



CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS  
DEL NOROESTE, S.C.

---

---

Programa de Estudios de Posgrado.

“EVALUACION DE LA CALIDAD DEL AGUA DE MAR EN  
PLAYAS RECREATIVAS EN EL CORREDOR TURISTICO DE  
LOS CABOS, B.C.S.”

TESIS

Que para obtener el grado de

Maestro en Ciencias

Uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales

(Orientación Biología Marina)

Presenta

**Clara Estrella Pérez Cruz**

La Paz, Baja California Sur, Octubre de 2010.

## ACTA DE LIBERACION DE TESIS

En la Ciudad de La Paz, B. C. S., siendo las 12 horas del día 22 del Mes de septiembre del 2010, se procedió por los abajo firmantes, miembros de la Comisión Revisora de Tesis avalada por la Dirección de Estudios de Posgrado del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C., a liberar la Tesis de Grado titulada:

“EVALUACION DE LA CALIDAD DEL AGUA DE MAR EN PLAYAS RECREATIVAS EN LA REGION DE LOS CABOS”

Presentada por la alumna:

Clara Estrella Pérez Cruz

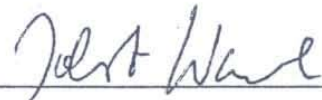
Aspirante al Grado de MAESTRO EN CIENCIAS EN EL USO, MANEJO Y PRESERVACION DE LOS RECURSOS NATURALES CON ORIENTACION EN Biología Marina

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron su **APROBACION DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

### LA COMISION REVISORA



Dra. Lía Calina Méndez Rodríguez  
DIRECTOR DE TESIS



Dr. Jobst Wurl  
CO-TUTOR



Dr. Carlos Lechuga Devéze  
CO-TUTOR



DRA. ELISA SERVIERE ZARAGOZA,  
DIRECTORA DE ESTUDIOS DE POSGRADO

## **CONTENIDO**

<b>Resumen.....</b>	<b>1</b>
<b>Introducción .....</b>	<b>2</b>
Contaminación química por nutrientes .....	3
Especies químicas de nitrógeno .....	4
Especies químicas de fósforo .....	7
Aspectos microbiológicos de la calidad del agua .....	9
Autodepuración .....	12
Condiciones oceanográficas .....	13
Modelación numérica de la circulación costera .....	15
<b>Antecedentes.....</b>	<b>16</b>
<b>Justificación .....</b>	<b>20</b>
<b>Objetivos.....</b>	<b>22</b>
<b>Hipótesis.....</b>	<b>22</b>
<b>Material y Métodos.....</b>	<b>23</b>
<b>Área de estudio.....</b>	<b>23</b>
Hidrología.....	23
Clima .....	25
Precipitación y ciclones.....	26
I. Evaluación de la calidad del agua .....	27
Trabajo de campo y de laboratorio.....	27
Análisis de datos.....	30
II. Modelación de la corriente inducida por oleaje .....	32
Corrientes litorales inducidas por el viento .....	35
<b>Resultados.....</b>	<b>36</b>
I. Evaluación de la calidad del agua.....	36
Resumen de datos descriptivos.....	36
Parámetros fisicoquímicos .....	43
Contaminación bacteriológica por coliformes totales .....	54
Análisis de nutrientes: Índice del estado trófico .....	57
Modelo lineal generalizado (glm) .....	59
II. Modelación de la corriente inducida por oleaje .....	62

Corrientes litorales inducidas por el viento .....	69
<b>Discusión .....</b>	<b>73</b>
I. Evaluación de la calidad del agua.....	73
Nutrientes .....	73
Contaminación Bacteriológica por sitio, zona y mes.....	80
Análisis glm : relación de variables con coliformes totales .....	87
II. Modelación de la corriente inducida por oleaje .....	89
<b>Conclusiones .....</b>	<b>93</b>
<b>Recomendaciones .....</b>	<b>95</b>
<b>Referencias .....</b>	<b>96</b>

