de sensaciones olfativas, gustativas y táctiles, originadas por el estímulo de las terminaciones nerviosas situadas en la lengua y las cavidades nasal y bucal. Las muestras de agua depositadas en la boca para hacer un análisis sensorial siempre producen un sabor, el olor o la sensación bucal, dependiendo del estímulo químico.

Las pruebas de sabor solamente se realizaran con muestras inocuas para la ingestión, descartándose las que puedan estar contaminadas por bacterias, virus, parásitos o sustancias químicas peligrosas.

#### Color:

El agua es incolora. Las causas de la coloración de las aguas marinas no se conocen completamente, pero las sustancias disueltas constituyen uno de los factores contribuyentes. El color del agua se puede clasificar en real y aparente. Las sustancias orgánicas, taninos, ligninas y los ácidos húmicos de la descomposición de la vegetación también brindan un color real al agua, según OMS (1998). El color aparente generalmente se debe a la presencia de materiales particulados coloreados, interacción de la luz sobre partículas suspendidas factores tales como el reflejo del fondo marino o el cielo.

#### Turbiedad:

La turbiedad en el agua es causada por la presencia de materia suspendida como la arcilla, arena muy fina, limo, materia orgánica finamente dividida, algas y otros microorganismos. A mayor cantidad de este tipo de partículas mayor turbiedad tendrá el agua.

### Olor:

Los olores desagradables asociados con efluentes no tratados de aguas residuales, materia orgánica en descomposición tales como vegetación, animales o peces muertos y aceite diesel o petróleo descargado pueden disminuir la afluencia de usuarios de las playas. Aún no se han establecido umbrales de olor y su relación con concentraciones de diferentes contaminantes ambientales en aguas recreativas.

### Residuales sólidos:

Los residuos sólidos en la playa se derivan de tres fuentes principales: mar, río y desechos de los usuarios. Obviamente, el goce de los visitantes de cualquier playa se verá disminuido por la presencia de residuos sólidos. La limpieza de las playas es uno de los parámetros más importantes para los usuarios de área recreativa. El grado de percepción de los residuos sólidos dependerá de diversos parámetros tales como edad, nivel socio-económico, sexo; obviamente, las grandes cantidades de residuos son estéticamente desagradables.

## **4.6.2. Parámetros físicos-químicos**

Mundialmente se miden diversos parámetros físicos, químicos y biológicos a los cuerpos de agua de cualquier naturaleza para determinar su grado de contaminación. Los principales parámetros que miden la calidad de un cuerpo de agua son: el oxígeno disuelto, el pH, la Demanda Química de Oxígeno, Demanda Bioquímica de Oxígeno, salinidad, los nitratos y nitritos, los fosfatos, el incremento de temperatura, entre otros, los cuales se describen a continuación::

### pH:

Es una medida del grado de acidez o de alcalinidad de un agua que nos indica la concentración de  $H_3O^+$ . La escala de unidades de pH va desde 0 (muy ácido) hasta 14 (muy básico), teniendo en el valor 7 el punto neutro a 25°C de temperatura. Las aguas que se suministran a la población o la industria poseen un pH entre 7 y 8. El agua de mar sin contaminación debe tener un pH alrededor de 8,2, las aguas fuera del rango de 6

a 9 pueden ser dañinas para la vida acuática. Estos niveles de pH pueden causar perturbaciones celulares y la eventual destrucción de la flora y fauna acuática.

#### Temperatura:

La temperatura es una característica que nos permite conocer el nivel térmico que posee un cuerpo o una sustancia dada. Es un parámetro muy importante por su influencia en el desarrollo de la vida acuática y en el cálculo de otros parámetros como la solubilidad de gases y sales, conductividad, pH, etc. Este parámetro medirá la posible contaminación térmica originada por instalaciones industriales.

#### Salinidad:

La salinidad indica la concentración total de sales en el medio, lo que determina el tipo de especies animales y vegetales que pueden desarrollarse, así como la productividad del ecosistema en correspondencia con estos.

#### Oxígeno disuelto:

El OD es la cantidad de este gas que se encuentra disuelta en el agua, sin formar combinaciones con otros elementos químicos. El contenido del mismo depende de la temperatura, la presión y la salinidad.

Es un parámetro de gran importancia para el desarrollo de la vida subacuática, pues su presencia determina la salud del ecosistema, a mayor concentración de OD existirán mayores posibilidades de vida pues sin este no puede existir la respiración de estos. La baja concentración de OD puede ser un indicador de que el agua tiene una alta carga orgánica provocada por aguas residuales.

#### Demanda Bioquímica de Oxígeno:

Es una prueba empírica que se realiza para conocer la cantidad de oxígeno necesaria para estabilizar (oxidar) por la vía biológica la materia orgánica contenida en un agua.

En el laboratorio se trata de simular el proceso que ocurre en la naturaleza, en el cual los microorganismos existentes en el agua se alimentan, crecen y reproducen utilizando estos residuos orgánicos. Para ello consumen una determinada cantidad de oxígeno que

se conoce como DBO. Esta prueba proporciona una medida de la contaminación orgánica del agua, especialmente de la materia orgánica biodegradable.

#### Demanda Química de Oxígeno:

Proporciona una medida de la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar químicamente la materia orgánica contenida en un agua.

#### Grado de biodegradabilidad (GB):

A partir del valor del GB se puede conocer el grado de complejidad de la materia orgánica. A partir de la complejidad de esta se determinara su origen, puesto que si la materia es poco compleja tiende a ser de origen autóctono, mientras que si la materia es compleja presenta un cierto grado de refractabilidad, y significará que su origen es alóctono.

A partir de este parámetro se puede llegar a determinar el grado de autodepuración del cuerpo de agua estudiado, teniendo en cuenta que si la materia es de origen autóctono tiende a ser más fácilmente autodepurable que si es de origen alóctono.

#### Fósforo:

El fósforo se encuentra en las aguas naturales y residuales casi exclusivamente en forma de fosfatos, clasificados en fósforo inorgánico, fosfato condensado, piro, meta y otros polifosfatos, y los ligados orgánicamente. Se presentan en solución, partículas o detritus, o en los cuerpos de organismos acuáticos.

El fósforo es esencial para el crecimiento de los organismos y puede ser el nutriente limitador de la productividad primaria de un cuerpo en el agua. En los casos que constituye el nutriente limitador del crecimiento, la descarga de aguas residuales brutas o tratadas, drenados agrícolas o ciertos residuos industriales a esa agua puede estimular el crecimiento de micro y macroorganismos acuáticos fotosintéticos en cantidades modestas.

Los fosfatos pueden aparecer en los sedimentos de fondos y en cienos biológicos, tanto en formas inorgánicas precipitada como incorporados a compuestos orgánicos.

#### Nitrógeno de Nitrito:

El nitrito es un estado intermedio de oxidación entre el nitrato y el amonio. Es relativamente inestable y fácilmente oxidable a la forma de nitrato. Aunque su presencia pueda darse en pequeñas concentraciones es un contaminante importante por su toxicidad para las especies acuáticas.

#### Nitrógeno de Nitrato:

Los nitratos inorgánicos se forman en la naturaleza por la descomposición de los compuestos nitrogenados como las proteínas, la urea, fertilizantes, sistemas sépticos y almacenamiento de estiércol u operaciones de extensión.

Si el nitrato se encuentra presente en el agua potable existe el peligro de metahemoglobinemia infantil si el agua es consumida por niños pequeños.

#### Nitrógeno de Amonio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>):

El amonio es un producto resultante de la actividad microbiana sobre el nitrógeno orgánico y otras formas de nitrógeno. Cuando el nitrógeno orgánico es utilizado por los microorganismos éstos producen como residuo el amonio, razón por la que éste se encuentra en una alta concentración en las aguas residuales como las domésticas y pecuarias. Otra fuente de amonio en las aguas es la reacción del agua con la urea contenida en la orina.

El amonio es tóxico para los humanos en altas concentraciones, y puede causar daños en la mucosa que recubre los pulmones, o quemaduras alcalinas.

### **4.6.3. Indicadores microbiológicos**

Un aspecto fundamental es la evaluación de los requisitos necesarios asociados con la calidad microbiológica del agua. Por lo general, ella se mide por medio de indicadores bacterianos de contaminación fecal como los coliformes y se relacionan con la posible presencia de microorganismos patógenos que puedan causar enfermedades por transmisión hídrica (González y col, 2003).

Según Campos (1999) citado por Arcos (2005) **determinar el tipo de microorganismos presentes en el agua y su concentración proporciona herramientas indispensables para conocer la calidad de la misma** y para la toma de decisiones en relación al control de vertidos, tratamiento de aguas y conservación de ecosistemas, evitando así el riesgo de contaminación de las personas y el ambiente. No obstante, existe una gran dificultad para determinar la presencia de todos los microorganismos patógenos implicados en los procesos de contaminación ambiental. Dicha determinación implica costes elevados, tiempo, y laboratorios especializados. Frente a estas dificultades y a la necesidad de hacer una evaluación rápida y fiable de la presencia de patógenos en el agua, se ha planteado la necesidad de trabajar con determinados grupos indicadores. Los microorganismos indicadores son aquellos que tienen un comportamiento similar a los patógenos, concentración y reacción frente a factores ambientales, pero son más fáciles, rápidos y económicos de identificar. Una vez se ha demostrado la presencia de grupos indicadores, se puede inferir que los patógenos se encuentran presentes en la misma concentración y que su comportamiento frente a diferentes factores como pH, temperatura, presencia de nutrientes, tiempo de retención hidráulica o sistemas de desinfección es similar a la del indicador. Un microorganismo indicador de contaminación fecal debe reunir las siguientes características:

- Ser un constituyente normal de la flora intestinal de individuos sanos.
- Estar presente, de forma exclusiva, en las heces de animales homeotérmicos.
- Estar presente cuando los microorganismos patógenos intestinales lo están.
- Presentarse en número elevado, facilitando su aislamiento e identificación.
- Debe ser incapaz de reproducirse fuera del intestino de los animales homeotérmicos.
- Su tiempo de supervivencia debe ser igual o un poco superior al de las bacterias patógenas, su resistencia a los factores ambientales debe ser igual o superior al de los patógenos de origen fecal.
- Debe ser fácil de aislar y cuantificar.

- No debe ser patógeno.

Durante más de medio siglo se ha empleado el grupo coliforme como un indicador del grado de contaminación y, por lo tanto, de la calidad sanitaria del agua.

Los estreptococos fecales o termotolerantes han sido utilizados con los coliformes fecales para diferenciar la contaminación fecal del hombre de otros animales de sangre caliente (APHA, 1992; Olivera y Junco, 2002). La razón entre CF y EF proveen información acerca de la fuente de contaminación. Los EF rara vez se multiplican en agua contaminada y son más persistentes que *Escherichia coli* y las bacterias coliformes (APHA, 1992).

A continuación se describen los indicadores microbiológicos:

#### Coliformes totales:

Se definen como bacilos gram negativos aerobios o anaerobios facultativos, no esporulados que fermentan la lactosa con producción de gas dentro de 48 h de incubación a 35°C.

Su hábitat natural se encuentra en el intestino del hombre y animales superiores. Además también se encuentra en substratos extra intestinales como vegetales, insectos, aguas superficiales, tierra y cualquier material que entre en contacto con ellos.

Los géneros más comunes de los organismos coliformes son: *Escherichia*, *Citrobacter*, *Klebsiella*, *Enterobacter*.

#### Coliformes fecales:

Las CF son gram negativos, anaerobios facultativos y esporógenos que pertenecen a la familia *Enterobacteriaceae*. Son capaces de crecer y fermentar la lactosa con producción de ácido y gas a  $44\pm 0,2^{\circ}\text{C}$  en las primeras 24 h de incubación.

Cuando están suficientemente diluidas en una gran masa de agua las bacterias CF sobreviven sólo por lapsos cortos de tiempo, por lo que su presencia puede tomarse, por lo general, como evidencia de contaminación reciente.

Formas patógenas de *Escherichia* y otras bacterias se transmiten, entre otras vías, a través de las excretas y comúnmente por la ingestión o el contacto con agua contaminada.

Estreptococos fecales:

Los EF son bacterias esféricas que forman sus colonias en grupos o cadenas. Se encuentran de manera natural en muchos organismos, incluidos los humanos, como parte de su flora intestinal. Además se encuentran en infecciones urinarias, leche, productos lácteos, carnes, aguas y suelos. Son microorganismos muy resistentes, capaces de tolerar concentraciones relativamente altas de sales y ácidos.

Los EF son cocos gram positivos, no móviles, catalasa negativa, aerobios o anaerobios facultativos, que fermentan la glucosa con producción de ácido entre 35-37°C, en un tiempo máximo de 48 h.

## **5. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

### **5.1. Muestreo y métodos de análisis**

#### **5.1.1. Ubicación de los puntos de muestreo**

Para el estudio de la calidad sanitaria del agua se llevó a cabo un muestreo en 5 puntos localizados como se indica en la tabla 1, durante los días 6, 7 y 12 del mes de octubre del 2011. La selección de los puntos de muestreo se definió teniendo en cuenta los siguientes criterios:

- Afluencia de bañistas
- Drenajes pluviales
- Afluencias de aguas residuales
- Asentamientos irregulares que no cuentan con infraestructura de saneamiento y alcantarillado

Las coordenadas geográficas de los puntos de muestreos fueron tomadas mediante un equipo GPS portátil *GARMIN GPSMAP 76CSx*.

#### **5.1.2. Toma de muestras, preservación y almacenamiento**

Se tomaron las muestras de agua a una profundidad de 1,0 m aproximadamente, las muestras se tomaron a contracorriente del flujo entrante y a 30 cm por debajo la interfase aire-agua, según UNE-EN ISO 5667-3 (1994).

La toma de muestras para la determinación de los parámetros físicos-químicos se realizó por duplicado en frascos plásticos con tapas, de 500 ml.

La toma de muestras para la determinación de los indicadores microbiológicos se realizó en un frasco de cristal estéril, de color ámbar, y se llenó hasta 3/4 del frasco.

Las muestras se preservaron en neveras con hielo, en ausencia de luz y se trasladaron al laboratorio para las determinaciones pertinentes.

## 5.2. Identificación de los indicadores a monitorear

Los indicadores estéticos que se estudiaron de forma cualitativa fueron:

- Aceites, grasas e hidrocarburos
- Sólidos flotantes, turbidez
- Color, olor y sabor
- Residuales sólidos

Los parámetros físicos-químicos determinados fueron:

- Temperatura
- Salinidad
- pH
- OD, DBO y DQO
- GB
- $\text{PO}_4^{3-}$  y  $\text{P}_T$
- $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NH}_4^+$

Los indicadores microbiológicos determinados fueron CT, CF y EF.

## 5.3. Identificación de las técnicas de determinación empleadas

### 5.3.1. Indicadores estéticos

#### Aceites, grasas e hidrocarburos:

La determinación de estos parámetros se realizó de manera visual, observándose la presencia de película de grasa, aceite o hidrocarburos en la superficie del agua y de depósitos de lodo aceitoso en la costa, ribera o en el fondo del área de baño.

Turbidez:

La turbidez se constató mediante el uso del disco de Secchi.

Color, olor y gusto:

Se tomó una porción de agua muestreada y se midieron los parámetros organolépticos.

Residuales sólidos:

Se observó la presencia o ausencia de estos en la zona de baño y los alrededores.

**5.3.2. Parámetros físicos-químicos**

Temperatura:

La temperatura fue medida con un termómetro Celsius de mercurio con una escala de 0,1°C.

Salinidad:

La determinación se realizó mediante un conductímetro EC215 de marca *Hanna instruments* (Fig.13).



Figura 13: Conductímetro. Fuente: AQUA (2011)

### pH:

El pH - metro utilizado fue el TM4 pH – meter (Fig.14). Se determinó por el método de potenciometría directa.



Figura 14: pH-metro. Fuente: AQUA (2011)

### Oxígeno disuelto:

Se realizó la determinación de OD por el método de Winkler (IOC-UNESCO, 1983), citado por Montalvo y col (2000). La muestra se trató in situ para fijar el oxígeno con una sal de manganeso (II) e yoduro alcalino. El precipitado de hidróxido de manganeso, reaccionó con el OD para formar un precipitado carmelita de formula  $Mn(OH)_2$ . La acidificación de la muestra con ácido sulfúrico formó el sulfato mangánico el cual actuó como agente oxidante, liberando el yodo del yoduro de potasio. El yodo liberado es estequiométricamente equivalente al OD, el cual se valoró con una solución de tiosulfato de sodio hasta color paja pálido, se adicionaron gotas de almidón y continuó la valoración hasta la desaparición del color azul.

Este método es aplicable a cualquier tipo de aguas naturales y contaminadas.

Se calculó el contenido de oxígeno en la muestra por la expresión:

$$mg O_2/l = \frac{a \times N \times 32000}{4(V - 2)}$$

Donde: a= volumen de tiosulfato consumido en la valoración de la muestra

N= normalidad de la solución de tiosulfato

V= volumen en ml de la botella de Winkler

La Norma Cubana (NC) 22:1999 no hace referencia a concentraciones de OD sino que se refiere a porcentaje de saturación de oxígeno (SO). Para obtener este valor se utilizó la siguiente fórmula:

$$SO (\%) = \left( \frac{\frac{OD}{475 - (2,65 \times \text{salinidad})}}{33,5 + \text{temperatura}} \right) \times 100$$

#### Demanda bioquímica de oxígeno:

Se tomó la muestra sin diluir y se le determinó la DBO valorando la evolución del oxígeno por el método Winkler, se tomaron dos frascos uno para la determinación del OD inicial y otro para incubar durante 5 días a 20°C, al cabo de los cuales se le determinó el OD. La muestra a incubar no se fijó, sino que se introdujo en una bandeja que contenía agua destilada que cubría el frasco y se mantuvo en oscuridad total. El cálculo para este procedimiento se realiza mediante la siguiente expresión según APHA (1992) y Montalvo y col (2000):

$$DBO_5 = O_i - O_f$$

Donde:  $O_i$  = concentración inicial de oxígeno en la muestra

$O_f$  = concentración final de oxígeno en la muestra

Se tomó la temperatura del agua como mínimo 3 veces al día durante los 5 días de incubación y se obtuvo la temperatura promedio de los 5 días de incubación. El cálculo para este procedimiento se realizó con la siguiente fórmula:

$$DBO = \frac{O_i - O_f}{0,02 \times T + 0,6}$$

Donde: T = temperatura promedio de la incubación

Demanda química de oxígeno:

El método utilizado fue la oxidación con permanganato modificada, puesto que la oxidación se llevó a cabo en un medio alcalino (Montalvo y col, 2000). En esta determinación se oxida una parte de la materia orgánica presente.

El permanganato de potasio oxida en gran medida sustancias orgánicas como los carbohidratos, fenoles y lejías residuales de sulfito de celulosa, en menor medida productos proteicos y no oxida los detergentes y productos residuales de la síntesis orgánica en el campo de los plásticos.

Grado de biodegradabilidad de la materia orgánica:

El GB nos indica cuán rápido se puede degradar la materia orgánica de un cuerpo de agua. Para su cálculo se utilizó la siguiente expresión matemática:

$$GB (\%) = \frac{DBO}{DQO} \times 100$$

Fósforo inorgánico:

El fósforo inorgánico presente en el agua reacciona con el molibdato de amonio, para formar un complejo ácido heteropolar. Este ácido se redujo por el ácido ascórbico, dando un complejo de color azul que permitió ser cuantificado por un método espectrofotométrico. Estas metodologías son consignadas por FAO (1975); Montalvo y col (2000).



**Figura 15: Espectrofotómetro. Fuente: AQUA (2011)**

La lectura final se realizó a 882 nm con un espectrofotómetro marca *CECIL*, modelo CE 1021, de fabricación inglesa (Fig.15).

#### Fósforo total:

Los compuestos de fósforo presentes en agua de mar fueron oxidados con peroxidisulfato a fosfato. El fosfato se determinó tal como se hizo con el fósforo inorgánico. La modificación del procedimiento de la oxidación consistió en realizar la reacción en presencia de peroxidisulfato al 1%. FAO (1975); Montalvo y col (2000).

La lectura final se realizó a 882 nm con un espectrofotómetro marca *CECIL*, modelo CE 1021, de fabricación inglesa.