## LISTA DE FIGURAS.

Figura 1. Área de Estudio y ubicación de las estaciones en la costa de la región de los Cabos, B.C.S. México.....	30
Figura 2. Variación por mes de muestreo del logaritmo natural de coliformes totales (Ln NMP de CT) por estación en Los Cabos B.C.S. de marzo 2005 a mayo 2006 .....	54
Figura 3. Índice del estado trófico promedio (Karydis <i>et al.</i> , 1983) de los sitios de estudio en Los Cabos B.C.S. evaluado en el periodo marzo 2005 a mayo 2006 .....	58
Figura 4. Concentración promedio por nutriente en los sitios de estudio durante el periodo de muestreo.....	58
Figura 5. Gráficos de los modelos obtenidos con glm de las variables significativas que explican la con distribución binomial negativa que explica la abundancia de coliformes totales (CT) en tres zonas: norte (a), centro (b,c,d) y sur (e,f), de la región de Los Cabos, B.C.S. (solo se presentan los modelos altamente significativos.....	61
Figura 6. Corrientes litorales generadas por oleaje con 292° de ángulo de incidencia en primavera en la región de Los Cabos.....	63
Figura 7. Corrientes litorales generadas por oleaje con 315° de ángulo de incidencia en otoño-invierno en la región de Los Cabos.....	64
Figura 8. Corrientes litorales generadas por oleaje con 135° de ángulo de incidencia en verano en la región de Los Cabos.....	65
Figura 9 Corrientes litorales generadas por oleaje con 180° de ángulo de incidencia en verano en la región de Los Cabos.....	66
Figura 10. Corrientes litorales generadas por oleaje con 112° de ángulo de incidencia en verano en la región de Los Cabos.....	67
Figura 11. Corrientes litorales generadas por oleaje con 270° de ángulo de incidencia en verano en la región de Los Cabos.....	68
Figura 12. Corrientes litorales generadas por oleaje con 223° de ángulo de incidencia en verano en la región de Los Cabos.....	69
Figura 13. Corrientes litorales en Los Cabos, B.C.S. en febrero de 2007, representativa de las condiciones de invierno.....	71
Figura 14. Predicción de oleaje normal por NOAA (2005) para el Océano Pacífico para abril de 2005: (a) Altura significativa, (b) Período de máximo pico espectral. CDIP. 2004. Coastal Data Information Program (18).....	72

Figuras 15. Comparación de los niveles máximos permisibles de los Criterios Ecológicos (CE 1989) y los límites de las concentraciones toxicas que pueden causar un disturbio en medio marino (SEPA 1997; Hutcheson, NEPC, 2002) con las concentraciones de nutrientes encontradas en las playas de la región de Los Cabos durante 2005-2006 (todas las concentraciones están expresadas en mg l <sup>-1</sup> ).....	75
Figura 16. Comparación de la variación en la concentración de nutrientes mensual promedio en la región de Los Cabos durante 2005-2006 con los niveles máximos permisibles de los Criterios Ecológicos (CE 1989) y los límites de las concentraciones mínimas que pueden causar un disturbio en medio marino (SEPA 1997; Hutcheson; NEPC, 2002).....	75
Figura 17. Concentracion promedio de Nitrogeno inorganico (Ninorg = suma de NH <sub>4</sub> , NO <sub>3</sub> , y NO <sub>2</sub> ) y Fosfato (P-PO <sub>4</sub> ) en la region de Los Cabos durante el periodo de muestreo 2005-2006.....	78
Figura 18. Concentración de grasas y aceites (GA) encontrada en mayo del 2006 en la playas de Los Cabos, B.C.S. En rojo: Criterio para la Protección de la Vida Acuática (CPVA) 0.14 mg l <sup>-1</sup> para GA (Tong <i>et al.</i> , 1999). Criterios para CPVA y para recreación, promedio mensual (P.M. 15 mg l <sup>-1</sup> en verde) y Promedio Diario (P.D. 25 mg l <sup>-1</sup> en morado), establecido por la NOM-001-SEMARNAT-1996.....	80
Figura 19. Contaminación bacteriológica de origen fecal encontrada en descargas hacia el mar en la región de los Cabos, B.C.S. en mayo del 2006.....	83
Figura 20. Representación de los puntos de control con alta contaminación bacteriológica y la corriente litoral generada por oleaje en otoño-invierno la región de Los Cabos.....	90
Figura 21. Representación de los puntos de control con alta contaminación bacteriológica y la corriente litoral generada por oleaje en primavera la región de Los Cabos.....	91
Figura 22. Representación de los puntos de control con alta contaminación bacteriológica y la corriente litoral generada por oleaje en verano la región de Los Cabos.....	92

## LISTA DE TABLAS.

Tabla I Resultados de la prueba de normalidad Kolmogorov-Sminov con datos transformados con raíz cuadrada (N=83 y valor de significancia $p < 0.05$ = Distribución No Normal).....	31
Tabla II. Escenarios de oleaje en la región de los Cabos, B.C.S. México.....	34
Tabla III. Georeferencia (UTM) de las estaciones monitoreadas durante el mes de 4 de marzo del 2005 y valores de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), oxígeno ( $\text{mg l}^{-1}$ ), conductividad eléctrica (S), salinidad (UPS), oxígeno, conductividad eléctrica, salinidad, y presencia de de materia flotante.....	38
Tabla IV. Georeferencia (UTM) de las estaciones monitoreadas durante el 11 de junio del 2005 y valores de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), oxígeno ( $\text{mg l}^{-1}$ ), conductividad eléctrica (S), salinidad (UPS), y presencia de de materia flotante.....	39
Tabla V. Georeferencia (UTM) de las estaciones monitoreadas el 29 de septiembre del 2005 y valores de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), oxígeno ( $\text{mg l}^{-1}$ ), conductividad eléctrica (S), salinidad (UPS), y presencia de materia flotante.....	40
Tabla VI. Georeferencia (UTM) de las estaciones monitoreadas el 12 de enero del 2006 y valores de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), oxígeno ( $\text{mg l}^{-1}$ ), conductividad eléctrica (S), salinidad (UPS), y presencia de de materia flotante.....	41
Tabla VII. Georeferencia (UTM) de las estaciones monitoreadas el 3 de mayo del 2006 y valores de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), oxígeno ( $\text{mg l}^{-1}$ ), conductividad eléctrica (S), salinidad (UPS), y presencia de de materia flotante.....	42
Tabla VIII. Niveles de pH, Grasas y Aceites (GA), amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), nitritos ( $\text{NO}_2$ ), nitratos ( $\text{NO}_3$ ) ortofosfatos ( $\text{PO}_4$ ), $\text{DBO}_5$ , SST, y SS en muestras de agua de playas recreativas de la región de los Cabos, B.C.S el 4 de marzo del 2005 (todas las unidades de estas variables a excepción del pH están en $\text{mg l}^{-1}$ ).....	45
Tabla IX. Niveles de pH, Grasas y Aceites (GA), amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), nitritos ( $\text{NO}_2$ ), nitratos ( $\text{NO}_3$ ) ortofosfatos ( $\text{PO}_4$ ), $\text{DBO}_5$ , y SST, en muestras de agua de playas recreativas de la región de los Cabos, B.C.S, el 11 de junio del 2005 (todas las unidades de estas variables a excepción del pH están en $\text{mg l}^{-1}$ ).....	47
Tabla X Niveles de pH, Grasas y Aceites (GA), amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), nitritos ( $\text{NO}_2$ ), nitratos ( $\text{NO}_3$ ) ortofosfatos ( $\text{PO}_4$ ), $\text{DBO}_5$ , SST, y SS en muestras de agua de playas recreativas de la región de los Cabos, B.C.S, el 29 de septiembre del 2005 (todas las unidades de estas variables a excepción del pH están en $\text{mg l}^{-1}$ ).....	48
Tabla XI. Niveles de pH, Grasas y Aceites (GA), amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), nitritos ( $\text{NO}_2$ ), nitratos ( $\text{NO}_3$ ) ortofosfatos ( $\text{PO}_4$ ), $\text{DBO}_5$ , SST, y SS en muestras de agua de playas recreativas de la	