#### Nitrógeno de Nitrito:

La determinación tuvo como base la clásica reacción de Griess, el ión nitrito reacciona con la sulfanilamida a un pH entre 1,5-2,0 y forma una sal de diazonio y esta copula con el  $\alpha$ -naftil-etilendiamina formando un azocompuesto de fuerte coloración rosada con un máximo de absorción a 545 nm que se midió colorimétricamente con un espectrofotómetro marca *CECIL*, modelo CE 1021, de fabricación inglesa.

La reacción es específica para el ión nitrito, las interferencias pueden ser causada por aminas aromáticas, cobre ( $>0,5\text{mg/l}$ ), ión yoduro ( $>0,1\text{mg/l}$ ), la materia suspendida y una fuerte coloración en la muestra.

El método es aplicable para la determinación de nitrito, en diferentes tipos de agua (incluyendo agua de mar y contaminada).

#### Nitrógeno de Nitrato:

Se usó una de las modificaciones del método clásico de columnas reductoras de cadmio para cuantificar los nitratos en agua marina, empleándose sulfato de hidracina como reductor de nitrato a nitrito, Montalvo y col (2000). Los nitratos se reducen a nitrito por el sulfato de hidracina, en un medio alcalino, en presencia de trazas de cobre como catalizador de la reacción, con un potencial normal de reducción de 0,01 V. Por último la sal de diazonio reacciona con el  $\alpha$  - naftil etilendiamina formado un azocompuesto de color rosado que permitió ser determinado por un método espectrofotométrico.

La lectura final se realizó a 545 nm con un espectrofotómetro marca *CECIL*, modelo CE 1021, de fabricación inglesa.

#### Nitrógeno de Amonio:

En un medio alcalino el amonio reaccionó con el hipoclorito formando la monocloraamina, que en presencia de fenol, teniendo como catalizador el ión nitroprusiato y con un exceso de hipoclorito se obtiene el indofenol azul. Un incremento en la concentración de los reactivos hizo posible que el nitrógeno orgánico reaccionase, además el tiempo de reacción decreció, Montalvo y col (2000).

La intensidad del complejo se midió fotométricamente con un espectrofotómetro marca *CECIL*, modelo CE 1021, de fabricación inglesa.

### **5.3.3. Indicadores microbiológicos**

#### Coliformes totales y fecales:

Se utilizó el método de tubos múltiples de fermentación (3 tubos), mediante siembra en medio líquido y el cálculo del Numero Más Probable (NMP), según NC 93-01-128

(1988) y APHA (1992). El método se basa en enriquecimiento de las muestras de agua en caldo Lactosado, con tubos invertidos Durhan en su interior, a una temperatura de  $35\pm 2^{\circ}\text{C}$ . Este primer paso se conoce como “prueba presuntiva”. Posteriormente, se hizo la verificación (prueba confirmativa) de los tubos de enriquecimiento positivo en caldo Bilis Verde Brillante incubados entre  $35\text{-}37^{\circ}\text{C}$  durante 24-48 h para CT; y en caldo EC incubados en  $44,5\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ , durante 24 h, para CF. La turbidez y presencia de gas confirmaron la existencia de CF y CT en la muestra analizada.

#### Estreptococos fecales:

Para la detección y enumeración de estos microorganismos se utilizó el método de tubos múltiples de fermentación (3 tubos), mediante siembra en medio líquido y el cálculo del Número Más Probable (NMP), según NC 93-01-130 (1990) y APHA (1992).

La prueba presuntiva se basó en el enriquecimiento de las muestras de agua en caldo Azida – Dextrosa. Se incubaron todos los tubos a  $35\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  durante 48h. Al cabo de 24 h se examinó cada tubo inoculado y si los tubos no presentaron turbidez, se reincubaron y se examinaron nuevamente después de otras 24 h (48 h en total). La prueba confirmativa se basó en sembrar los tubos que dieron positivos en la fase presuntiva en Caldo Etil Violeta Acida. Estos se incubaron a  $35^{\circ}\text{C}$  durante 48 h. En el caldo la respuesta positiva se manifestó por presencia de turbidez y un botón de color púrpura en el fondo del tubo.

Este procedimiento se puede aplicar para muestras de agua de diferentes fuentes: marinas, ribereñas, potables, residuales, entre otras.

#### **5.4. Análisis estadísticos de resultados y procesamiento de datos**

Los promedios observados en los parámetros físico-químicos y los indicadores microbiológicos de las muestras de agua de las playas evaluadas fueron comparados estadísticamente. Se utilizó el programa Excel 2007 como base de datos y SPSS versión 12,0 (en inglés) como soporte estadístico, sobre el entorno de PC/Windows.

La base de datos utilizada para el análisis estadístico proviene de los resultados de las campañas de monitoreo (Anexo 8.1. y 8.2. tab.28 a 31) realizadas dentro del programa de monitoreo ambiental para las playas de la provincia de Matanzas.

Se utilizó el test de Kolmogorov-Smirnov para la comprobación de la normalidad en la distribución de los datos de las diferentes variables.

Para las variables que se ajustaron a la distribución normal se realizó un análisis de varianza (ANOVA), aplicando el método DUNCAN en los casos donde existían diferencias significativas y para el resto de las variables la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis.

## 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 6.1. Criterios de evaluación de la calidad sanitaria

Para analizar los resultados de los parámetros físicos-químicos y de los indicadores microbiológicos se muestran en la tabla 2, 3 y 4 los criterios establecidos por la NC 22:1999.

**Tabla 1: Parámetros físicos-químicos según la NC 22:1999**

Parámetros	UM	Valor
pH	Unidades	6.1 – 8.9
Salinidad	ups	> 36
OD	%	> 70
DBO	mg/L	< 3
DQO	mg/L	< 2

**Tabla 2: Indicadores microbiológicos para contacto directo según la NC 22:1999**

Indicadores	UM	Valor
CT	NMP	$< 1 \cdot 10^3$
CF	NMP	$\leq 2 \cdot 10^2$
EF	NMP	$\leq 1 \cdot 10^2$

Como en la NC 22:1999 no se hace referencia a los niveles de nitrógeno y fósforo permitidos se utilizara el apartado “índices para los cuerpos de agua marina de uso pesquero” de la NC 25:1999.

**Tabla 3: Criterios de calidad según NC 25:1999**

Parámetro	Calidad buena	Calidad dudosa	Calidad mala
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/L)	< 0.03	0.03 – 0.05	> 0.05
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	< 0.01	0.01 – 0.06	> 0.06
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	< 0.05	0.05 – 1.5	> 1.5
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg/L)	< 0.05	0.05 – 0.2	> 0.2

## 6.2. Ubicación de los puntos de muestreo

En la siguiente tabla (tab.4) se muestran las coordenadas de todos los puntos de muestreo.

**Tabla 1: Coordenadas de los puntos de muestreo. Fuente: AQUA (2011)**

Nombre de la playa	Latitud N	Longitud W
El Tenis	23°02'10"	81°33'33"
Faro Maya	23°05'42"	81°28'24"
Los Pinos	22°03'45"	81°01'34"
Buena Ventura	22°16'35"	81°13'06"
Descanso	22°16'16"	81°10'36"

## 6.2. Resultados del monitoreo de octubre 2011

### 6.2.1. Indicadores estéticos

En el momento del muestreo los indicadores estéticos fueron determinados visualmente *in situ* y los resultados se expresan en la tabla 5. La valoración de los aspectos estéticos fue favorable para todas las playas.

Tabla 2: Resultados de los indicadores estéticos del monitoreo de octubre 2011. Fuente: AQUA (2011)

	El Tenis	Faro Maya	Descanso	Buena Ventura	Los Pinos
	<b>Aspectos del agua</b>				
<b>Olor y color</b>	Color verde azulado. Olor normal.	Color verde azulado. Olor normal.	Color verde azulado. Olor normal.	Color verde azulado. Olor normal.	Color verde azulado. Olor normal.
<b>Transparencia/Turbidez/ Partículas en suspensión</b>	Poca transparencia debido a gran cantidad de sólidos en suspensión.	Transparente	Transparente	Transparente	Transparente
<b>Residuos sólidos flotantes</b>	Origen marino y humano	Escasos, solo de origen marino	Escasos, solo de origen marino	Origen marino	Origen marino
<b>Aceites y grasas</b>	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
	<b>Aspectos de la arena</b>				
<b>Presencia de residuos sólidos</b>	Origen marino	Origen marino y humano	Escasos, solo de origen marino	Gran cantidad, de origen marino	Origen marino y humano

### 6.2.2. Parámetros físicos-químicos

En la tabla 6 se muestran los resultados físicos-químicos obtenidos durante el monitoreo:

Tabla 3: Resultados físicos-químicos de octubre 2011. Fuente: AQUA (2011)

Municipio	Playa	Fecha de muestreo	Hora de muestreo	Temperatura (°C)	Salinidad (ups)	pH	OD (mg/L)	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	GB (%)	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (μM/L)	P <sub>T</sub> (μM/L)	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (μM/L)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (μM/L)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (μM/L)
Matanzas	El Tennis	12-10-11	9:30	31	25,2	7	4,6	1,11	1,11	100,00	0,02	0,55	0	0	4,37
	Faro Maya	12-10-11	9:05	29	32,4	8	5,94	0,8	0,8	100,00	0	0,21	0	0	0
Ciénaga de Zapata	Buena Ventura	06-10-11	12:00	32	30,6	8	6,55	0,46	1,27	36,22	0,00	0,17	0	0	0,05
	Descanso	06-10-11	16:00	33	31,62	8	7	0,3	0,32	93,75	0,03	0,00	0	0	0
	Los Pinos	06-10-11	9:20	30	32,64	8	5,73	0,27	0,32	84,38	0,00	0,10	0	0	0

ups: Unidades Prácticas de Salinidad

El muestreo se realizó durante la época de verano por lo que las temperaturas observadas en las diferentes playas tienen un valor normal para una zona de clima tropical (alrededor de los 30°C).

Por lo que se refiere a los valores de salinidad se observa que ninguna de las playas analizadas cumple con los requisitos de la NC 22:1999. Las playas Faro Maya y Los Pinos son las que presentan un valor más elevado. Esto puede ser debido a que se localizan al exterior de la bahía y además no reciben la influencia de los aportes de agua dulce.

Todas las playas del estudio presentaron valores de pH dentro del rango exigido por la NC 22:1999 (6,1-8,9).

Los porcentajes de SO obtenidos durante el monitoreo cumplen con la NC 22:1999 (>70%). Las playas Buena Ventura y Descanso presentan una sobresaturación de oxígeno (>100%) mientras que las playas Faro Maya y Los Pinos presentan valores muy próximos a la sobresaturación.

Las playas estudiadas cumplen con los requisitos de la NC 22:1999 para los parámetros: DBO (<3 mg/L) y DQO (<2 mg/L). El valor más elevado para la DBO corresponde a la playa El Tennis y el valor de DQO mayor corresponde a la playa Buena Ventura. Estos valores están asociados a los aportes de materia orgánica que estas playas reciben.

Los valores obtenidos para el GB en todos los casos, a excepción de Buena Ventura, superan el 50%. Este valor nos indica que la materia orgánica es de origen autóctono.

Las concentraciones de  $P_T$  y fósforo inorgánico en las playas fueron bajas, inferiores al límite de detección (0,02 mg/L) de la técnica analítica empleada. Según la NC 25:1999 son de buena calidad (<0,05 mg/L).

Las concentraciones nulas de nitrito y nitrato en las playas indican, según la NC 25:1999, que sus aguas presentan una buena calidad.

La playa El Tennis reporta una mala calidad (>0,05 mg/L) asociada a la concentración de amonio encontrado en estas. El origen de esta contaminación en la playa El Tennis puede

ser debido a las descargas de aguas residuales ricas en amonio que recibe la bahía de Matanzas.

### 6.2.3. Indicadores microbiológicos

En la tabla 7 se muestran los resultados microbiológicos del monitoreo:

**Tabla 4: Resultados microbiológicos de octubre 2011. Fuente: AQUA (2011)**

Municipio	Playa	Fecha	Hora	CT NMP/100 ml	CF NMP/100 ml	EF NMP/100 ml
Matanzas	El Tennis	12-10-11	9:30	43	15	290
	Faro Maya	12-10-11	9:05	3	3	93

Las concentraciones de CT y CF se encuentran dentro de los límites exigidos por la NC 22:1999, que establece 1000 MP/100ml y 200 NMP/100ml respectivamente, siendo más elevados en la playa El Tennis.

Las concentraciones de EF solo superan el límite admisible por la NC 22:1999 (<100 NMP/100 ml) en la playa El Tennis. Esto puede estar asociado a la gran afluencia de bañistas en el momento del muestreo y a la influencia de las precipitaciones ocurridas en días anteriores a la fecha del muestreo.

## 6.3. Análisis de la evolución de la calidad sanitaria de las playas en el periodo 2006-2011

### 6.3.1. Resultados indicadores estéticos

La calidad estética de las aguas recreativas es un conjunto de factores visuales que depende de la percepción y requerimientos del hombre. Según la OMS (1998) los aspectos estéticos percibidos por los usuarios difieren de la calidad química y bacteriológica de las aguas, sin embargo muchas veces una calidad estética deficiente coincide con una calidad química y bacteriológica del agua desfavorable. Es por ello que el estudio de los indicadores estéticos incluidos dentro del diseño del programa de monitoreo de las playas es indispensable.

Para determinar la evolución y el comportamiento de los indicadores estéticos se utilizaron los recursos fotográficos existentes de cada una de las campañas de monitoreo de las playas. En las tablas 8 y 9 se muestran de manera resumida los resultados de los indicadores de la calidad estética evaluados durante las campañas de época de seca y lluvia respectivamente.

**Tabla 5: Resultados de la evolución y comportamiento de los indicadores estéticos durante la época de seca.**  
Fuente: AQUA (2011)

	El Tenis	Faro Maya	Descanso	Buena Ventura	Los Pinos
<b>Aspectos del agua</b>					
<b>Olor y color</b>	Color verde azulado. Olor normal	Color azulosos. Olor normal	Color verde azulado. Olor normal	Color verde azulosos con tendencia a carnalita. Olor normal	Color verde azulado. Olor normal
<b>Transparencia/Turbidez/Partículas en suspensión</b>	Poca transparencia debido a gran cantidad de sólidos en suspensiones	Transparente	Transparente	Transparente	Transparente
<b>Residuos sólidos flotantes</b>	Origen marino	Origen marino	Origen marino	Origen marino	Origen marino
<b>Aceites y grasas</b>	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
<b>Aspectos de la arenas</b>					
<b>Presencia de residuos sólidos</b>	Origen marino	Grma cantidad de residuos origen marino y humano	Escasos residuos sólidos	Gran cantidad de residuos origen marino	Escasos residuos de origen marino y humano

**Tabla 6: Resultados de la evolución y comportamiento de los indicadores estéticos durante la época de lluvia.**  
Fuente: AQUA (2011)

	El Tenis	Faro Maya	Descanso	Buena Ventura	Los Pinos
<b>Aspectos del agua</b>					
<b>Olor y color</b>	Color verde azulado. Olor normal	Color azulosos. Olor normal	Color verde azulado. Olor normal	Color carmelita. Olor normal	Color verde azulado. Olor normal
<b>Transparencia/Turbidez/P artículas en suspensión</b>	Poca transparencia debido a gran cantidad de sólidos en suspensiones	Transparente	Transparente	Transparente	Transparente
<b>Residuos sólidos flotantes</b>	Origen marino y humano	Escaso, solo marino	Escaso, solo marino	Origen marino	Origen marino
<b>Aceites y grasas</b>	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
<b>Aspectos de la arenas</b>					
<b>Presencia de residuos sólidos</b>	Origen marino y humano	origen marino	Origen marino	Gran cantidad de residuos origen marino	Escasos residuos de origen marino y humano

La Guía BA (FEE, 2006) plantea que no debe haber “ningún cambio anormal”, mientras que la NC-22:1999 expone que las aguas “no estarán afectadas por ningún color ajeno a sus características naturales”. En todas las playas, excepto Buena Ventura, se presenta una coloración entre verde y azul, en dependencia del tipo de fondo, las partículas en suspensión o la incidencia de la luz. En la playa Buena Ventura, se observó una coloración carmelita (Fig.15) debido a la descomposición de la vegetación y materia orgánica que proviene de los arrastres del ecosistema ciénaga ricos en sustancias como taninos, ligninas, ácidos húmicos y otras que pueden dar una coloración al agua. . Estas características se acentúan en la época de lluvia donde las escorrentías son mayores.



**Figura 16: Playa Buena Ventura. Fuente: AQUA (2011)**

La Guía BA de FEE (2006) exige una transparencia mayor de 1 m. En todas las playas excepto en El Tennis la transparencia es mayor de 1 m. La transparencia del agua puede ser menor en zona de poca profundidad y en presencia de fuerte oleaje donde esta disminuye debido a la suspensión temporal de partículas de arena fina como en el caso de la playa Descanso (Fig.16).



**Figura 17: Playa Descanso. Fuente: AQUA (2011)**

Los residuos sólidos flotantes de origen humano solo se encuentran presentes durante la temporada de verano puesto que hay mayor afluencia de bañistas aunque puede encontrarse en invierno debido a los arrastres marinos. La NC-22:1999 expone que en los lugares de baño “no se permitirá la presencia de sólidos flotantes”.

En la época de verano es frecuente encontrar residuos sólidos humanos en la arena, aunque estos son recogidos con cierta periodicidad por los servicios de limpieza. Las cantidades máximas de residuos sólidos de origen marino (Fig.17) se encuentran en la época seca que corresponde con la temporada invernal.



Figura 18: Playa Faro Maya. Fuente: CITMA (2011)

La Guía BA (FEE, 2006) requiere que no existan olores ni películas de grasas o sustancias oleosas en la superficie del agua o en la arena y la NC-22:1999 plantea que “no podrán ser detectados como una película visible en la superficie del agua y no formarán depósitos de lodo aceitoso en la costa, ribera o en el fondo del área de baño”. Ninguna de estas situaciones se presentaron durante los muestreos en el periodo evaluado.

### 6.3.2. Resultados de los parámetros físicos-químicos

#### 6.3.2.1. Temperatura

El gráfico 1 muestra la evolución de la media de las temperaturas en todos los años de monitoreo. Se puede observar que **las temperaturas mínimas** se encuentran en el año 2008. Esto es debido a que los meses en los que se realizaron los muestreos corresponden mayoritariamente a la época de invierno.

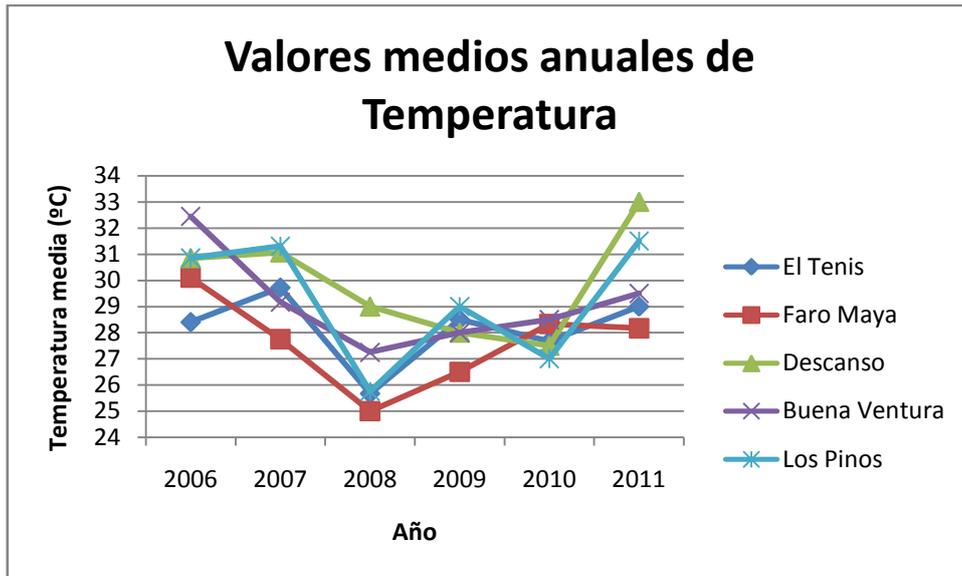


Gráfico 1: Evolución de la temperatura entre los años 2006-2011. Fuente: AQUA (2011)

La playa Faro Maya presenta, en la mayor parte de los años, unos valores medios anuales inferiores al resto de playas estudiadas.

En el gráfico 2 se pueden observar las temperaturas medias en cada una de las playas. El valor más elevado corresponde a la playa Descanso puesto que se encuentra dentro de la bahía y no recibe aportes de agua exteriores. Por otro lado el valor mínimo corresponde a la playa Faro Maya localizada en el exterior de la bahía de Matanzas.

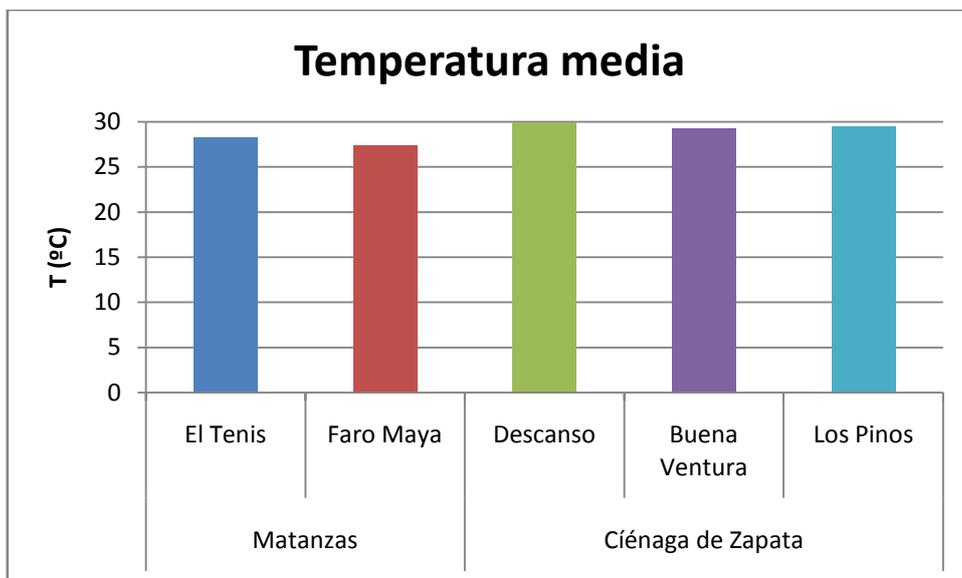


Gráfico 2: Temperatura media de los años 2006-2011. Fuente: AQUA (2011)

La NC no contempla este indicador pero en el ranqueo de playas propuesto por Leatherman (1991) se le da el valor máximo a las temperaturas que no sobrepasen los 29,5°C y en el documento Guidelines for Canadian Recreational Water Quality (MASC, 1992) se recomienda un límite máximo de 30°C. Ninguna de las playas, excepto Descanso, sobrepasaron estos límites, no obstante, durante el verano, especialmente en zonas cercanas a la orilla, enmarcadas por bancos de arena, pueden existir temperaturas mayores. Debe tenerse en cuenta que la temperatura del agua, en zonas muy poco profundas, varía sensiblemente con la hora del día, estado del mar y cubrimiento nuboso.

#### Análisis estadístico:

Los valores de temperatura tienen una distribución normal, por lo que es posible utilizar un análisis de variancia, ANOVA (Tab.10). A partir del análisis estadístico se puede decir que **las diferencias entre todas las playas estudiadas no son significativas** (Sig>0.05).

Tabla 7: Análisis estadístico de la temperatura. Fuente: AQUA (2011)

#### ANOVA

Temperatura (°C)					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	55.735	4	13.934	1.612	.183
Within Groups	518.565	60	8.643		
Total	574.299	64			

En el análisis estadístico entre las dos estaciones (Anexo 8.3. tab. 32) se ha observado que **no existen diferencias significativas** para el parámetro temperatura en todas las playas.

#### 6.3.2.2. Salinidad

El gráfico 3 ilustra la evolución de la salinidad a lo largo de los años de monitoreo.

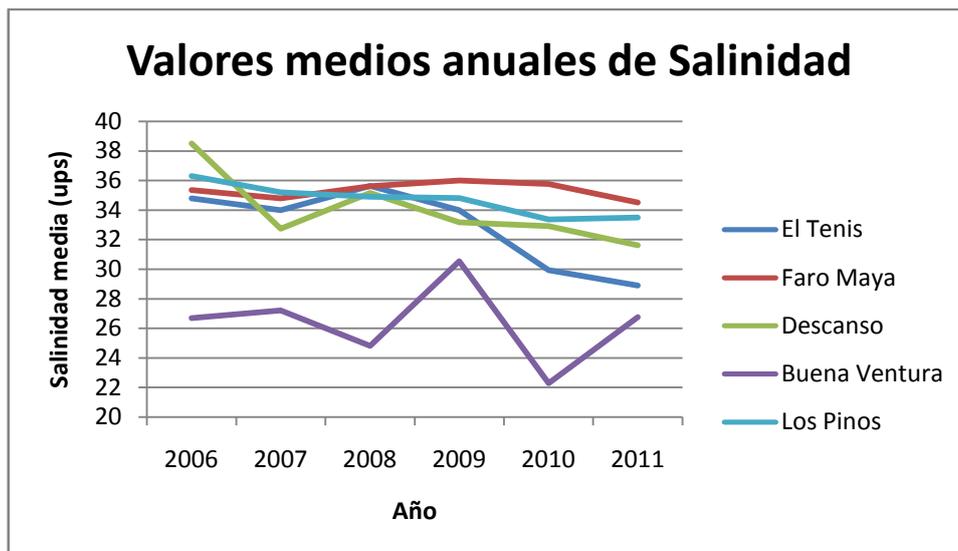


Gráfico 3: Evolución de la salinidad entre los años 2006-2011. Fuente: AQUA (2011)

La playa Buena Ventura es la que menores valores de salinidad reporta, esto se debe a los considerables aportes de agua dulce que esta playa recibe. A consecuencia de esto en el mes de septiembre del año 2010 se reportaron los valores más bajos (14.4 ups).

Las playas con valores máximos son Faro Maya y Los Pinos debido a su localización, exterior a la bahía, por el intercambio de aguas con mar abierto y la ausencia de aportes de agua dulce.

En el gráfico 4 se reportan los valores medios de salinidad de las playas analizadas.

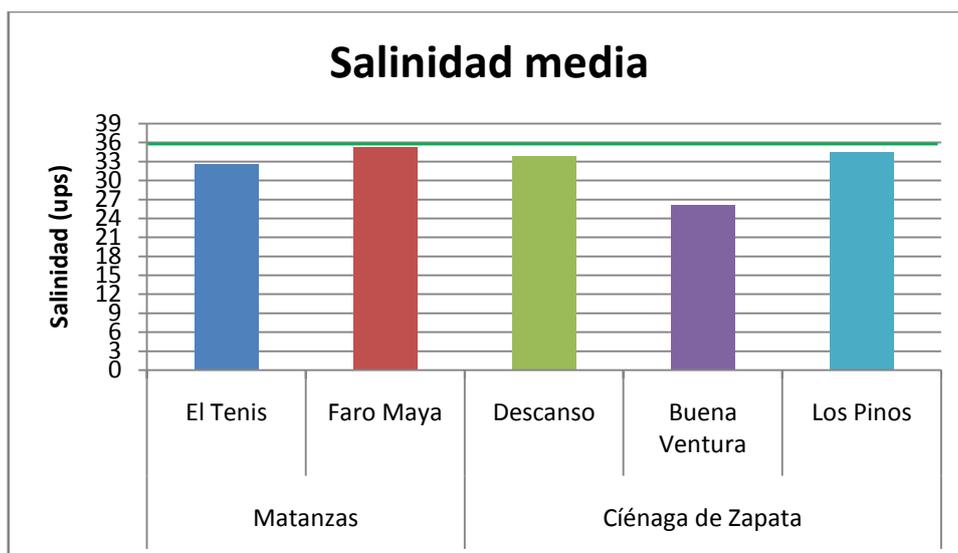


Gráfico 4: Salinidad media de los años 2006-2011. Fuente: AQUA (2011)

Como se puede observar en el gráfico **ninguno de los valores medios cumple con la NC 22:1999 (36 ups)**, aún así Faro Maya presenta un valor próximo al mínimo requerido por la legislación.

En la bahía de Matanzas la playa Faro Maya, presenta un valor de salinidad medio más elevado que la playa El Tenis. Esta diferencia puede ser atribuida al contacto con mar abierto de la playa Faro Maya.

La salinidad en la zona de la Ciénaga de Zapata aumenta a medida que los puntos de muestreo se alejan de la parte más estrecha de la bahía de Cochinos. Esto se debe a que:

- Hacia la parte interior de la bahía de Cochinos se produce la mayor descarga de las aguas dulces provenientes de la cuenca Sur de Zapata a través del canal de Soplillar y de escurrimientos subterráneos, por lo que la salinidad disminuye.
- En la zona más estrecha e interna de la bahía las corrientes son mínimas y la turbulencia escasa, lo cual no permite una renovación constante de las aguas dulces con las saladas.

En el gráfico 4 se observa lo antes mencionado, la playa Buena Ventura es la que presenta un valor más bajo, pues se encuentra dentro de la bahía de Cochinos y recibe el aporte directo de agua dulce a través de los sistemas de drenaje de la ciénaga.

Dentro de los rangos de clasificación de las aguas según la salinidad, las playas El Tenis, Descanso y Los Pinos corresponden a un agua con características mixohalinas (30,5-35 ups). La playa Buena Ventura con rango de agua hipohalina (<30,4 ups) y la playa Faro Maya halina.

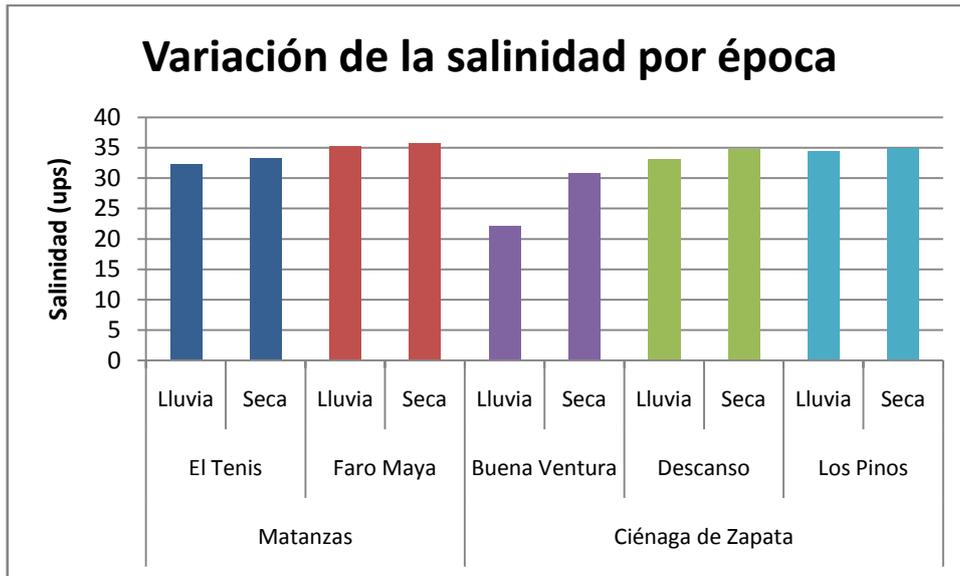


Gráfico 5: Variación de la salinidad por época de los años 2006-2011. Fuente: AQUA (2011)

En el gráfico 5 se puede observar que existe una relación entre la época y la salinidad presente en el agua. En la época de lluvia este parámetro disminuye, esto puede ser debido a que hay mayores aportes de agua dulce al mar.

Análisis estadístico:

Puesto que los valores de salinidad no siguen una distribución normal es necesario aplicar la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis (Tab.11). Como la Sig<0.05 se puede afirmar que **existen diferencias significativas** entre las distintas playas.

Tabla 8: Análisis estadístico de la salinidad. Fuente: AQUA (2011)

	Salinidad (ups)
Chi-Square	21.184
df	4
Asy mp. Sig.	.000

a. Kruskal Wallis Test

b. Grouping Variable: Playa

En el análisis estadístico del gráfico 5 se observa que las diferencias entre épocas (lluvia y seca) por cada una de las playas no son significativas (Anexo 8.3. tab. 32).

### 6.3.2.3. pH

En el gráfico 6 se muestra la evolución de pH a lo largo de los años de monitoreo.

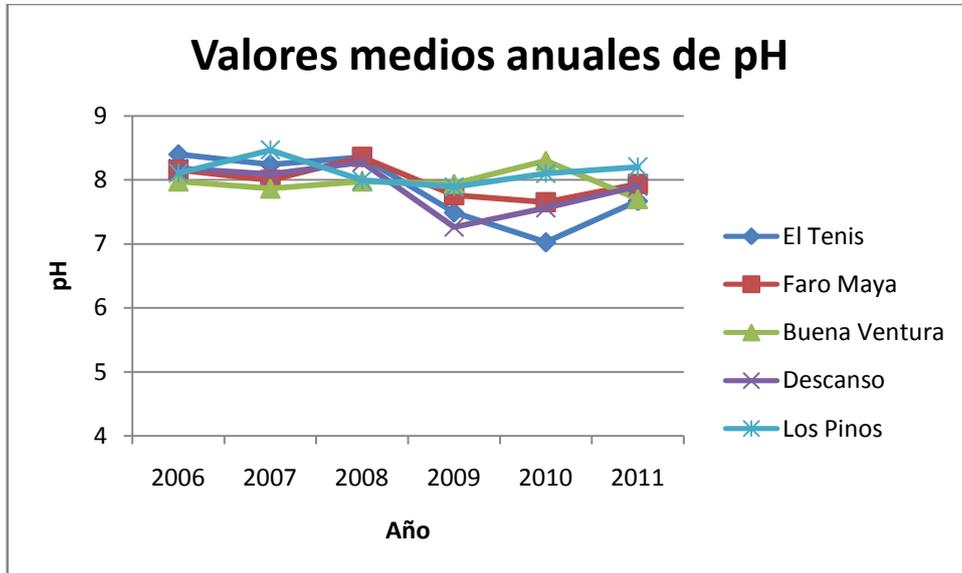
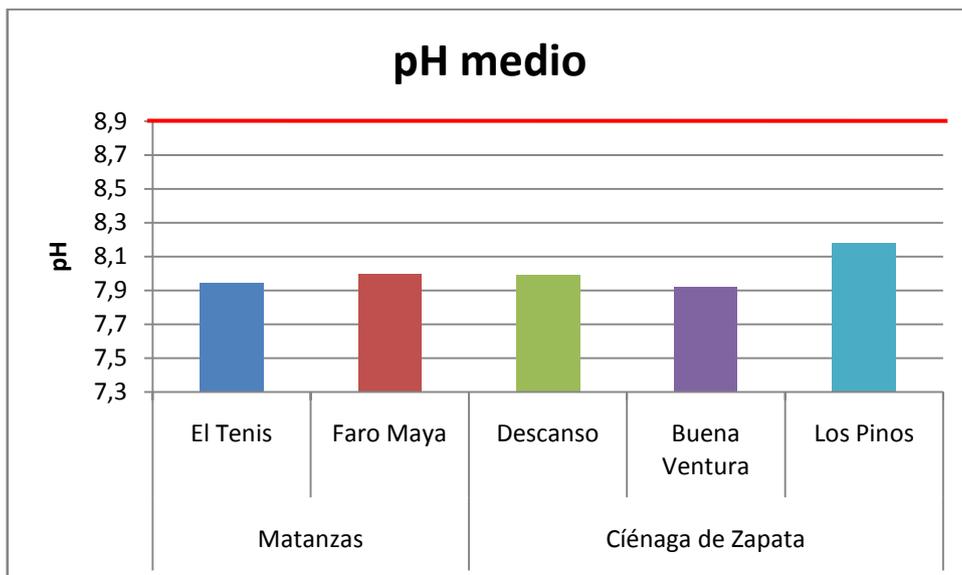


Gráfico 6: Evolución del pH entre los años 2006-2011. Fuente: AQUA (2011)

Todas las playas siguen, aproximadamente, una misma tendencia. Encontrado todos los valores medios dentro del rango 7 – 8,5.

En el gráfico 7 se muestran los valores medios de pH por playas.



— Indica el valor máximo permitido por la NC 22:1999

Gráfico 7: pH medio de los años 2006-2011. Fuente: AQUA (2011)

Como se observa en el gráfico **todas las playas se encuentran dentro del rango exigido (6,1 – 8,9)** por la NC 22:1999.

Dentro de la bahía de Matanzas, la playa Faro Maya, presenta un valor medio superior y en la Ciénaga de Zapata este valor corresponde a la playa Los Pinos. Puede ser debido a la poca influencia que reciben estas playas de aportes de agua dulce.

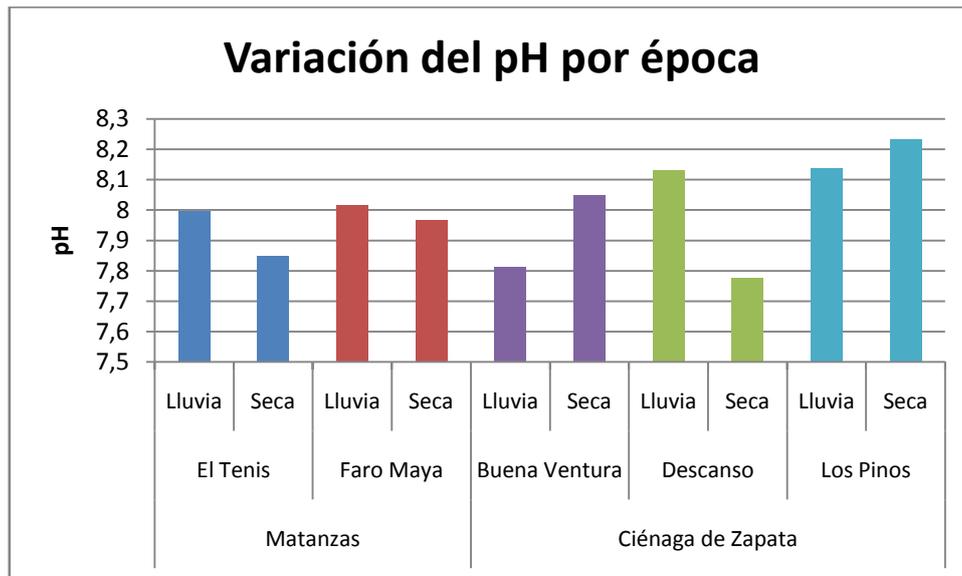


Gráfico 8: Variación del pH por época de los años 2006-2011. Fuente: AQUA (2011)

En el gráfico 8 se puede observar la variación del pH en función de la época (lluvia o seca).

#### Análisis estadístico:

En la tabla 12 se puede observar que **no existen diferencias significativas** ( $\text{sig} > 0.05$ ) entre los distintos valores medios de pH por playa.

Tabla 9: Análisis estadístico del Ph. Fuente: AQUA (2011)

#### ANOVA

pH					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.398	4	.099	.733	.573
Within Groups	7.728	57	.136		
Total	8.126	61			

A partir del análisis estadístico del gráfico 8 se puede determinar que la única playa que presenta **diferencias, aunque poco significativas**, entre las distintas estaciones es la playa Buena Ventura (Anexo 8.3. tab. 32).

#### 6.3.2.4. Oxígeno disuelto

La SO es un parámetro que depende de la temperatura, OD (mg/L) y salinidad en el momento del muestreo.