región de los Cabos, B.C.S, el 12 de enero del 2006 (todas las unidades de estas variables a excepción del pH están en mg l <sup>-1</sup> ).....	51
Tabla XII. Niveles de pH, Grasas y Aceites (GA), amonio (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ), nitritos (NO <sub>2</sub> ), nitratos (NO <sub>3</sub> ) ortofosfatos (PO <sub>4</sub> ), DBO <sub>5</sub> , SST, y SS en muestras de agua de playas recreativas de la región de los Cabos, B.C.S, el 3 de mayo del 2006 (todas las unidades de estas variables a excepción del pH están en mg l <sup>-1</sup> ).....	52
Tabla XIII.- Valores de coliformes totales (NMP de CT) registrados en cada estación durante los cinco muestreos realizados en el periodo de marzo 2005 a mayo 2006 en Los Cabos B.C.S.....	55
Tabla XIV. Resumen de datos descriptivos de coliformes totales (NMP de CT) por mes de muestreo en el periodo de marzo 2005 a mayo 2006 en Los Cabos B.C.S.....	56
Tabla XV. Resumen de datos descriptivos de coliformes totales (NMP de CT) por estación de muestreo en Los Cabos B.C.S. en el periodo de marzo 2005 a mayo 2006.....	56
Tabla XVI. Índice del estado trófico promedio (Karydis <i>et al.</i> , 1983) de los sitios de estudio en Los Cabos B.C.S. evaluado en el periodo marzo 2005 a mayo 2006.....	57
Tabla XVII. Resumen de resultados obtenidos por el modelo lineal generalizado (glm por sus siglas en ingles) con distribución binomial negativa que explica la abundancia de coliformes totales (CT) en tres zonas: norte, centro y sur, de la región de Los Cabos, B.C.S. (NO <sub>3</sub> : nitrato, NH <sub>4</sub> : amonio, PO <sub>4</sub> : fosfato, OD: oxígeno disuelto, Sal: salinidad, SST: sólidos suspendidos totales, y GA: grasas y aceites). Nota: solo se presentan las variables significativas (en rojo).....	60
Tabla XVIII. Salidas de Modelo de Corrientes Litorales en la región de Los Cabos, B.C.S.....	62
Tabla XIX. Velocidad de corrientes por transecto en Los Cabos, B.C.S (expresada en cm s <sup>-1</sup> ).....	70
Tabla XX. Evaluación de la calidad del agua en playas recreativas con base en los criterios establecidos para nutrientes. Comparación de los valores obtenidos en este trabajo con los de otras playas recreativas de alta afluencia turística del Pacifico Mexicano. (Solo se presentan los valores que rebasan los criterios, en negritas valores máximos, todas las concentraciones están expresadas en mg l <sup>-1</sup> ).....	74
Tabla XXI. Comparación de la variación en la concentración de nutrientes mensual promedio y estimación proporción Redfield en la región de Los Cabos durante 2005-2006.....	76
Tabla XXII. Evaluación de la calidad del agua en playas recreativas con base en los criterios establecidos para coliformes totales (CT). Comparación de los valores obtenidos en este trabajo con los de otras playas recreativas de alta afluencia turística del Pacifico Mexicano.....	85
Tabla XXIII. Comparativa de indicadores de contaminación bacteriológica de origen fecal que exceden los niveles guías encontrados en la región de Los Cabos, 2005-2006.....	86



**Comité Tutorial.**

Dra. Lía Celina Méndez Rodríguez (CIBNOR)

Director de Tesis

Dr. Jobst Wurl (UABCS)

Cotutor de Tesis

Dr. Carlos Lechuga Devéze (CIBNOR)

Cotutor de Tesis

**Comité Revisor de Tesis.**

Dra. Lía Celina Méndez Rodríguez (CIBNOR)

Director de Tesis

Dr. Jobst Wurl (UABCS)

Cotutor de Tesis

Dr. Carlos Lechuga Devéze (CIBNOR)

Cotutor de Tesis

**Jurado de examen de grado.**

Dra. Lía Celina Méndez Rodríguez (CIBNOR)

Director de Tesis

Dr. Jobst Wurl (UABCS)

Cotutor de Tesis

Dr. Carlos Lechuga Devéze (CIBNOR)

Cotutor de Tesis

Dra. Tania Zenteno (CIBNOR)

Suplente

## **Agradecimientos:**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca para estudios de posgrado 224238.

Al CIBNOR, CONAGUA, SECMAR y al Municipio de Los Cabos, B.C.S. por las facilidades prestadas para la realización del proyecto FON-CNA-2004-001-002.

A Dra. Lía Celina Méndez Rodríguez por dirigirme, por ser maestra y amiga, y por todo su apoyo.

A Dr. Jobst Wurl, Carlos Lechuga Devéze, Dra. Tania Zenteno y Dra. Elisa Serviere por sus valiosas correcciones al documento.

A Dr. Ismael Mariño y Dra. Cecilia Enríquez de CINVESTAV Mérida Yucatán, por su valioso apoyo y asesoría con la modelación de las corrientes litorales. Gracias por su calidad humana y por permitirme formar parte de su excelente equipo de trabajo.