En el gráfico 9 se puede apreciar la evolución del porcentaje de SO a lo largo de los años de monitoreo

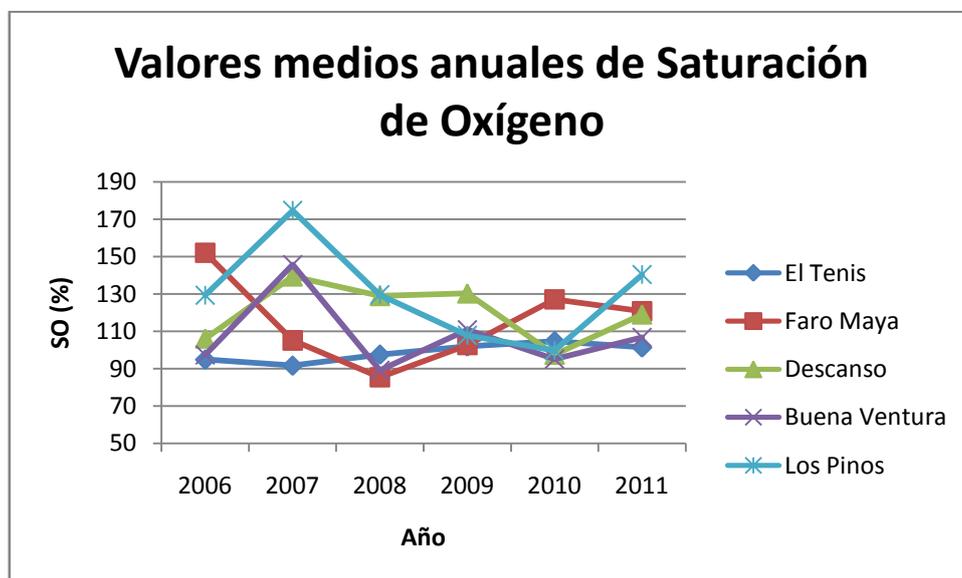
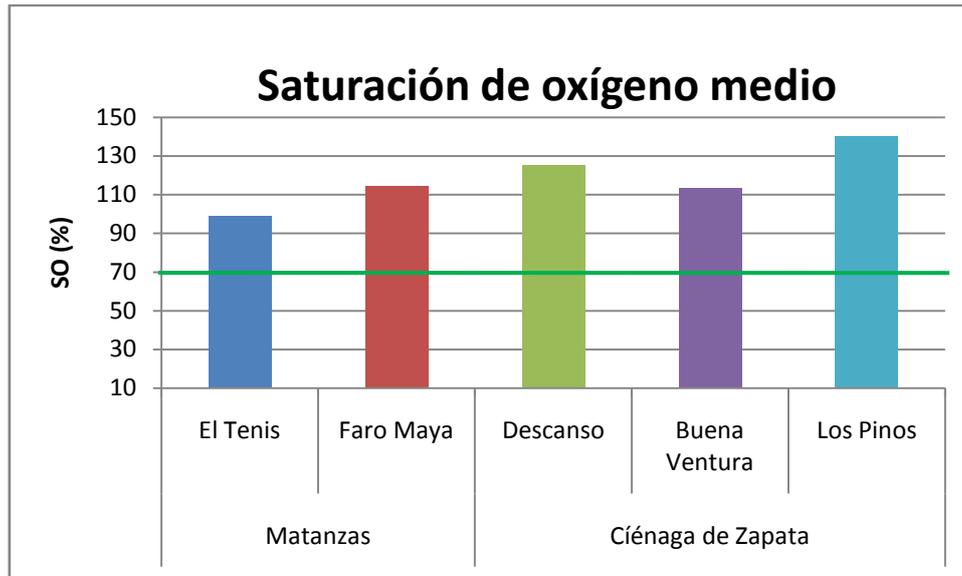


Gráfico 9: Evolución de la saturación de oxígeno entre los años 2006-2011. Fuente: AQUA (2011)

En todas las playas, excepto El Tennis, presentan valores de sobresaturación de oxígeno (>100%). En las playas de la Ciénaga de Zapata los valores medios máximos se dan en el año 2007.

Todos los valores anuales de SO corresponden a una concentración de OD superior a los 5 mg/L, valor mínimo para el desarrollo de la biota acuática.

En el gráfico 10 se muestran los valores medios de las playas de ambos municipios.



**Gráfico 10: Saturación de oxígeno media de los años 2006-2011. Fuente: AQUA (2011)**

Como se puede observar en el gráfico todas las playas cumplen con la NC.

La playa Faro Maya en el municipio de Matanzas y la playa Los Pinos en el municipio de la Ciénaga de Zapata son las que presentan un valor mayor de oxígeno OD. Puede ser debido al rompiente de olas que provoca la alta oxigenación del agua al pasar. Además estas playas tienen presencia de pasto marino que es productor de oxígeno.

En Matanzas, la playa El Tennis, es la que presenta un valor inferior de OD. Las descargas residuales de origen humano e industrial a la bahía y los aportes de los ríos ejercen una fuerte presión en la playa.

De las playas de la ciénaga, la playa Buena Ventura es la que tiene menor concentración de OD puede ser debido a los aportes de materia orgánica por la afluencia de aguas por estas vías o a la acumulación de materia orgánica de origen marino.

Se encontraron **valores de sobresaturación de oxígeno en todas las playas**, probablemente asociado con la actividad fotosintética del fitoplancton asociados a las horas más soleadas del día.

#### Análisis estadístico:

Como se reporta en la tabla 13, **no existen diferencias significativas** ( $\text{sig} > 0,05$ ) entre los diferentes valores de OD.

Tabla 10: Análisis estadístico del OD. Fuente: AQUA (2011)

ANOVA

Oxígeno Disuelto (mg/L)					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	21.540	4	5.385	1.972	.110
Within Groups	166.599	61	2.731		
Total	188.139	65			

En el análisis estadístico (Anexo 8.3. tab. 33) entre las dos estaciones se ha observado que **no existen diferencias significativas** para el parámetro OD en todas las playas.

### 6.3.2.5. Demanda bioquímica de oxígeno

En el gráfico 11 se muestra la evolución de la DBO media durante el período 2006 – 2011.

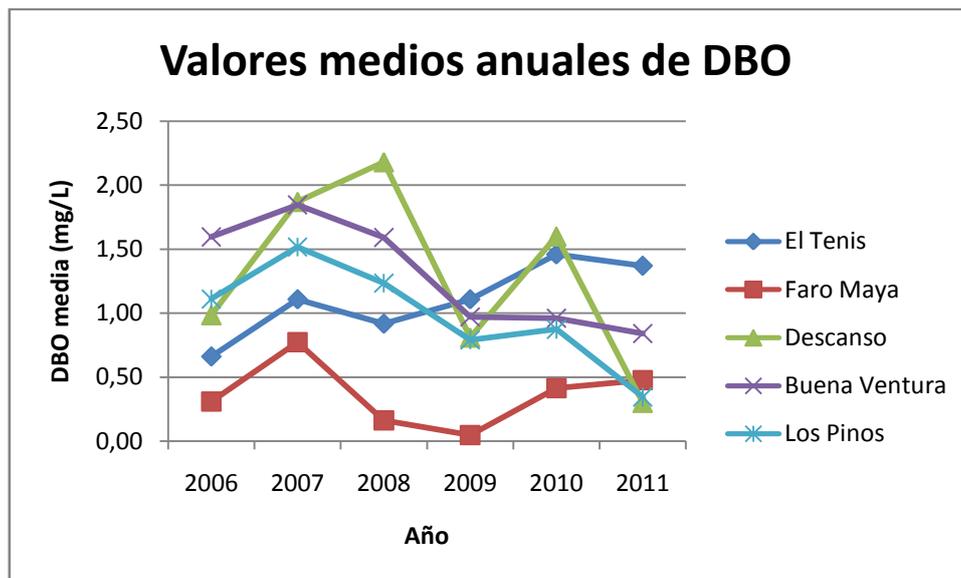


Gráfico 11: Evolución de la DBO entre los años 2006-2011. Fuente: AQUA (2011)

La playa Faro Maya en el municipio de Matanzas y la playa Los Pinos en la Ciénaga de Zapata son las que presentan los valores medios mínimos de dichas localidades. Faro Maya es la que presenta los valores más bajos debido a un intercambio intenso de las aguas con mar abierto y a la fácil degradación de la materia orgánica presente.

El gráfico 12 muestra las medias de cada una de las playas para el parámetro de la DBO.

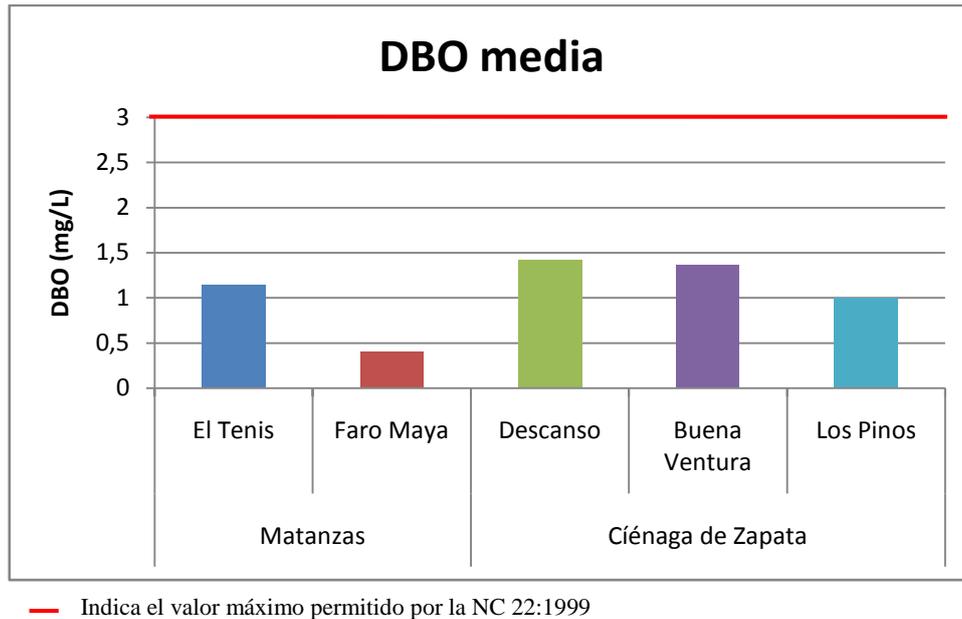
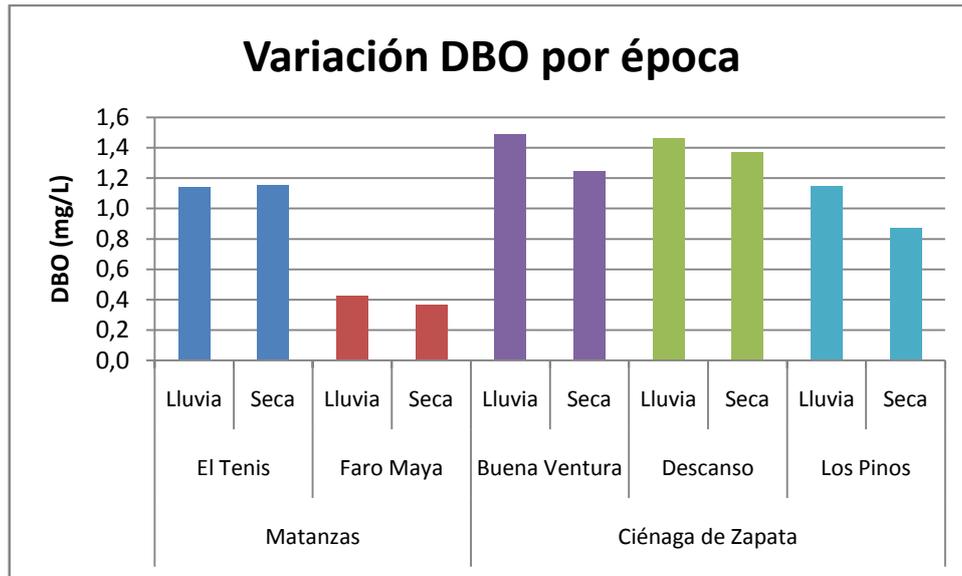


Gráfico 12: DBO media de los años 2006-2011. Fuente: AQUA (2011)

La DBO se mantuvo a niveles muy bajos en todas las playas, alejados de los 3 mg/ L que establece la NC-22:1999. Esto significa que **la materia orgánica de naturaleza fácilmente biodegradable no es abundante** y coincide con los resultados de Regadera y col. (2009) quienes asocian estos bajos niveles de DBO con la probable poca abundancia de organismos planctónicos, cuya respiración influye decisivamente en la DBO.

Los resultados de la DBO concuerdan con los valores del OD. La playa con mayor OD es la playa que presenta una menor DBO.

La DBO, es un indicador de la proporción de materia orgánica de naturaleza fácilmente biodegradable, la mayor tasa de degradación ocurre en verano como consecuencia de un incremento de la actividad microbológica al aumentar la temperatura (Lansing, 1994 citado por Montalvo, 2000).



**Gráfico 13: Variación de la DBO por época de los años 2006-2011. Fuente: AQUA (2011)**

A excepción de la playa El Tenis, todas presentan una mayor media de DBO durante la época de lluvia (Gráf.10). Esto puede ser debido a que las playas reciben mayores aportes de materia orgánica durante esta época.

#### Análisis estadístico:

Según los resultados del análisis estadístico (Tab.14) **existen diferencias significativas** entre los valores medios de DBO.

**Tabla 11: Análisis estadístico de la DBO. Fuente: AQUA (2011)**

**ANOVA**

Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO (mg/L)

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	8.683	4	2.171	6.400	.000
Within Groups	19.334	57	.339		
Total	28.017	61			

A partir del análisis estadístico realizado con los datos del gráfico 13 se puede afirmar que las diferencias que se observan entre estaciones no son significativas (Anexo 8.3. tab. 33).

### 6.3.2.6. Demanda química de oxígeno

En el gráfico 14 se pueden observar la evolución de la DQO media anual.

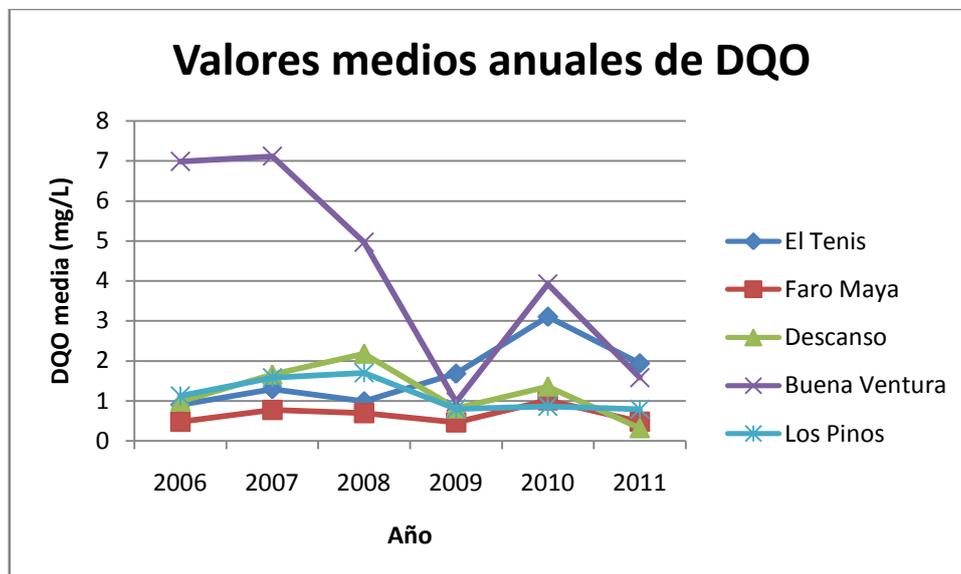
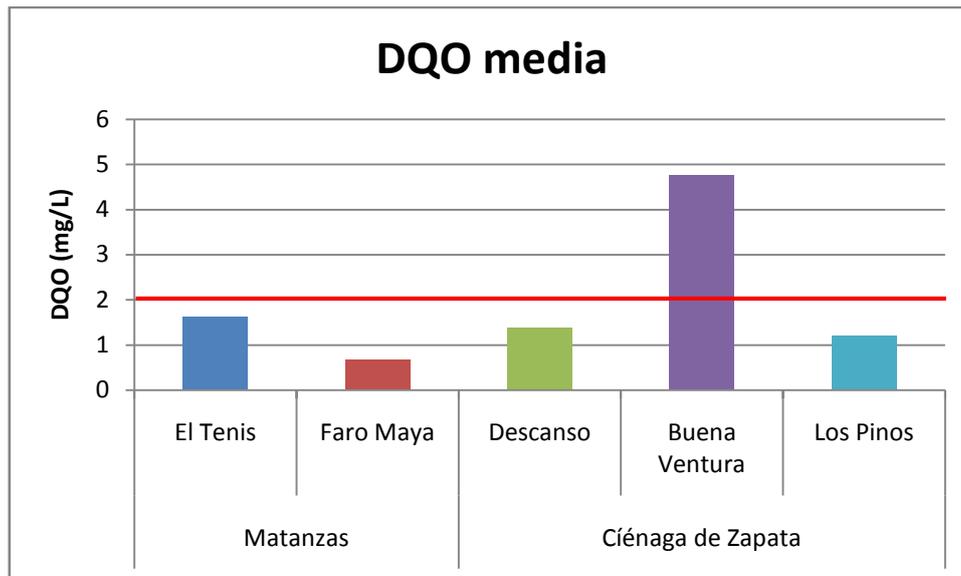


Gráfico 14: Evolución de la DQO entre los años 2006-2011. Fuente: AQUA (2011)

Todas las playas presentan unos valores de DQO medios anuales dentro del rango de 0,32 – 3 mg/L excepto la playa Buena Ventura. Dicha playa presenta un valor muy elevado en los años 2006 y 2007.

El gráfico 15 representa los valores medios del parámetro DQO en función de las distintas playas estudiadas.



— Indica el valor máximo permitido por la NC 22:1999

Gráfico 15: DQO media de los años 2006-2011. Fuente: AQUA (2011)

Como se observa en el gráfico la única playa que supera el límite de la NC 22:1999 es la playa Buena Ventura.

La implicación de una alta DQO es la disminución de los niveles de OD. Aunque las determinaciones de OD en la zona fueron elevados ( $>5$  mg/L), debe tenerse en cuenta que el OD presenta fluctuaciones significativas en el ciclo diario, pues los organismos fotosintetizadores (incluyendo al fitoplancton), producen y consumen oxígeno durante el día y por la noche sólo lo consumen, por lo que el OD puede descender significativamente.

El resultado de la playa El Tennis puede ser debido a que el permanganato, usado en el análisis de este parámetro, oxida en menor medida productos proteicos y no oxida los detergentes. Por lo que **no toda la materia orgánica presente en el agua de El Tennis puede ser degradada y cuantificada por este método**. Por otra parte en la playa Buena Ventura una mayor fracción de la materia orgánica es degradada, a pesar de que esta playa recibe aportes de materia orgánica ricos en sustancias con cierto grado de refractabilidad.

#### Análisis estadístico:

A partir de los resultados estadísticos (Tab.15) se puede afirmar que **existen diferencias significativas** para este parámetro en las distintas playas.

Tabla 12: Análisis estadístico de la DQO. Fuente: AQUA (2011)

Test Statistics <sup>a,b</sup>	
	Demanda Química de Oxígeno DQO (mg/L)
Chi-Square	23.469
df	4
Asymp. Sig.	.000

a. Kruskal Wallis Test

b. Grouping Variable: Playa

En el análisis estadístico (Anexo 8.3. tab. 33) entre las dos estaciones se ha observado que **no existen diferencias significativas** para el parámetro DQO en todas las playas.

### 6.3.2.7. Grado de biodegradabilidad

El gráfico 16 muestra los valores anuales medios del GB.