A Dra. Tracy y Dr. Metcalfe de Trent University en Canadá y Dr. Gerardo Gold Bouchot, Dr. Omar Zapata y M. en C. Jorge Montero de CINVESTAV Mérida Yucatán, por su asesoría en procesamiento de muestras, análisis, determinación de contaminantes.

Dr. Renato Salgado Mendoza Salgado por su asesoría en análisis de nutrientes.

A Dra. Magali Zacarías, Dr. Maldonado, M. en C. Mónica Patrón y M. en C. Alejandra Mazariegos por su orientación e invaluable asesoría.

A la Dirección de Posgrado del CIBNOR y CINVESTAV por las facilidades otorgadas para la conclusión de este trabajo. Especialmente a Osvelia Ibarra, Leticia González Rubio, Horacio Sandoval, Manuel Melero, María Isabel Baqueiro Cabañas, Irene Beltrán Rodríguez, Esther Ojeda, Ana María Talamantes y Santiago Rodríguez.

## Resumen.

El acelerado desarrollo turístico y demanda de recursos en Los Cabos, B.C.S. puede conducir al deterioro en la calidad del agua de las playas destinadas a recreación. Estos sitios, pueden recibir contaminantes y patógenos de origen fecal que ponen en riesgo la salud de los usuarios. Para evaluar la calidad del agua de las playas y la posible dispersión de contaminación bacteriológica en la región asociada a la corriente litoral producida por oleaje, se llevaron a cabo monitoreos de la calidad del agua en 19 estaciones, durante marzo, junio, septiembre del 2005, así como en enero y mayo del 2006. Los parámetros estimados: físicos, químicos y microbiológicos, fueron los contemplados por la NOM-001-SEMARNAT-1996. Adicionalmente, se realizó un recorrido a lo largo del área de estudio para identificar posibles fuentes de contaminación. Los valores obtenidos fueron contrastados con los criterios establecidos por regulaciones nacionales e internacionales. El índice trófico indicó condiciones oligotróficas para todas las playas durante el periodo de estudio. Para modelar la variación espacio-temporal de coliformes totales (CT) en la región y estudiar su relación con las variables ambientales se analizaron los datos por zona con modelos lineales generalizados realizando un ajuste con una distribución binomial negativa. Las variables explicativas fueron: amonio ( $\text{NH}_4$ ) y oxígeno disuelto (OD) en la zona norte,  $\text{NH}_4$ , fosfatos ( $\text{PO}_4$ ), salinidad(%), sólidos suspendidos totales (SST), grasas y aceites (GA) en la zona centro, y SST y GA en la zona sur. En la zona norte de la playa Costa Azul en marzo del 2005 se reportaron los niveles más altos de contaminación fecal por CT y coliformes fecales (CF) rebasando los límites permisibles por las regulaciones. Así también, se reporto el doble del límite permisible de SST y valores de concentración  $\text{NH}_4$  que pueden causar un disturbio e incluso ser tóxicos para los organismos marinos. También aquí se encontraron descargas clandestinas de efluentes hacia el mar. En la zona centro se reportaron altos niveles de *Escherichia coli* y enterococos (ENT) frente a la desembocadura del arroyo el Tule en septiembre del 2005 y enero del 2006. Esto se atribuye al arrastre de material fecal y de desecho por el efluente en temporada de lluvias y a la carencia de servicios sanitarios de los asentamientos irregulares presentes cerca del arroyo. En la zona sur se reportaron altos niveles de CT y ENT enfrente del hotel Calindá y de la Playa Coral Negro en septiembre del 2005 y enero del 2006. También se identificaron descargas clandestinas en la dársena de Cabo San Lucas, destacándose que en esta zona existe una mayor presión antropogénica urbana y turística. Para determinar las características de propagación del oleaje con base en la batimetría local y las condiciones de oleaje de aguas profundas, se implemento un modelo numérico (SWAN) utilizando el software Delft3D. La información obtenida indica que la predominancia de alta contaminación fecal en agua superficial costera en la zona centro y sur de la región de Los Cabos, está asociada al flujo débil hacia el norte en verano y fuerte hacia el sur en invierno. Este flujo está altamente influenciado por la corriente litoral inducida por oleaje que durante temporada de tormentas y huracanes se incrementa. Pese a que estas condiciones favorecerían la dispersión de contaminantes en la superficie de la columna de agua, la hidrodinámica de la región puede ser muy compleja y se requiere mayor investigación en el área.