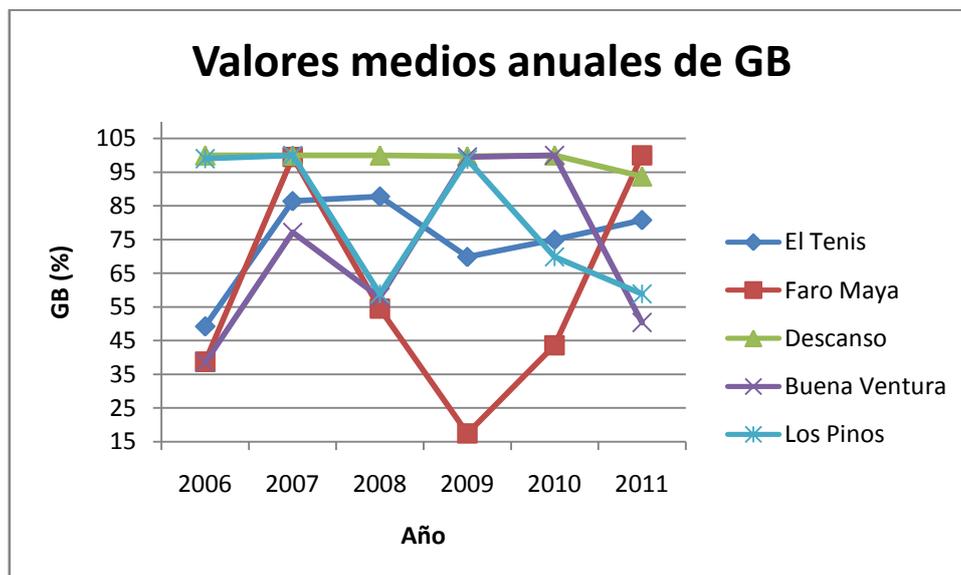


Gráfico 16: Evolución del GB entre los años 2006-2011. Fuente: AQUA (2011)

Existe una gran variabilidad en todas las playas a lo largo de los años de estudio a excepción de la playa Descanso.

El gráfico 17 ilustra el GB medio de las distintas playas.

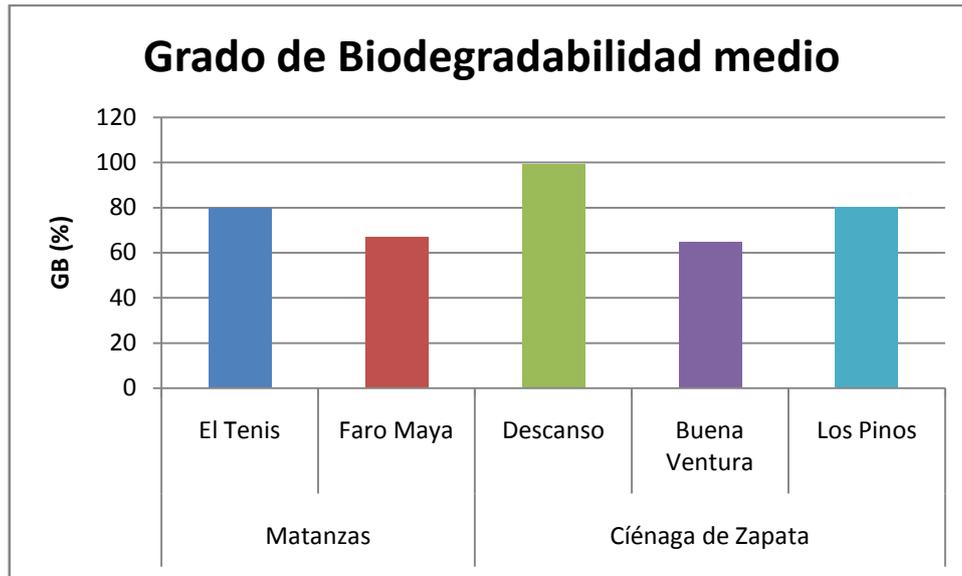


Gráfico 17: GB medio de los años 2006-2011. Fuente: AQUA (2011)

Todas las playas estudiadas presentan un GB medio superior al 50%. Este parámetro indica que **el origen de la materia orgánica es autóctono**, lo cual permitirá un mayor poder de autodepuración del agua y degradación de la materia.

La materia orgánica proveniente del interior de la Ciénaga de Zapata presenta un cierto grado de refractabilidad a las oxidaciones biológicas como taninos, celulosa, hemicelulosa entre otros. Esto explica el bajo GB de la playa Buena Ventura.

#### Análisis estadístico:

A partir de la tabla 16 se puede decir que **no existen diferencias significativas** entre los valores de GB. Si que **existen diferencias significativas** para una sig. de 0.1

Tabla 13: Análisis estadístico del GB. Fuente: AQUA (2011)

Test Statistics <sup>a,b</sup>	
	Grado de Biodegradabilidad (%)
Chi-Square	8.942
df	4
Asymp. Sig.	.063

a. Kruskal Wallis Test

b. Grouping Variable: Playa

En el análisis estadístico entre las dos estaciones se ha observado que **no existen diferencias significativas** para el parámetro GB en todas las playas (Anexo 8.3. tab. 33).

### 6.3.2.8. Fósforo inorgánico

En el gráfico 18 se puede observar la evolución de la concentración de fósforo inorgánico presente en las playas a lo largo de los años.

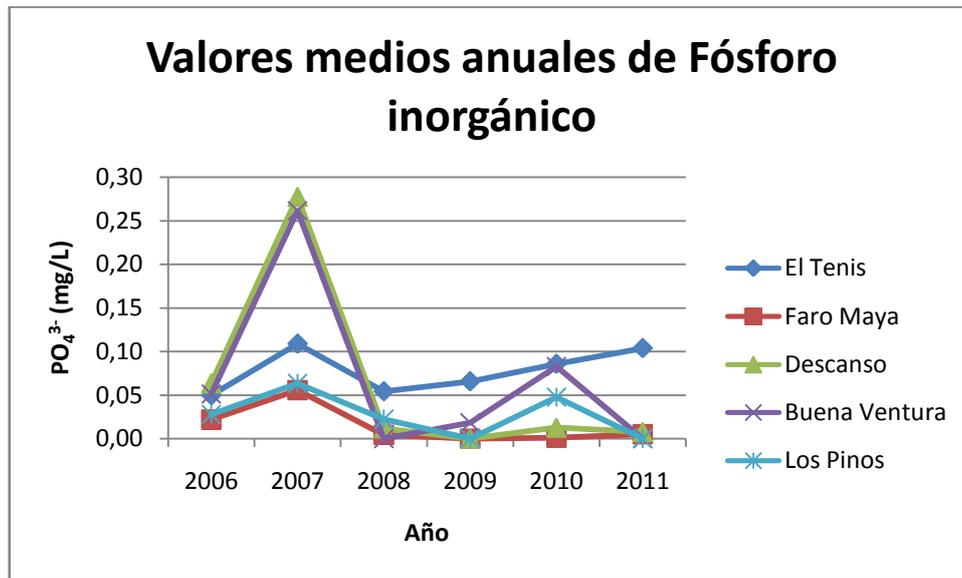


Gráfico 18: Evolución del PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> entre los años 2006-2011. Fuente: AQUA (2011)

Los valores máximos del gráfico se localizan en las playas Descanso y Buena Ventura en el año 2007. Estos valores están influenciados por el muestreo realizado durante el mes de julio ( $PO_4^{3-} > 0,25$  mg/L). Este valor puede ser debido a una **gran cantidad de materia orgánica en la columna de agua**, además el muestreo del año 2007 está influenciado por la época de lluvia (dos muestreos en lluvia y uno en seca). Cabe remarcar que es un hecho puntal, no sigue la tendencia de los otros años.

Las playas Faro Maya y Los Pinos presentan concentraciones pobres de este parámetro en la columna de agua. Debido a la **poca influencia de las aguas residuales y aguas de escorrentías del ecosistema ciénaga** respectivamente. También influye la ubicación geográfica de estas playas que permite una mayor dilución de los nutrientes con mar abierto.

La playa El Tennis, por lo general, es la que presenta valores medios más elevados. Puede ser debido a que la situación geográfica de la playa limita el intercambio de aguas con la consiguiente dilución. También recibe un aporte continuo de fósforo inorgánico debido a los aportes de aguas residuales a la bahía que hace que la concentración de este medio anual permanezca casi constante.

En el gráfico 19 se muestran los valores medios de fósforo inorgánico de las distintas playas.

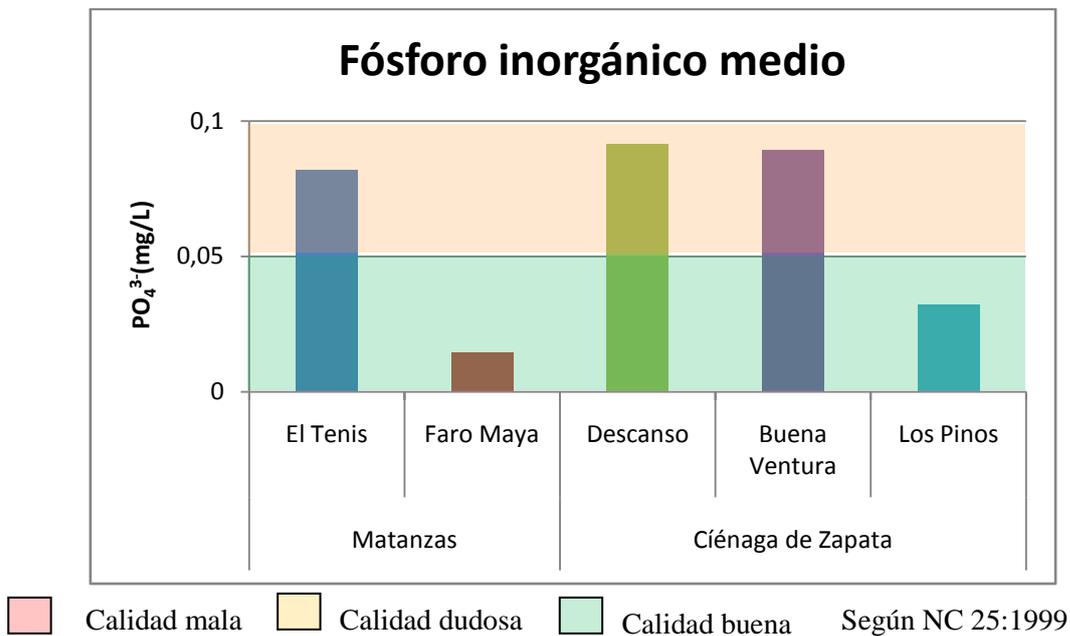


Gráfico 19:  $PO_4^{3-}$  medio de los años 2006-2011. Fuente: AQUA (2011)

Las playas El Tennis, Descanso y Buena Ventura presentan una calidad dudosa y las playas Faro Maya y Los Pinos una calidad buena según la NC 25:1999.

El fósforo inorgánico tiene el mismo comportamiento en las dos bahías, encontrando los valores máximos en la zona más interna de la bahía y los mínimos en el exterior.

Aunque la playa El Tennis recibe una fuerte presión antrópica, la playa Buena Ventura, es la que presenta el valor medio más elevado. Puede ser debido a que los aportes de materia orgánica y nutrientes provenientes de la ciénaga tienen mayor importancia en este parámetro que los de origen urbano.

Análisis estadístico:

A partir de la tabla 17 se puede ver que **existen diferencias muy significativas**, incluso cuando se usa una sig. de 0.01.

Tabla 14: Análisis estadístico del  $\text{PO}_4^{3-}$ . Fuente: AQUA (2011)

Test Statistics <sup>a,b</sup>	
	Fósforo Inorgánico $\text{PO}_4$ ( $\mu\text{M/L}$ )
Chi-Square	14.765
df	4
Asymp. Sig.	.005

a. Kruskal Wallis Test

b. Grouping Variable: Playa

En el análisis estadístico (Anexo 8.3. tab. 34) entre las dos estaciones se ha observado que **no existen diferencias significativas** para el parámetro fósforo inorgánico en todas las playas.

**6.3.2.9. Fósforo total**

En el gráfico 20 son representados los valores medios anuales de  $P_T$  en las playas.

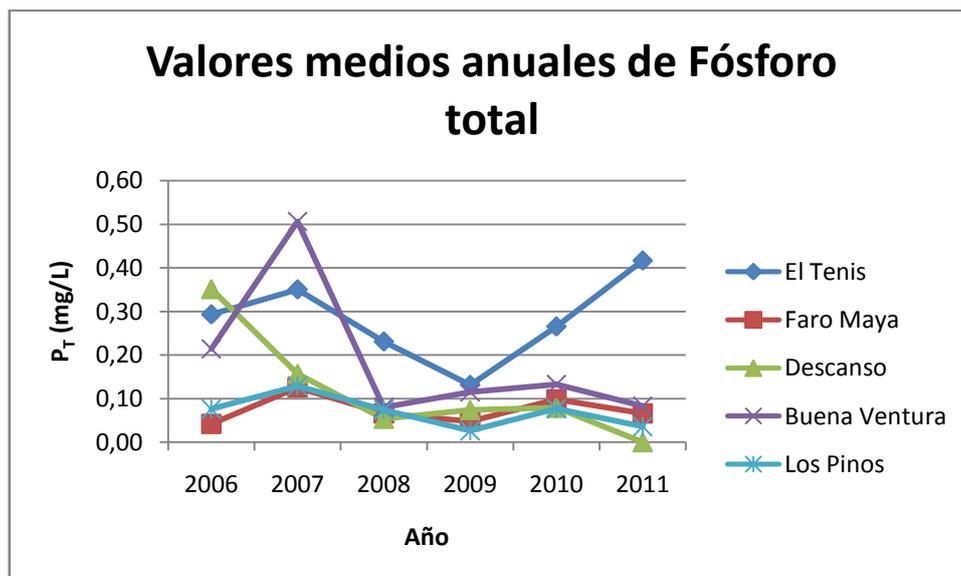


Gráfico 20: Evolución del  $P_T$  entre los años 2006-2011. Fuente: AQUA (2011)

Las playas Faro Maya y Los Pinos tienen un comportamiento similar, esto puede ser debido a que ambas tienen la misma situación (exterior de la bahía) aunque en diferente municipio.

La playa El Tennis experimenta un cambio de comportamiento respecto al fósforo inorgánico. Puede ser debido a que en dicha playa la concentración de fósforo orgánico sea más elevada.

La playa Buena Ventura tiene un comportamiento similar al del fósforo inorgánico presentando el valor máximo en el año 2007.

El gráfico 21 muestra los valores medios de  $P_T$ .

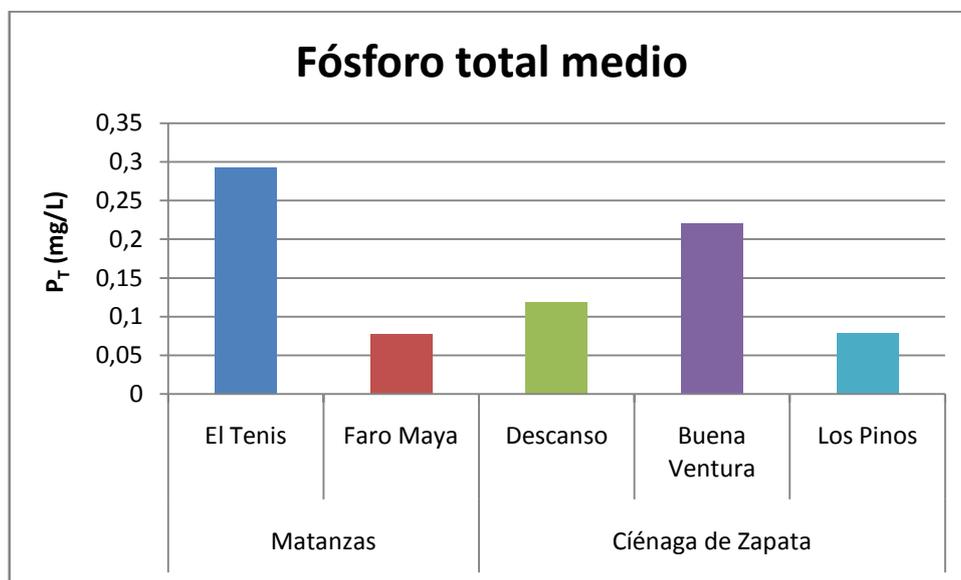


Gráfico 21:  $P_T$  medio de los años 2006-2011. Fuente: AQUA (2011)

Las concentraciones en **todas las playas estuvieron muy por debajo de los 0,775 mg/L que Plott y col. (1973) plantean como límite indicativo de eutrofia** y son típicas de aguas oligotróficas de acuerdo a las cotas establecidas por De la Lanza y Arredondo (1990), citado por Miravet y col. (2009).

Según los criterios de Wheatland y col. (1971), se considera como criterio de aguas limpias, concentraciones de  $P_T$  hasta 0,217 mg/L y aquellas que sobrepasan los 0,775 mg/L, como indicativo de aguas eutróficas. Puede observarse en el gráfico 21 que en el caso de las playas El Tennis y Buena Ventura superen el criterio de aguas limpias. El resto de las estaciones mantiene los valores por debajo de los 0,217 mg/L.

Análisis estadístico:

Según se reporta en la tabla 18 **existen diferencias significativas** entre las distintas medias por playas del parámetro  $P_T$ . Estas diferencias también se aprecian cuando se utiliza una sig. inferior a 0.05.

**Tabla 15: Análisis estadístico del  $P_T$ . Fuente: AQUA (2011)**

Test Statistics <sup>a,b</sup>	
	Fósforo Total PT ( $\mu\text{M/L}$ )
Chi-Square	27.927
df	4
Asymp. Sig.	.000

a. Kruskal Wallis Test

b. Grouping Variable: Playa

En el análisis estadístico (Anexo 8.3. tab. 34) realizado a partir de los datos de las dos estaciones por cada una de las playas se puede afirmar que solamente **existen diferencias poco significativas** entre la época de lluvia y la seca en la playa Los Pinos.

### 6.3.2.10. Nitrógeno de nitrito

Durante el monitoreo realizado a lo largo de estos años **los nitritos solo han sido encontrados en la playa El Tennis** en las fechas que se muestran en el gráfico 22. Según la NC 25:1999 en estos casos el agua presentaría una calidad dudosa (15-12-2008 y 14-07-2011) o mala.

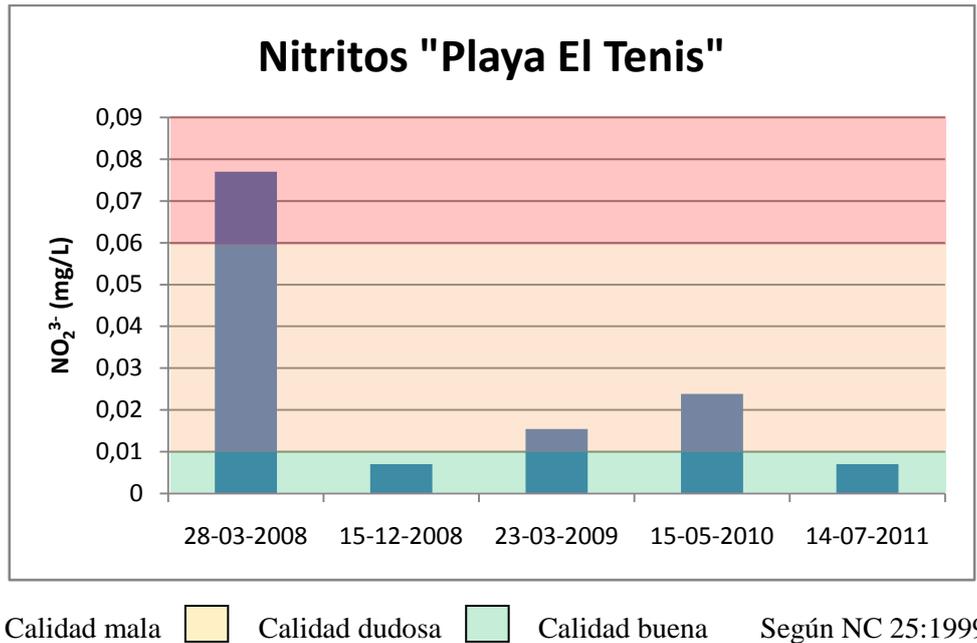


Gráfico 22: NO<sub>2</sub><sup>-</sup> de la playa El Tenis

**El nitrito es indicador de una contaminación reciente** puesto que estos son una forma de nitrógeno inorgánico que se puede definir como de transición entre los estados oxidados (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) y los reducidos (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>).

Análisis estadístico:

En el análisis estadístico (Tab.19) se puede apreciar que **existen diferencias significativas** (sig.<0,05) para los valores medios de este parámetro.

Tabla 16: Análisis estadístico de los NO<sub>2</sub><sup>-</sup>. Fuente: AQUA (2011)

	Nitrogeno de Nitritos NO2 (µM/L)
Chi-Square	14.317
df	4
Asy mp. Sig.	.006

a. Kruskal Wallis Test

b. Grouping Variable: Playa

En el análisis estadístico entre las dos estaciones se ha observado que **no existen diferencias significativas** para el parámetro nitrito (Anexo 8.3. tab. 34).

### 6.3.2.11. Nitrógeno de nitrato

En el siguiente gráfico (Gráf.23) se puede observar la evolución de la concentración de nitrato en las playas.

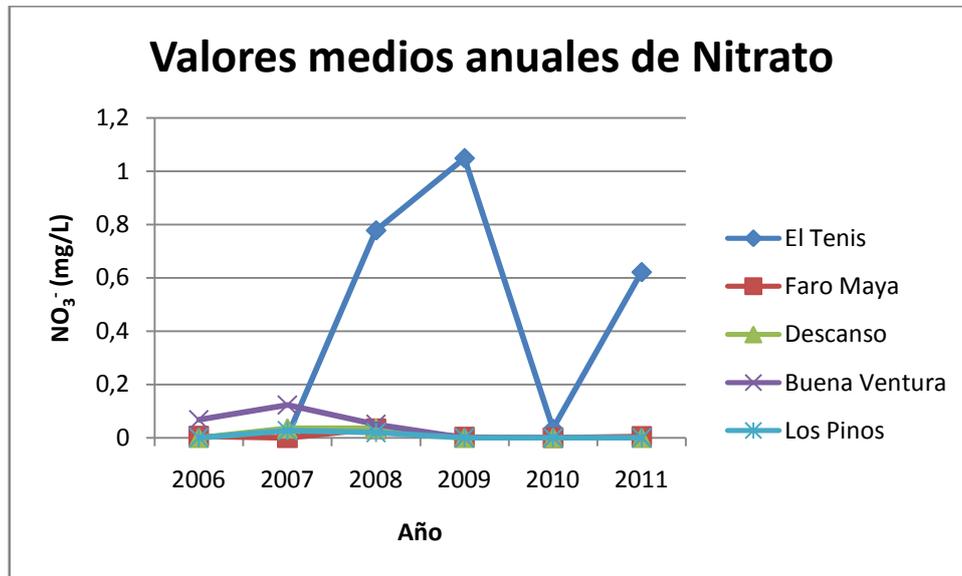
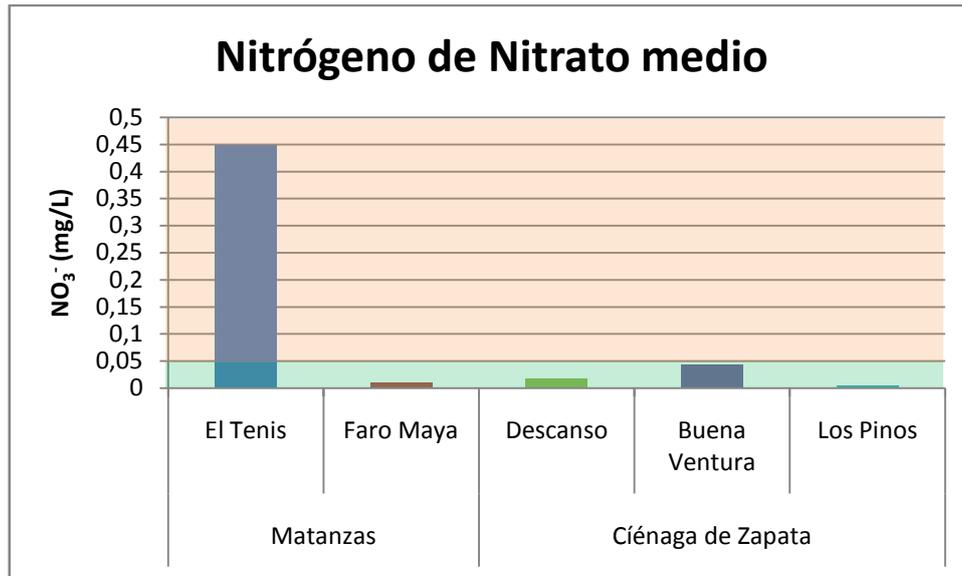


Gráfico 23: Evolución de  $\text{NO}_3^-$  entre los años 2006-2011. Fuente: AQUA (2011)

En todas las playas, excepto El Tennis, la concentración de nitrato es mínima o nula. Por lo que se refiere a la playa El Tennis se observa un aumento de la concentración en los años 2008 y 2009.

En el gráfico (Gráf.24) que se muestra a continuación se pueden observar los valores medios de nitrato de las playas de estudio.



■ Calidad mala   
 ■ Calidad dudosa   
 ■ Calidad buena   
 Según NC 25:1999

Gráfico 24:  $\text{NO}_3^-$  medio de los años 2006-2011. Fuente: AQUA (2011)

Todas las playas, excepto El Tennis que presenta una calidad dudosa, tienen una buena calidad según la NC 25:1999.

Las concentraciones de nitrato nunca superan lo reportado por Friligos (1980), que plantea que en las aguas marinas que reciben aguas albañales sin tratar la concentración de nitrato debe oscilar alrededor de los 0,7 mg/ L.

En la bahía de Matanzas la playa El Tennis es la que presenta un valor medio más elevado. El origen del nitrato es debido a las descargas residuales domésticas e industriales.

En las playas Buena Ventura y Descanso la concentración de nitrato es superior a la de la playa los Pinos debido a que en las dos primeras la circulación y renovación de las aguas es menor, por lo que hay mayor contenido de nitrato .

#### Análisis estadístico:

Como se reporta en la tabla 20 **no existen diferencias significativas** para este parámetro.

Tabla 17: Análisis estadístico de los NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Fuente: AQUA (2011)

Test Statistics <sup>a,b</sup>	
	Nitrogeno de Nitratos más nitritos NO <sub>3</sub> +NO <sub>2</sub> (μM/L)
Chi-Square	4.854
df	4
Asymp. Sig.	.303

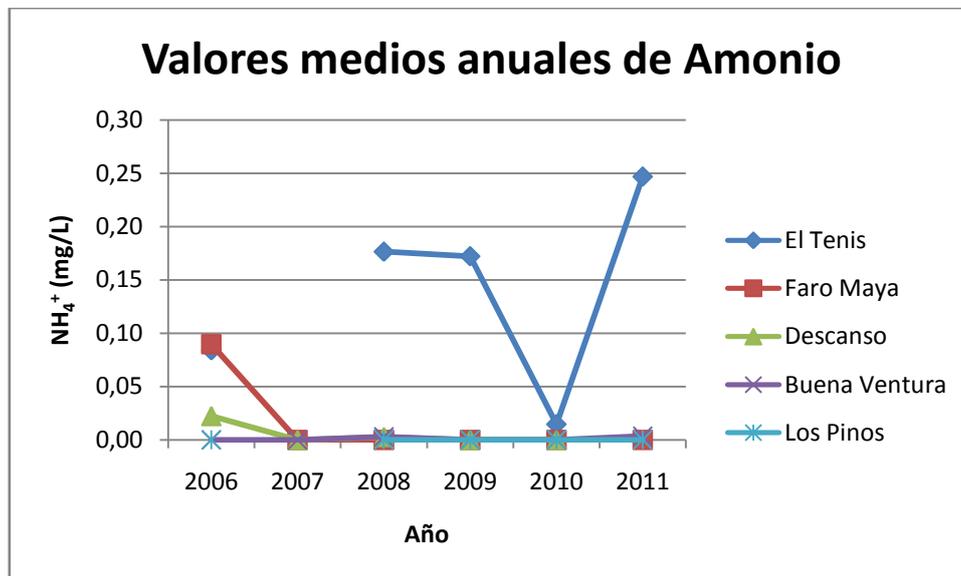
a. Kruskal Wallis Test

b. Grouping Variable: Playa

En el análisis estadístico (Anexo 8.3. tab. 34) entre las dos estaciones se ha observado que **no existen diferencias significativas** para el parámetro nitrato en todas las playas.

### 6.3.2.12. Nitrógeno de amonio

Para playa El Tennis no existen datos para el parámetro amonio en el año 2007. En el siguiente gráfico (Gráf.25) se muestran las concentraciones de este a lo largo del tiempo.

Gráfico 25: Evolución de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> entre los años 2006-2011. Fuente: AQUA (2011)

A excepción del año 2006 las playas Faro Maya, Descanso, Buena Ventura y Los Pinos presentan valores alrededor de cero. La playa El Tennis presenta concentraciones más elevadas con grandes fluctuaciones.

El gráfico 26 ilustra las distintas concentraciones de amonio en las playas.

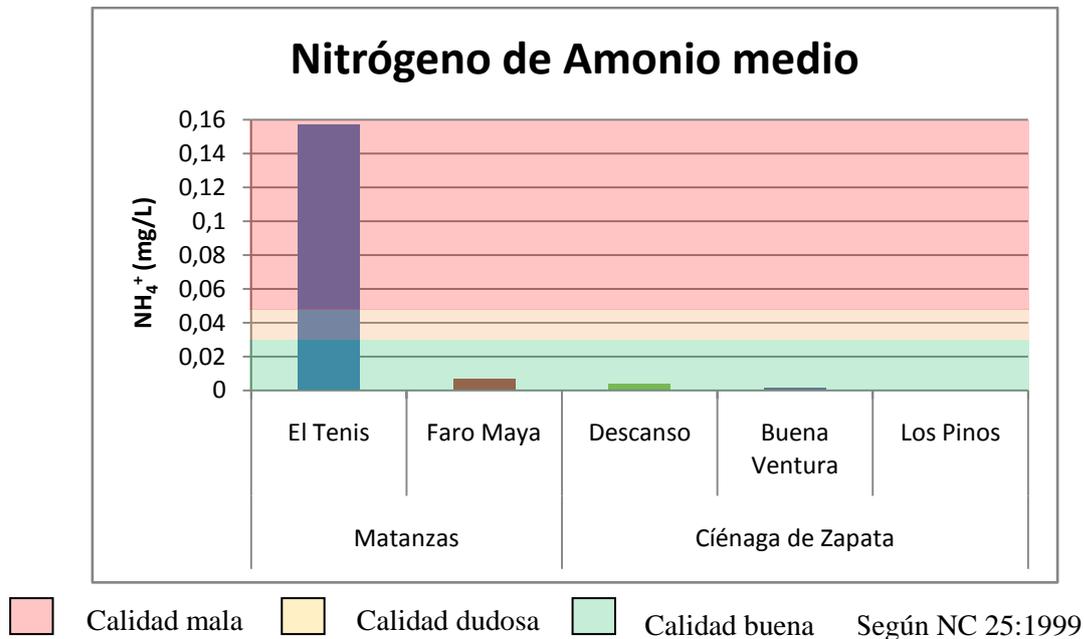


Gráfico 26:  $\text{NH}_4^+$  medio de los años 2006-2011. Fuente: AQUA (2011)

**Todas las playas tienen una calidad buena excepto El Tennis** que tiene una mala calidad según la NC 25:1999.

Las playas de la bahía de Matanzas son las que presentan los valores más altos. Dentro de estas el valor máximo corresponde a El Tennis. Estos altos valores pueden ser debidos a los aportes de aguas residuales domesticas ricas en amonio a la bahía.

La presencia de mangles en la zona y la consecuente descomposición de sus hojas por parte de pequeños organismos, así como un probable florecimiento del fitoplancton debido a los elevados niveles de nutrientes en agua, podrían explicar, en parte, las concentraciones de nitrógeno amoniaco detectadas en la playa Buena Ventura. En la playa Descanso por encontrarse dentro de la bahía de Cochinos y del ecosistema ciénaga, también se puede apreciar la influencia de los mangles.

Análisis estadístico:

Con una significación de 0,05 y también con 0,01 se puede decir que existen diferencias muy significativas de los valores medios de este parámetro (Tab.21).

**Tabla 18: Análisis estadístico NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. Fuente: AQUA (2011)**

Test Statistics <sup>a,b</sup>	
	Nitrogeno de amonio NH <sub>4</sub> (µM/L)
Chi-Square	16.495
df	4
Asymp. Sig.	.002

a. Kruskal Wallis Test

b. Grouping Variable: Playa

En el análisis estadístico entre las dos estaciones se ha observado que **no existen diferencias significativas** para el parámetro amonio en todas las playas (Anexo 8.3. tab. 34).

### 6.3.3. Resultados microbiológicos de las playas de la bahía de Matanzas

Existen tres fuentes principales de contaminación fecal humana del agua de mar para uso recreacional: desagües domésticos, descargas de ríos y otros cursos de agua, y directamente del bañista (Vergaray y col., 2007).

Es posible inferir que el origen de una posible contaminación bacteriológica en el agua se deba fundamentalmente al aporte que ocasionan los bañistas. Dicho aporte ha sido catalogado como el principal riesgo microbiológico para la salud humana por el contacto con la orina y excretas humanas, así como con el excremento animal derivado del ingreso de animales domésticos a las playas (Hurtado y col., 2009).

#### 6.3.3.1. Resultados según playa

Los análisis de la evolución de los indicadores microbiológicos solo se realizaron en las playas de la bahía de Matanzas por no presentar datos de las playas de la bahía de Cochinos.

En los gráficos 27 y 28 se reportan los valores medios anuales de CT y CF respectivamente para las playas El Tenis y Faro Maya.

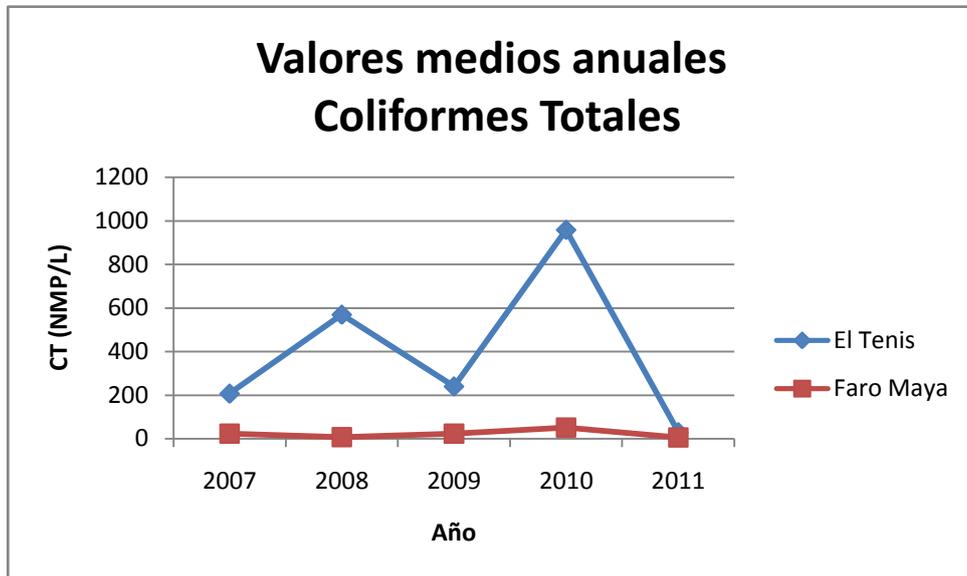


Gráfico 27: Evolución de los CT entre los años 2007-2011. Fuente: AQUA (2011)

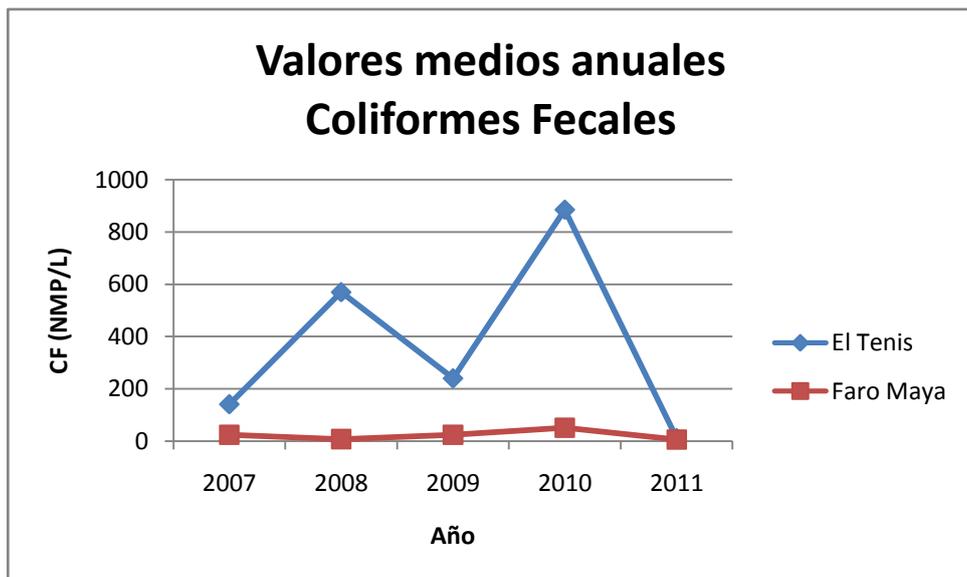


Gráfico 28: Evolución CF entre los años 2007-2011. Fuente: AQUA (2011)

Los valores medios anuales de CT y CF para ambas playas se comportan de una manera muy similar. Es válido aclarar que **en el 72% de las muestras los valores de CT coinciden con los valores de CF**, lo que demuestra que existen aportes de aguas albañales ricas en bacterias del grupo coliforme, especialmente de CF.

En la playa El Tenis se presenta una mayor variabilidad de los valores de CT y CF con respecto a la playa Faro de Maya. Los valores medios de CF superan la norma en los

años 2008, 2009 y 2010 (200NMP/100 ml), reportándose valores altos en el 2008, año donde el muestreo se realizó en el mes de diciembre, con presencia de frentes fríos, que traen consigo oleaje y resuspensión de sedimento, por lo que puede influir en la distribución de este microorganismo en el cuerpo de agua; y en el año 2010, coincidiendo con la realización de todos los muestreos en época de lluvia.

Estos valores altos de CT y fecales se corresponden con los mayores contenidos de fosfato y nitrato determinados, elementos químicos que se encuentran en grandes concentraciones en aguas albañales.

Los resultados obtenidos en la playa El Tennis concuerdan con lo expresado por Borrego y Mariño, (1995), los cuales plantean que las aguas costeras con fines recreativos como las playas, que por lo general se encuentran en las proximidades de áreas urbanas donde los vertimientos sin depurar, con altos contenidos de microorganismos patógenos (coliformes y EF) y otros agentes contaminantes, representan uno de los principales problemas sanitarios y ecológicos de las zonas costeras.

Los valores medios anuales de CT y fecales en la playa Faro Maya se han mantenido de forma muy estable en los años evaluados, encontrándose muy por debajo de lo establecido por la NC 22: 1999 (100 NMP/100ml). Estos resultados pueden deberse a su situación geográfica (ubicada en las afueras de la bahía) y a la no presencia de asentamientos urbanos.

En la tabla 22 se muestran los valores medios anuales del indicador microbiológico EF.

**Tabla 19: Valores medios anuales de los EF. Fuente: AQUA (2011)**

	Año	EF medios (NMP/L)
<b>El Tennis</b>	2007	54,5
	2008	1,5
	2009	3,0
	2010	-
	2011	250,0
<b>Faro Maya</b>	2007	0,0
	2008	0,0
	2009	3,0
	2010	-
	2011	61,0

- No hay datos

En la playa El Tenis se observa un comportamiento a través de los años evaluados muy variable sin llegar a exceder los límites exigidos por la NC 22: 1999, excepto en el año 2011, con valores de 250 NMP/100ml.

En la playa Faro Maya al igual que para los indicadores microbiológicos CT y CF, las concentraciones de EF se mantuvieron muy por debajo de lo exigido por la NC 22: 1999.

#### Análisis estadístico:

En la tabla 23 se reportan los valores obtenidos a través del análisis estadístico en los que se han comparado los valores medios de las playa El Tenis y Faro Maya.

**Tabla 20: Análisis estadístico de los CT. Fuente: AQUA (2011)**

	Sig. (2-tailed)	Mean difference
CT	0,006*	2,10427
CF	0,030*	1,66954
EF	0,722	0,45201

\*: Diferencias significativas

Los CT y CF presentan **diferencias muy significativas** (sig.<0,05) entre las playas presentando los valores más elevados en la playa El Tenis.