**Palabras clave:** contaminación, coliformes, oleaje.



Vo. Bueno Dra. Lía Celina Méndez Rodríguez

## Introducción.

Para asegurar que las playas cumplan con la calidad ecológica adecuada para la población que las utiliza y la vida acuática que en ellas habitan, es necesario realizar estudios y monitores continuos de las condiciones del ambiente marino que promuevan su protección (Wu y Wang, 2008). Esto incidirá directamente sobre el bienestar del turista al brindarle la oportunidad de utilizar playas recreativas libres de riesgos sanitarios y afectaciones toxicológicas. Para lograr tal propósito dependencias como la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), la Secretaría de Salud (SSA) y la Secretaria de Marina (SEMAR), realizan evaluaciones permanentes de la calidad del agua marina en playas, determinando que los niveles y posibles fuentes de contaminantes se encuentren dentro de los criterios establecidos por normas nacionales e internacionales (OMS, 1998; NOM-230-SSA1-2002).

La CONAGUA (2004), reconoce dos tipos de contaminación, puntual y difusa o dispersa. La contaminación puntual puede ser controlada mediante acciones específicas. La contaminación difusa se produce en general a lo largo de extensas superficies hacia los acuíferos o por las márgenes de los ríos y laderas de los embalses, causando que sea muy difícil su identificación y control. La mayor parte de la contaminación del agua es causada por descargas de origen doméstico e industrial, cuyas aguas residuales no han recibido un adecuado tratamiento para mejorar su calidad de agua a un nivel que garantice la protección de la vida acuática y de todos modos son vertidas al ambiente marino (CONAGUA, 2004).

Con el incremento en el uso del agua, especialmente como receptor de los desechos generados por el hombre, los efectos de la materia orgánica y los patógenos son una preocupación constante para la salud pública (Prescott *et al.*, 2004). Los valores umbral de mortalidad pueden servir como una primera aproximación para definir un límite de calidad; pero la toxicidad de un contaminante varía en función de las características ambientales, del estado fisiológico y de la resistencia de las diferentes especies. Pueden presentarse efectos sinérgicos al combinarse varios contaminantes (Weis y Weis, 1987). La utilización de un solo indicador puede conducir a resultados erróneos al caracterizar la calidad sanitaria de un

cuerpo de agua para evidenciar el peligro potencial de patógenos (Dutka, 1979). Por lo que deben evaluarse varios indicadores al mismo tiempo. Además estos análisis deben ser simultáneos al registro de parámetros fisicoquímicos (Orlob, 1956).

Contaminación química por nutrientes.

Para sistemas costeros que se conectan permanentemente con el océano, los nutrientes disueltos y particulados en el agua de mar puede ser la principal fuente de los nutrientes inorgánicos requeridos para sostener la productividad local del ecosistema (Falcao y Vale, 2003). El sobre enriquecimiento de nutrientes es definido como la adición de nutrientes por fuentes antropogénicas, adicionales a los incorporados por procesos naturales, lo cual genera efectos ambientales adversos o limita los usos benéficos de un cuerpo de agua (EPA, 2001). El sobre enriquecimiento de nutrientes en aguas costeras origina el proceso de eutroficación definido como “un incremento en la tasa de suministro de materia orgánica a un ecosistema” (Nixon, 1995). La materia orgánica se refiere a sustancias químicas basadas en cadenas de carbono e hidrógeno, en muchos casos contiene oxígeno, nitrógeno, azufre, fósforo, boro y halógenos asociadas a los seres vivos (Alcamo, 2003).

La introducción de contaminantes al mar también puede ocurrir por el lavado de sedimentos en la corteza producto del arrastre a través de las escorrentías formadas en temporada de lluvias o de ciclones. Bajo estas condiciones se favorece la acumulación de materia orgánica y la proliferación de microorganismos (bloom) en la columna de agua (Anderson *et al.*, 2002). La descomposición de la materia orgánica por actividad bacteriana produce una disminución de oxígeno disuelto (demanda biológica de oxígeno DBO) en la capa de agua superficial (Prescott *et al.*, 2004). Esta condición conocida como eutroficación puede privar de oxígeno a los organismos marinos y conducir a la ruptura de proteínas y otros compuestos nitrogenados, liberando así sulfuro de hidrógeno y amonio ambos tóxicos, y causando la muerte de los organismos (Shahidul y Tanaka, 2004). Los cuerpos de agua costeros se caracterizan por la fuerte influencia de las actividades antropogénicas que generan grandes volúmenes de residuos descargados en las zonas costeras. Se estima que en los países desarrollados la tercera parte de las aguas residuales vertidas en el medio ambiente no está