#### **6.3.3.2. Resultados según época**

En el gráfico 29 se observan los valores medios de los indicadores microbiológicos evaluados en los cinco años. Tanto los coliformes como los EF presentan valores más elevados en la época de lluvia, meses donde hay mayor afluencia de bañistas y mayor agua de escorrentía.

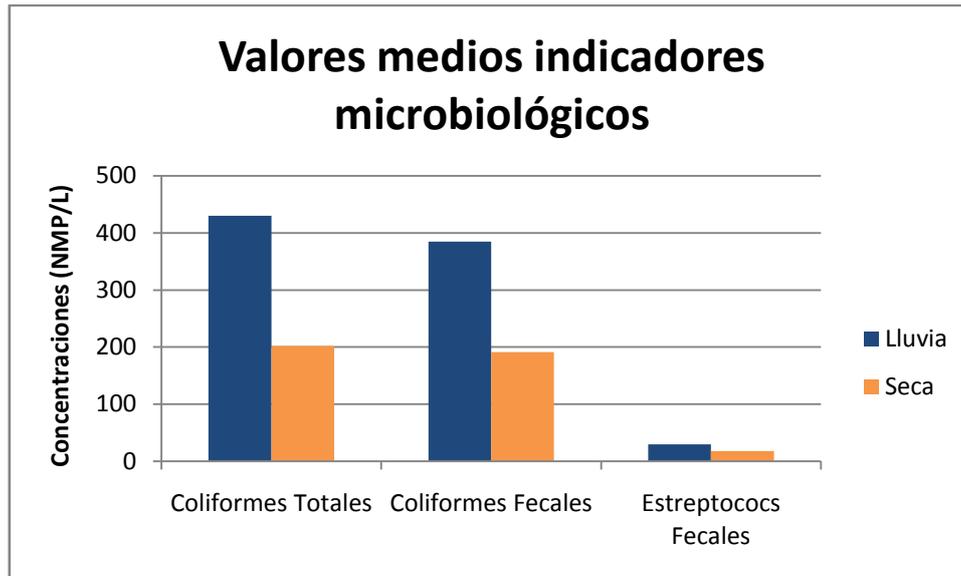


Gráfico 29: CT, CF y EF medios de los años 2007-2011. Fuente: AQUA (2011)

Las concentraciones de CF en la época de lluvia se encuentran por encima de los límites establecidos por la NC 22: 1999. No siendo así para los demás indicadores evaluados.

Estos resultados se corresponden con lo reportado por diferentes investigadores (WHO, 2000), citados por González, 2003, que indican un incremento de los indicadores bacterianos en aguas recreativas especialmente en los meses de vacaciones donde es mayor el número de usuarios en dichas aguas. Por otra parte, se ha observado que la lluvia ocasiona el agua de escorrentía que arrastra materia en suspensión, la cual contiene microorganismos autóctonos y alóctonos que pueden contaminar las aguas superficiales, y por ende las de zonas costeras con fines recreativos.

Rasmussen y col. (2003) plantean que las variaciones en las concentraciones de los indicadores bacterianos están directamente asociadas a las condiciones ambientales locales en cada etapa del monitoreo.

#### Análisis estadístico:

En el análisis estadístico realizado a los indicadores microbiológicos según época del año arrojó que **no existen diferencias significativas** entre lluvia y seca (Anexo 8.3. tab. 35). Estos resultados están condicionados por la escasez de resultados que se hallan en la base de datos.

#### 6.4. Relaciones estadísticas entre parámetros e indicadores

En la tabla 24 se reportan los resultados estadísticos de las distintas correlaciones de Pearson realizadas.

Existe una **correlación muy significativa e indirecta** ( $PC < 0$ ) **entre el parámetro salinidad y los EF**. Estos microorganismos a pesar de resistir más en aguas con salinidades altas que los coliformes no sobreviven períodos largos ya que no son autóctonos de este cuerpo de agua marino. Los resultados de nuestro trabajo se corresponden con esta afirmación, encontrándose menores concentraciones de este microorganismo en la playa Faro Maya, donde los valores de salinidad son más altos que en la playa El Tenis.

Estadísticamente se ha comprobado que existe una **correlación directa** ( $PC > 0$ ) **y muy significativa entre los parámetros pH y salinidad**.

La DBO **está correlacionada directa y muy significativamente con la DQO, CT y CF**. La DBO es una medida de la cantidad de oxígeno que necesitan los microorganismos para descomponer la materia orgánica en el agua, así que un cuerpo de agua que con niveles de DBO altos está muy contaminado y sugiere la presencia de materia orgánica (CIECE, 2006).

El **nitrito y amonio están correlacionados muy significativamente y de forma directa con el nitrato**. El amonio se encuentra frecuentemente en cuerpos de agua superficiales por varias razones: equilibrio con la atmósfera, aporte continental (deshechos urbanos e industriales) y degradación de la materia orgánica vegetal. En ambientes lagunares y estuarios el aporte de materiales orgánicos provienen fundamentalmente de manglares, fanerógamas acuáticas y algas bentónicas. La degradación de estos materiales es significativa y constante, por lo que la concentración de amonio, puede sobrepasar los límites para la calidad misma, a pesar que desde el punto de vista ecológico representa una fuente de nitrógeno para los productores primarios; sin embargo, las condiciones de confinamiento, estratificación y escasa circulación pueden llegar a ser perjudiciales a la biota acuática.

Tabla 21: Correlaciones entre parámetros e indicadores. Fuente: AQUA (2011)

	Temp.	Sal.	pH	OD	DBO	DQO	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	CT	CF	EF
Temperatura	PC	-0,118	0,128	ND	0,134	ND	ND	ND	ND	-0,15	-0,131	0,296
	sig	0,39	0,334	ND	0,322	ND	ND	ND	ND	0,27	0,582	0,351
Salinidad	PC	1	0,412	ND	ND	ND	ND	ND	ND	-0,192	-0,036	-0,930**
	sig	0,002	0,002	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,446	0,887	0,000
pH	PC	0,412	1	0,039	-0,005	ND	ND	ND	ND	0,238	0,211	-0,645*
	sig	0,002	0,002	0,766	0,971	ND	ND	ND	ND	0,27	0,387	0,17
OD	PC	ND	0,039	1	0,080	0,206	ND	ND	ND	0,154	0,162	-0,325
	sig	ND	0,766	0,000	0,539	0,096	ND	ND	ND	0,504	0,484	0,278
DBO	PC	ND	-0,005	0,206	1	0,433**	ND	ND	ND	0,614**	0,574**	0,341
	sig	ND	0,971	0,096	0,000	0,000	ND	ND	ND	0,003	0,007	0,255
DQO	PC	ND	ND	0,206	0,433**	1	ND	ND	ND	0,254	0,175	0,231
	sig	ND	ND	0,096	0,000	0,000	ND	ND	ND	0,254	0,436	0,427
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	PC	ND	ND	ND	ND	ND	1	0,573**	0,573**	0,517*	0,369	0,206
	sig	ND	ND	ND	ND	ND	0,000	0,000	0,000	0,023	0,120	0,499
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PC	ND	ND	ND	ND	ND	0,573**	1	0,423**	0,447	0,508*	-0,290
	sig	ND	ND	ND	ND	ND	0,000	0,000	0,005	0,055	0,026	0,337
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	PC	ND	ND	ND	ND	ND	0,715**	0,423**	1	-0,083	-0,107	0,865**
	sig	ND	ND	ND	ND	ND	0,000	0,005	0,000	0,768	0,704	0,003
CT	PC	-0,15	0,238	0,154	0,614**	0,254	0,517*	0,447	-0,083	1	0,994**	-0,227
	sig	0,27	0,002	0,27	0,000	0,254	0,023	0,055	0,768	0,000	0,000	0,435
CF	PC	-0,131	-0,036	0,162	0,574**	0,436	0,369	0,508*	0,994**	1	0,000	-0,266
	sig	0,351	0,887	0,325	0,000	0,427	0,120	0,026	0,000	0,000	1	0,358
EF	PC	0,296	-0,930**	-0,645*	0,341	0,231	0,206	-0,290	0,865**	-0,227	-0,266	1
	sig	0,351	0,000	0,17	0,255	0,427	0,499	0,290	0,337	0,435	0,358	0,358

PC: correlación de Pearson ND: No hay datos \*\*: Diferencias muy significativas (sig.<0.01)

\*: Diferencias significativas (sig. < 0.05)

El **nitrito** también **está correlacionado con la presencia de CT de manera significativa y directa** lo que sugiere que el aporte de las descargas de vertidos para este compuesto es alta. Esto corrobora los resultados obtenidos en nuestro trabajo.

Existe una **correlación entre los nitratos y los CF, siendo directa pero no muy significativa** y a su vez entre el amonio en el agua y la presencia de EF (muy significativa). Estas correlaciones se deben al aporte de aguas albañales ricas en fósforo y diferentes formas de nitrógeno además de microorganismos, entre los cuales se encuentran los CF y EF.

Existe una **muy fuerte correlación** ( $PC \approx 1$ ) entre la concentración de amonio en el agua y la presencia de EF en esta. Esta correlación es muy significativa.

Entre los CT y los CF estadísticamente se ha comprobado que existe una **correlación directa, muy fuerte y muy significativa**. Esto podría ser indicativo de que la medición del grupo de los CF pudiera representar a los CT (Gerba, 1987). Además se demuestra que la mayoría de los coliformes presentes en el agua marina costera posee un origen fecal.

## 6.5. Recomendaciones

Recomendaciones para la mejora del programa de monitoreo ambiental:

- Homogeneización de los muestreos: realizar dos muestreos por época (lluvia y seca) e intentar siempre hacerlo los mismos meses y horas. Con el paso del tiempo se podrá valorar si es mejor hacer las campañas de monitoreo el mismo número de veces en ambas épocas o variarlo.
- Modificación de la Norma Cubana 22:1999: la DQO debería presentar un valor superior a la DBO.
- A partir de un análisis de tendencia estadístico a largo plazo, se podrán substituir o eliminar parámetros debido a su poca fluctuación.

Recomendaciones para la mejora de la calidad de las playas:

- Instalación de papeleras en las playas para reducir los residuos de origen humano.
- Promoción de la educación ambiental en las épocas con mayor afluencia de bañistas para dar conocimiento de la importancia de disponer de una zona de playa limpia.
- Control de los vertidos a los ríos por parte de particulares e industrias. La contaminación en la bahía de Matanzas puede tener origen tierra adentro.
- Construcción de un sistema de alcantarillado y tratamiento de las aguas en la ciudad de Matanzas. No necesariamente se debería hacer en la zona Sur de la provincia puesto que la contaminación es de origen natural y la densidad de población es muy inferior. AQUA no cree en la implantación de esta recomendación debido al elevado coste de la instalación.

## 7. CONCLUSIONES

- La calidad sanitaria de todas las playas evaluadas en el monitoreo de octubre de 2011 cumplen de forma general con la NC 22:1999, excepto el parámetro salinidad que presenta valores inferiores a los exigidos por la norma en todas las playas y el parámetro *Streptococos* fecales en la playa El Tennis.
- En todas las playas estudiadas en el periodo 2006-2011 se incumple al menos un parámetro o indicador de la calidad sanitaria de las agua.
- Los parámetros cualitativos determinados en el estudio de tendencia de los años 2006-2011 se correspondieron con la NC 22:1999.
- Las diferencias que presentan los parámetros e indicadores en función de la estacionalidad no son estadísticamente significativas.
- El comportamiento de los parámetros e indicadores evaluados en el período 2006-2011 es similar en las playas Faro Maya y Los Pinos. Esto se debe a su ubicación geográfica, en el exterior de las bahías.
- La playa El Tennis, recibe una fuerte presión antrópica derivada de las descargas residuales (domésticas e industriales) a la bahía y a la cercanía de la desembocadura de los ríos San Juan y Yumurí.
- En el análisis a través de los parámetros físicos-químicos e indicadores microbiológicos, la playa El Tennis resultó ser la de menor calidad sanitaria en la bahía de Matanzas.
- En la bahía de Cochinos, la playa Buena Ventura, se ve muy influenciada por los aportes de materia orgánica y otros componentes a través del sistema de drenaje de la Ciénaga de Zapata.
- El análisis de tendencia realizado es poco significativo debido a los pocos datos históricos de los parámetros. La heterogeneidad a la hora de muestrear genera problemas a la hora de analizar los datos.

- La contaminación puede ser de origen natural pero se ve agravado por acciones de origen antrópico.

## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Almeida, M.; De Armas, Y.; Cabrera, J.A.; (2011). Guía práctica para el diseño de programas de monitoreo enfocados a playas y zonas costeras. Proyecto Territorial. Inédito. Centro de Servicios Ambientales de Matanzas, Cuba.
2. APHA, AWWA, WPCF, (1992). Standard methods for the examination of water and wastewater. Ed. American Public Health Association, Washington. Ed. 17.
3. Arcos Pulido, M. (2005). Indicadores microbiológicos de contaminación de las fuentes de agua. Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca. Disponible en:  
[http://72.14.205.104/search?q=cache:s0Rzfe4\\_cOQJ:www.unicolmayor.edu.co/invest\\_nova/NOVA/ARTREVIS2\\_4.pdf+Indices+calidad+microbiolog%C3%ADa&hl=es&ct=clnk&cd=7&gl=cu](http://72.14.205.104/search?q=cache:s0Rzfe4_cOQJ:www.unicolmayor.edu.co/invest_nova/NOVA/ARTREVIS2_4.pdf+Indices+calidad+microbiolog%C3%ADa&hl=es&ct=clnk&cd=7&gl=cu).
4. Ayuntamiento del municipio de Solidaridad (2009). Manual de Técnicas Microbiológicas. Para evaluación de la calidad ambiental de ecosistemas marino costeros.
5. Bartram, J.; Rees, G. (2000). Monitoring Bathing Waters. A practical guide to the design and implementation of assessments and monitoring programmes. E & FN Spon, New York.
6. Borrego, JJ.; Mariño, FJ. (1995) Estudio epidemiológico de zonas de baño de la Provincia de Málaga. Sevilla: Junta de Andalucía, Consejería Salud, p.1-217. Citado por González González, M. I. 2003. Calidad microbiológica de aguas costeras en climas tropicales. Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología.
7. Blanco, M. (2003). Diagnóstico físico ambiental de las playas de la Ciénaga de Zapata. Ideas preliminares para un programa de gestión ambiental. Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”.

8. Campos, C. (1999). Indicadores de contaminación fecal en la reutilización de aguas residuales para riego agrícola. Tesis doctoral. Facultad de Biología. Universidad de Barcelona.
9. Chi, M. y Kim Tran. (2000). Contaminación marina y costera: características e impactos. Gestión medioambiental para Cuba. JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY.
10. CIECE- Center for Innovation in Engineering and Science Education (2006). Estudio Internacional Ambiental de la Calidad del Agua. Disponible en: <http://www.k12science.org/curriculum/dipproj/es/>.
11. CIMAB (2001). Diagnóstico de la calidad ambiental del ecosistema de la zona varadero-cárdenas. Informe parcial. Proyecto: Evaluación y control de la contaminación marina en las bahías de Cienfuegos, zona Varadero-Cárdenas, Matanzas, Mariel, Nuevitas, Nipe, Puerto Padre y Santiago de Cuba.
12. Cloern, J.E. (2001). Our evolving conceptual model of the coastal eutrophication problem. Marine Ecology Progress Series.
13. Davis, J. (2001). Marine Monitoring Handbook.
14. ECURED (2011). Gestión Ambiental en Cuba.
15. FAO (1975). Manual of methods in Aquatic Environmental Research. Part.1. Methods in Aquatic Measurement and Monitoring of Water Pollution, FAO Fish. Tech. Pap.
16. FEE (2006). Guía de interpretación de criterios *Bandera Azul* para Playas, 2006-2007.
17. Feenstra, J. y col (1996). Handbook on Methods for climate Change Impact Assessment and Adaptation Strategies. Draft Version.
18. Fernández y col., (2008). Revista Electrónica “Ciencias de Holguín”.

19. Figueras, M.J.; Polo, F.L.; Guarro, J.; Inza, I. (1994). Situación actual y perspectivas de la normativa legal sobre el control microbiológico del agua de baño.
20. Friligos, N. (1980). Distribution of Nutrient Salt in the Aegean Sea. *Thalassia Jugoslávica*.
21. Gerba, C.P.; Bitton G.; Sager, M.G.; Wiley, J. (1987). Phage as Indicators of Faecal Pollution. In: *Phage Ecology*. INC, New York.
22. González, J. (2003). Diagnóstico de los Parches de Arrecifes en el Litoral Oriental de la Bahía de Cochinos. Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”.
23. González, M.I.; Torres, T.; Chiroles, S. (2003). Calidad microbiológica de aguas costeras en climas tropicales. Instituto Nacional de higiene y Epidemiología.
24. Hurtado, Y.; Botero, P.; Herrera, C.M. y García, E. (2009). Selección y propuesta de parámetros para la determinación de la calidad ambiental en playas turísticas del Caribe colombiano.
25. Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía (1993). Estudio Geográfico Integral de la Ciénaga de Zapata. Academia de las Ciencias de Cuba.
26. Instituto de Oceanología (2000). Protocolo de erosión de playas. Proyecto GEF-PNUD. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente.
27. ISO 5667-3:1994: Water quality. Sampling.
28. Jacinto (2006). <http://www.crid.or.cr/crid/CDAgua/odf/spa/doc14617/doc14619-11.pdf>.
29. Leatherman, S.P. (2005). Rating beaches. En: *Encyclopedia of Coastal Science 2005*, (M.L. Schwartz, ed.).
30. MASC (1992). Recommendations au sujet de la qualité des eaux utilisées á des fins récréatives au Canada. Document préparé par le Groupe de Travail fédéral-provincial sur la qualité des eaux á usage récréatif du Comité consultatif

- fédéral-provincial de l'hygiène du milieu et du travail. Ministre de Apvoisionnements et Services Canada (MASC).
31. Mena, A. (2004). Los diagnósticos ambientales integrales como herramienta en el conocimiento y manejo de playas. Caso de estudio: playas de la bahía de Matanzas. Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos".
  32. Mena, A.; Cabrera, A. (2011). Programa de manejo integrado de las playas de la bahía de Matanzas. Oficina de manejo integrado costero y centro de servicios ambientales de Matanzas.
  33. Miravet, M.E.; Lugioyo, M.; Loza, S.; Enríquez, D.; Delgado, Y.; Carminate, M.; Pérez, D.M. (2009). Procedimientos para el monitoreo de la calidad ambiental en la zona marino costera a partir de microorganismos. Departamento de Microbiología-Necton e Instituto de Oceanología. CITMA, Cuba.
  34. Montalvo, J.F.; Martínez, M.; Perigó, E. (2000). Protocolos de trabajo. Técnicas analíticas para agua y sedimentos marinos. Instituto de Oceanología. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente.
  35. Montalvo, J. F.; Perigó, E.; Espinosa, M y García, I. (2000). Prospección de variables hidroquímicas de calidad ambiental en la zona litoral entre los ríos Hatiguanico y Majana. Contribución a la Educación y la Protección Ambiental.
  36. NC 93-01-128 (1988). Determinación del numero más probable (NMP) de coliformes totales y fecales.
  37. NC 93-01-130 (1990). Determinación de estreptococos fecales.
  38. NC 22:1999. Lugares de baño en costas y en masas de aguas interiors. Requisitos higiénico sanitarios.
  39. NC 25:1999. Evaluación de los objetivos hídricos de uso pesquero. Especificaciones.