adecuadamente tratada. En los países en desarrollo esa proporción podría ser aun mayor (WHO, 2003). Esto conduce al sobre enriquecimiento de nutrientes (eutroficación) en la zona con serias implicaciones a los organismos acuáticos, la degradación del ecosistema y el deterioro del uso del agua para la recreación (Carpenter *et al.*, 1998).

Entre los efectos de la eutroficación, se encuentra la disminución de los niveles de oxígeno disuelto de un valor cercano a  $9 \text{ mg l}^{-1}$  a  $4 \text{ mg l}^{-1}$  lo que afecta negativamente y de inmediato a los organismos aerobios, a los  $4 \text{ mg l}^{-1}$  presentan estrés por hipoxia. Cuando el nivel baja a  $2 \text{ mg l}^{-1}$  todos los animales han muerto. También se registra una significativa elevación de la DBO, así como de la concentración de compuestos nitrogenados, fosfatados y elementos químicos (Viet-Khoa y Thanh-Bai, 1999). Estos efectos pueden ir más allá y causar impactos adversos en eslabones altos de la cadena alimenticia. Por ejemplo las mareas rojas y la hipoxia pueden causar mortalidades masivas de peces (National Research Council, 2000). Con el incremento en el uso del agua, especialmente como receptor de los desechos generados por el hombre, los efectos de la materia orgánica y los patógenos son una preocupación constante para la salud pública (Prescott *et al.*, 2004).

Especies químicas de nitrógeno.

Los compuestos nitrogenados inorgánicos predominantes en los sistemas costeros son los nitratos ( $\text{NO}_3$ ), nitritos ( $\text{NO}_2$ ) y amonio ( $\text{NH}_4$ ), con una preponderancia indistinta entre el primero y el último, según las condiciones locales. Sus concentraciones presentan una amplia variación espacial y temporal; desde lo indetectable para las tres formas hasta más de  $50 \mu\text{M}$  para  $\text{NO}_3$  y  $\text{NH}_4$  y  $10 \mu\text{M}$  para  $\text{NO}_2$  (De la Lanza, 1994). Los nitratos tienen sus niveles máximos durante el verano en el fondo, mientras que en superficie es en otoño. Esto se debe a que las aguas con altas concentraciones de nutrientes oxidados producto de la remineralización durante el verano son introducidas en el fondo, mientras durante el otoño se debe al aporte de las escorrentías las cuales son mayores en la época de lluvia y que aportan cantidades importantes de nutrientes oxidados al medio (Aston, 1977).

A través de la denitrificación, las formas oxidadas de nitrógeno como el nitrato ( $\text{NO}_3$ ) y el nitrito ( $\text{NO}_2$ ) se convierten en gas dinitrógeno ( $\text{N}_2$ ) y, en menor medida, en gas óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ). Estas reacciones generalmente ocurren donde existen condiciones anaeróbicas. En algunas bacterias, la reducción del nitrato es seguida por la desasimilación reductiva del nitrito a amonio y el amonio es liberado al ambiente (McCarthy *et al.*, 1998). Las rutas que conducen a la producción de óxido nitroso o dinitrógeno representan una pérdida de nitrógeno para los ecosistemas marinos. Cuando los dos primeros pasos reductores en cada ruta son temporalmente o espacialmente no enlazados, el nitrito puede acumularse. Este nitrito es una clave en el ciclo del nitrógeno como un intermediario en la nitrificación, asimilación y desasimilación reductiva del nitrato (Duce *et al.*, 2008). Por otro lado, la desnitrificación ocurre en tasas sustanciales en una variedad de ambientes marinos benthicos y pelágicos, incluyendo áreas de aguas medias de los océanos Índico y Pacífico, así como también en estuarios, costas y sedimentos estancados (Galloway *et al.*, 2004, 2008).