40. NRC - National Research Council. (2000). Clean Coastal Waters. Understanding and Reducing the Effects of Nutrient Pollution. National Academy of Science. National Academic Press. Washington, D.C. USA.
41. Nuñez, A. (1990). Geografía del campismo. Ed. Gente nueva.
42. Olivera Muñiz, W; Junco Horta, J.Z. (2002). Microbiología del Agua. UMCC. Facultad de Ingenierías Química y Mecánica.
43. OMS. (1998). Guías para ambientes seguros de aguas recreativas. Disponible en: <http://www.cepis.ops-oms.org/comun/gestcont/capi8.pdf>.
44. Pignataro, G. (2007). Calidad y Contaminación. Montevideo y sus recursos acuáticos. Disponible en: <http://www.gam.org.uy/commac/d04.ppt>.
45. PNUMA. (1999). Evaluación sobre las Fuentes Terrestres y Actividades que Afectan al Medio Ambiente, Costero y de Aguas Dulces Asociadas a la Región del Gran Caribe. Informes y Estudios del Programa de Mares Regionales del PNUMA N° 172. PNUMA/Oficina de Coordinación del PAM/Programa Ambiental del Caribe.
46. Plott, T.R.; Conover, J.; Louks, R.; Mann, K.; Peer, D.L.; Prekask, A. y Saamoto, D.D. (1973). Study of eutrophication in a marine basin. FAO Technical Conference on marine pollution and its effects on living resources and fishing.
47. Rasmussen, P. y Ziegler, A.C. (2003). Comparison and Continuous Estimates of Fecal Coliforms and *Escherichia coli* bacteria in selected Kansas Streams, May 1999 through April 2002. Water-Resources Investigations Report 03/4056. Kansas Department of Health and Environment and Environmental Protection Agency.
48. Reese, C. y Stone, A. (1993). Nutrient water quality standars for seagraass and ref. habitats.

49. Regadera, R. y García, E. (2009). Monitoreo de la calidad del agua y la zona costera del tramo de playa Los Taínos, Varadero. 2008 – 2009. Informe Final. Centro de Ingeniería y Manejo Ambiental de Bahías y Costas, Cuba.
50. Rincón-Espinosa, R. (1996). Variación de detergentes en la planta de tratamiento del arroyo El Gallo y su aporte a la zona costera. Tesis de licenciatura. UABC-FCM.
51. Rockefeller Foundation (1977) Citado por: Instituto Nacional de Ecología. 2010. Monitoreo ambiental. Disponible en:  
<http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/libros/105/8.html>.
52. Ruiz, F., Potrillé, F.; Martín, A.; Mancebo, H.; Regadera, R.; Beltrán, J.; Ramírez, M. (2009): “Control de la calidad ambiental del ecosistema marino Bahía de Matanzas”. Resultado 01. Informe final Proyecto Ramal de Ciencia y Técnica, MITRANS. Proyecto 2: Monitoreo de la Calidad Ambiental de la Bahía de Matanzas. Archivo Científico CIMAB.
53. Santana, R. (2007). Evaluación del estado actual de las playas del litoral oriental de la bahía de Cochinos con fines recreativos. Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”.
54. Sardiñas Peña, Chiroles Rubalcaba, S., Fernández Novo, M., Hernández Rodríguez, Y., Pérez Cabrera, A. 2006. Evaluación físico-química y microbiológica del agua de la presa El Cacao. Hig. Sanid. Ambient.
55. SARH - Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (1985). Manual de Microbiología del Agua. 3ª. Ed. Subsecretaría de Infraestructura Hidráulica. Dirección General de Desarrollo Técnico. Subdivisión de Investigación y Entrenamiento. México, D.F.
56. Secretaria de Salud. (2004). Lineamientos para determinar la calidad de agua de mar para uso recreativo con contacto primario. Comisión federal para la protección contra riesgos sanitarios.

57. Seoáñez, M. C. (2000). Manual de Contaminación Marina y restauración del litoral. Madrid. Barcelona. México.
58. Sors (1987) Citado por: Instituto Nacional de Ecología. 2010. Monitoreo ambiental. Disponible en: <http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/libros/105/8.html>.
59. Vergaray, G., Méndez, C.R.; Morante, H.Y.; Heredia, V.I. y Béjar, V.R. (2007). *Enterococcus* y *Escherichia coli* como indicadores de contaminación fecal en playas costeras de Lima. Rev. Inst. Investig. Fac. Minas, Metal, Cienc. Geogr., 10 (20). ISSN 1561-0888.
60. Wheatland, A.B; Inste, A.M.; Aag A.R. y Bruce, A.M. (1971). Some observations on the of sewage from sea out falls UK. Wat. Pollut. Res. Lab.

## 9. ANEXOS

### 9.1. Resultados monitoreo 2006-2011 parámetros físicos-químicos

Tabla 26: Resultados parámetros físicos-químicos para la playa Faro Maya. Fuente: CITMA (2011)

Municipio	Playa	Fecha	Epoca	Hora	T(°C)	Salinidad (ups)	pH	OD (mg/L)	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	GB (%)	PO <sub>4</sub> (μM/L)	PT (μM/L)	NO <sub>2</sub> (μM/L)	NO <sub>3</sub> (μM/L)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (μM/L)	
Matanzas	Faro Maya	25-05-06	lluvia			35,1	8,2	8,68	0,31	0,8	38,75	0,12	0,15	0	0		
		11-09-06	lluvia	11:20	30,1	35,6	8,1	9,1		0,16	0,12		0,02	0,12	0,09	0,64	
		04-04-07	seca	11:46	26		7,5	9	1,24	1,24	0,07	100,00	0,07	0,34	0	0	0
		17-08-07	lluvia	11:30	29,5	35	8,2	6,38	0,76	0,77	0,47	98,70	0,47	0,87	0	0	
		28-11-07	seca			34,58	8,3	7,81	0,32	0,32	0,32	100,00	0	0	0	0	0
		28-03-08	seca	10:40		36		6,03	0,14	0,14	0,22	97,22	0	0,23	0	0,63	0
		19-06-08	lluvia	10:40	27,5	34,12	8,6	5,64	0,21	0,22	0,05	95,03	0,05	0,20	0	0,27	0
		01-10-08	lluvia	10:30	27,5	36,72	8,2	5,02	0,19	0,19	1,60	11,67	0,01	0,26	0	0,06	0
		15-12-08	seca	10:35	20			7,61	0,11	0,80	0,80	14,16	0	0,17	0	0	0
		23-03-09	seca	10:15	24	36	7,6	6,77	0,05	0,27	0,27	17,47	0	0,11	0	0,03	0
		15-06-09	lluvia	10:24	29	36	7,9			0,65			0	0,2	0	0	0
		15-05-10	lluvia	11:20	27	35,88	7,7	7,64	0,41	1,60	1,60	25,79	0,01	0,50	0	0	0
		14-06-10	lluvia	12:55	29	35,64	7,6	8,07	0,69	1,12	1,12	61,83	0	0,12	0	0	0
		23-09-10	lluvia	10:20	29			6,91	0,14	0,32	0,32	43,31	0	0,33			
		17-01-11	seca	11:23	25,5	36,24	8,2	9,44	0,31	0,31	0,31	100,00	0,05	0,18	0	0,11	0
14-07-11	lluvia	11:00	30	34,86	8	7,22	0,32	0,32	0,32	100,00	0	0,25	0	0	0		
12-10-11	lluvia	9:05	29	32,4	7,6	5,94	0,8	0,8	0,8	100,00	0	0,21	0	0	0		

 No hay datos

Tabla 22: Resultados parámetros físicos-químicos para la playa El Tennis. Fuente: CITMA (2011)

Municipio	Playa	Fecha	Epoca	Hora	T(°C)	Salinidad (ups)	pH	OD (mg/L)	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	GB (%)	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (μM/L)	P <sub>r</sub> (μM/L)	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (μM/L)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (μM/L)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (μM/L)		
Matanzas	El Tennis	27-04-06	seca			34				0,46		0,18	0,97				0,6	
		11-09-06	lluvia	9:25	28,4	35,6	8,4	5,83	0,66	1,34	1,34	49,25	0,14	0,92				
		04-04-07	seca	14:36	26,6		7,68	8,13	1,70	1,70	1,70	100,00	0,11	1,15	0,22			
		03-08-07	lluvia	9:50	27,8	34	8,15	5,21	0,48	0,64	0,64	75,00	0,65	0,89	0	0		
		17-08-07	lluvia	13:00	32	34	8,26	5,89	1,28	1,92	1,92	66,41	0,83	2,53	0	0		
		18-09-07	lluvia		32,5		8,71	6,39	1,12	1,24	1,24	90,59	0,17	0,60	0	0		
		28-11-07	seca	10:20		32,69	8,4	8,03	0,96	0,96	0,96	100,00	0	0,48	0	0		
		28-03-08	seca					5,78	0,93	0,93	0,93	100,00	0,48	1,77	0,55	12,35	4,92	
		19-06-08	lluvia	13:30	28	33,59	8,4	6,16	0,28	0,28	0,55	51,26	0,03	0,29	0	0,65	0	
		01-10-08	lluvia	12:34	29	37,68	8,59	5,81	1,15	1,15	1,15	100,00	0,01	0,36	0	0	0,12	
		15-12-08	seca	11:46	20		8,07	7,86	1,31	1,31	1,31	99,81	0,17	0,56	0,05	9,23	0	
		23-03-09	seca	12:00	26	33	7,49	5,85	0,75	0,75	1,90	39,80	0,38	0,49	0,11	7,68	1,23	
		15-06-09	lluvia	12:30	31	35		6,75	1,46	1,46	1,46	99,89	0,04	0,35	0	7,31		
		15-05-10	lluvia	9:40	22	29,76	6,9	7,35	1,63	1,63	6,56	24,83	0,65	1,23	0,17	0,48	0,21	
		14-06-10	lluvia	14:35	31	30,12	7,15	6,51	0,64	0,64	0,64	100,00	0,11	0,51	0	0	0	
		23-09-10	lluvia	11:35	30			7,39	2,11	2,11	2,11	99,93	0,07	0,82				
17-01-11	seca	13:46	26	33,3	7,61	6,78	1,25	1,25	2,95	42,37	0,47	2,40	0	13,32	0			
14-07-11	lluvia		30	28,2	8	8	1,75	1,75	1,75	100,00	0,51	1,08	0,05	0	0,92			
12-10-11	lluvia	9:30	31	25,2	7,4	4,6	1,11	1,11	1,11	100,00	0,02	0,55	0	0	4,37			

Tabla 23: Resultados físicos-químicos para la playa Buena Ventura. Fuente: CITMA (2011)

Municipio	Playa	Fecha	Epoca	Hora	T(°C)	Salinidad (ups)	pH	OD (mg/L)	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	GB (%)	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (μM/L)	P <sub>T</sub> (μM/L)	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (μM/L)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (μM/L)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (μM/L)		
Ciénaga de Zapata	Buena Ventura	05-06-06	lluvia	16:10	31,6	26,7	8	6,04	2,13	3,17	67,19	0,241	1,096	0	0	0		
		12-10-06	lluvia	14:30	33,3	/	8	5,98	1,06	10,8	9,81	0,09	0	0,96	/	/	/	
		12-02-07	seca	9:43	26,50	35,60	8,27	6,79	1,15	1,15	99,93	0,01	0,15	/	/	/	/	
		14-07-07	lluvia	10:20	29	14,40	7,50	7,50	2,54	4,67	54,39	2,46	4,41	/	/	1,75	/	
		10-09-07	lluvia	/	32	31,62	7,8	13,30	/	15,52	/	/	0,06	0,34	0	0	0	
		14-04-08	seca	9:04	26,00	34,62	8,1	7,8	1,93	1,93	100,00	0,00	0,19	/	/	/	0,04	
		13-11-08	lluvia	15:15	29	15,00	7,81	4,00	1,25	8,00	15,65	0,00	0,32	0	0	0	0	
		28-04-09	seca	14:30	28	30,54	7,9	7,10	0,97	0,97	99,55	0,06	0,37	0	0	0	0	
		22-03-10	seca	16:50	28	30,18	8,3	6,10	0,96	0,96	100,00	0,52	0,53	0	0	0	0	
		16-09-10	lluvia	4:10	29	14,4	/	/	/	6,88	/	/	0,01	0,32	0	0	0	
		29-03-11	seca	10:45	27	22,92	7,6	7,15	1,22	1,89	64,55	0,00	0,36	0	0	0	0	
		06-10-11	lluvia	12:00 M	32	30,6	7,8	6,55	0,46	1,27	36,22	0,00	0,17	0	0	0	0	0,05

Tabla 24: Resultados físico-químicos para la playa Descanso. Fuente: CITMA (2011)

Municipio	Playa	Fecha	Epoca	Hora	T(°C)	Salinidad (ups)	pH	DBO (mg/L)	OD (mg/L)	DQO (mg/L)	GB (%)	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (µM/L)	P <sub>T</sub> (µM/L)	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (µM/L)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (µM/L)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (µM/L)		
Ciénaga de Zapata	Descanso	05-06-06	llovía	11:45	28,8	38,5	8,2	1,63	6,35	1,63	100,00	0,205	1,133	0	0	0,16		
		12-10-06	llovía	15:30	32,9		8,2	0,34	8,22	0,34	100,00	0,17	0,47		0,34			
		12-02-07	seca	10:27	26,20	36,69	8,09	1,02	6,71	1,02	100,00	0,03	0,09					
		14-07-07	llovía	15:25	34	27,66	8,2	2,72	8,40	2,72	100,00	2,62	1,02			0		
		10-09-07	llovía		33	33,90	8		9,90	1,24			0,03	0,41	0	0	0	
		14-04-08	seca	17:10	28	35,40	8,2	2,05	9,7	2,05	100,00	0,00	0,20				0,04	
		13-11-08	llovía	11:45	30	34,92	8,35	2,31	6,10	2,31	100,00	0,08	0,15		0	0,25	0	
		28-04-09	seca	12:10	28	33,18	7,3	0,81	8,20	0,81	99,75	0,00	0,24		0	0	0	
		22-03-10	seca	17:00	27	33,96	7,6	1,60	6,20	1,60	100,00	0,00	0,17		0	0	0	
		16-09-10	llovía	9:45	28	31,86						1,12		0,08	0,34	0	0	0
		06-10-11	llovía	16:00	33	31,62	7,9	0,3	7	0,32	93,75	0,03	0,00					

Tabla 25: Resultados parámetros físicos-químicos para la playa Los Pinos. Fuente: CITMA (2011)

Municipio	Playa	Fecha	Epoca	Hora	T(°C)	Salinidad (ups)	pH	OD (mg/L)	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	GB (%)	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (μM/L)	P <sub>T</sub> (μM/L)	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (μM/L)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (μM/L)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (μM/L)		
Ciénaga de Zapata	Los Pinos	05-06-06	lluvia	16:18	32	36,3	8,4	7,52	1,23	1,23	100,00	0,08	0,348	0	0	0		
		12-10-06	lluvia	10:20	30		7,8	5,98	0,99	1,01	98,02	0,1	0,14	0	0	0	0	
		12-02-07	seca	16:12	29	36,68	8,80	8,78	2,07	2,07	100,00	0,02	0,11					
		14-07-07	lluvia	10:27	34	33,84	8,8	9,10	0,96	0,96	100,00	0,58	1,03					
		10-09-07	lluvia		31	35,1	7,8	13,00	1,71				0,01	0,11				
		14-04-08	seca	8:55	24	35,46	7,9	9,8	0,20	1,12	17,71	0,10	0,19				0	
		13-11-08	lluvia	9:15	28	34,32	8,1	7,00	2,27	2,27	100,00	0,04	0,28	0	0	0,14	0	
		28-04-09	seca	15:45	29	34,8	7,9	6,60	0,80	0,79	98,75	0,00	0,08	0	0	0	0	0
		22-03-10	seca	10:10	25	33,12	8,1	6,60	0,87	1,25	69,83	0,05	0,09	0	0	0	0	0
		16-09-10	lluvia	12:00	29	33,6			0,48				0,26	0,40	0	0	0	0
		29-03-11	seca	16:45	33	34,32	8,5	10,8	0,42	1,26	33,33	0,00	0,13	0	0	0	0	0
		06-10-11	lluvia	9:20	30	32,64	7,9	5,73	0,32	0,27	84,38	0,00	0,10	0	0	0	0	0

## 9.2. Resultados monitoreo 2006-2011 indicadores microbiológicos

Tabla 26: Resultados microbiológicos para las playas El Tenis y Faro Maya. Fuente: CITMA (2011)

Municipio	Playa	Fecha	Época	Hora	CT NMP/100 ml	CF NMP/100 ml	EF NMP/100 ml
Matanzas	El Tenis	27-04-06	seca				
		11-09-06	lluvia	9:25			
		04-04-07	seca	14:36			
		03-08-07	lluvia	9:50	75	48	93
		17-08-07	lluvia	13:00	230	43	93
		18-09-07	lluvia		430	430	23
		28-11-07	seca	10:20	93	43	9
		28-03-08	seca				
		19-06-08	lluvia	13:30			
		01-10-08	lluvia	12:34	39	39	0
		15-12-08	seca	11:46	1100	1100	3
		23-03-09	seca	12:00			
		15-06-09	lluvia	12:30	240	240	3
		15-05-10	lluvia	9:40	460	240	
		14-06-10	lluvia	14:35	15	15	
		23-09-10	lluvia	11:35	2400	2400	
		17-01-11	seca	13:46	3	3	
		14-07-11	lluvia		43	15	210
	12-10-11	lluvia	9:30	43	15	290	
	Faro Maya	25-05-06	lluvia				
		11-09-06	lluvia	11:20			
		04-04-07	seca	11:46			
		17-08-07	lluvia	11:30			
		28-11-07	seca		23	23	0
		28-03-08	seca	10:40			
		19-06-08	lluvia	10:40			
		01-10-08	lluvia	10:30	7	7	0
		15-12-08	seca	10:35			
		23-03-09	seca	10:15			
		15-06-09	lluvia	10:24	23	23	3
15-05-10		lluvia	11:20	93	93		
14-06-10	lluvia	12:55	43	43			
23-09-10	lluvia	10:20	15	15			
17-01-11	seca	11:23	3,6	3,6			
14-07-11	lluvia	11:00	9,1	9,1	29		
12-10-11	lluvia	9:05	3	3	93		

### 9.3. Resultados estadísticos para las comparaciones de las épocas de lluvia y seca

Tabla 27: Resultados estadísticos por épocas y playas. Fuente: AQUA (2011)

	Temperatura		Salinidad		pH	
	Sig.	MD	Sig.	MD	Sig.	MD
El Tennis	0,237	1,845	0,738	0,780	0,785	0,706
Faro Maya	0,359	-1,49	0,201	3,200	0,703	0,113
Descanso	0,605	0,982	0,569	-1,19	0,201	-0,30
Buena Ventura	0,621	-0,73	0,583	-1,10	0,554	-0,10
Los Pinos	0,142	2,549	0,41	-1,65	0,717	-0,94

Sig.: Sig. (2-tailed)

MD: Mean Difference

Tabla 28: Resultados estadísticos por épocas y playas. Fuente: AQUA (2011)

	OD		DBO		DQO		GB	
	Sig.	MD	Sig.	MD	Sig.	MD	Sig.	MD
El Tennis	0,19	0,67	0,68	0,42	0,29	2,83	0,96	-0,12
Faro Maya	0,62	0,36	0,53	-0,16	0,16	3,60	0,26	-2,70
Descanso	0,36	0,95	0,66	0,30	0,57	1,18	0,29	-1,50
Buena Ventura	0,44	1,13	0,68	0,18	0,42	1,66	0,83	-0,42
Los Pinos	0,76	-0,46	0,57	0,27	0,47	-1,54	0,13	2,80

Tabla 29: Resultados estadísticos por épocas y playas. Fuente: AQUA (2011)

	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>		P <sub>T</sub>		NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	
	Sig.	MD	Sig.	MD	Sig.	MD	Sig.	MD	Sig.	MD
El Tennis	0,933	0,220	0,612	1,360	0,327	-1,89	0,709	-0,830	1	-3,340
Faro Maya	0,87	-0,390	0,421	-2,06	1	0,00	0,104	-3,640	0,108	-1,400
Descanso	0,335	-1,960	0,571	1,180	1	0,00	0,283	-1,750	0,383	1,330
Buena Ventura	0,806	0,500	0,748	0,660	1	0,00	0,864	0,270	0,18	-1,800
Los Pinos	0,251	2,400	0,074*	3,770	1	0,00	0,334	1,400	1	0,000

Tabla 30: Resultados estadísticos por épocas y playas. Fuente: AQUA (2011)

	CT		CF		EF	
	Sig.	MD	Sig.	MD	Sig.	MD
El Tennis	0,85	-0,22	0,98	-0,03	0,92	0,15
Faro Maya	0,32	0,95	0,32	0,95	0,45	-2,30



Maria Ginesta Arenas Moya

Judit Oliveras Simon

Girona, 4 de juny de 2012