Los nitratos, nitritos y amonio (formas de nitrógeno inorgánico disuelto) pueden ser captados (vía transporte a través de membranas) y asimilados por muchos organismos. Desde el punto de vista del costo bioenergético, existen marcadas diferencias entre la utilización de las formas oxidadas (nitratos y nitritos) y las formas reducidas (amonio). Estas diferencias hacen que el amonio sea utilizado preferencialmente en comparación con el nitrito y nitrato por los organismos planctónicos. A partir de una concentración ambiental de amonio entre 0.5-1.0  $\mu\text{M}$ , la absorción del nitrato y nitrito se inhibe parcialmente y se utiliza preferentemente el amonio (Lomas y Glibert, 1999).

El nitrógeno regenerado en la zona eufótica es asimilado como amonio (producción regenerada). Hale (1975) destaca una correlación entre la liberación de amonio de los sedimentos, el ciclo circadiano y la temperatura. Por la noche el amonio se acumula porque las tasas de asimilación del fitoplancton son reducidas o nulas, por lo que durante la noche las concentraciones de este elemento se incrementan. Por el contrario durante el día cuando las tasas de asimilación del fitoplancton aumentan, la concentración del elemento disminuye por efecto del consumo en la fotosíntesis. Sin embargo, el nitrógeno nuevo puede entrar en la zona eufótica a través de precipitaciones, fijación de nitrógeno, eventos de surgencias,

difusión lateral o descarga de ríos (producción nueva) (Dugdale y Goering, 1967). Particularmente, las zonas de surgencia costera llevan nutrientes nuevos ( $\text{NO}_3^-$ ) hacia la capa de mezcla donde promueven los florecimientos y la generación de material orgánico, lo cual propicia la congregación de organismos consumidores secundarios y terciarios (Cervantes-Duarte *et al.*, 1992).

Duce y colaboradores (2008) reportan que el ser humano produce un tercio del nitrógeno presente en los océanos, y no alcanza a ser asimilado. Adicionalmente, la mayor entrada de nitrógeno al océano por actividad antropogénica se ha producido en las últimas décadas, no solo por la quema de combustible fósil, sino principalmente por la producción y uso masivo de fertilizantes (Duce *et al.*, 2008). El ingreso de óxidos de nitrógeno (NO) y especies reducidas de nitrógeno (NH) hacia los océanos a nivel global, se ha incrementado al cuádruple (de 8.5 a 33.4 toneladas de especies reactivas de nitrógeno) en un reciente corto periodo de tiempo (de 1860 a principios de los 90's), donde la deposición de NO es el doble que la de NH (Galloway *et al.*, 2004). En particular, la entrada de nutrientes nitrogenados al mar continúa incrementándose, asociada a la intensa actividad humana en ciudades densamente pobladas cercanas a la costa, que producen descargas residuales y de fertilizantes que duplican la concentración de nitrógeno en el mar (Vitousek *et al.*, 1997; Howarth *et al.*, 2002). Se sabe que los efluentes de aguas residuales suelen presentar concentraciones de Nitrógeno: 0.014 ppm N ó 0.040 ppm  $\text{NO}_3$  (Anónimo, 1996).

Dado que la presencia de amonio favorece la multiplicación microbiana su detección en cantidad significativa en el agua se considera como indicación de contaminación reciente probable. El ión nitrito puede estar presente en las aguas bien como consecuencia de la oxidación del  $\text{NH}_3$  o como resultado de la reducción, microbiana o no, de los nitratos. Su presencia en el agua debe considerarse como un indicio fundado de una posible contaminación reciente (dada su inestabilidad) y, tal vez, de la impotabilidad del agua debida a la toxicidad de este ión. En cuanto a la toxicidad del nitrato en peces marinos se reportan concentraciones letales para exposiciones de 96 horas de 2538  $\text{NO}_3 \text{ mg l}^{-1}$  en *Monacanthus*



*hispidus* y concentraciones arriba de  $13290 \text{ NO}_3 \text{ mg l}^{-1}$  en *Pomacentrus leucostictus* (WHO, 1996; Canadian Council of Ministers of the Environment, 2003).

El sobre-enriquecimiento de nutrientes puede favorecer un rápido incremento en la población de algas oportunistas en el medio acuático denominado bloom. Un incremento en la incidencia de mareas rojas producidas por blooms de dinoflagelados nocivos ha sido reportado principalmente en aguas estuarinas o costeras con la mezcla de aguas cálidas y ricas en nutrientes (en forma de amonio), como ocurre en costas del Pacífico (Hallegraeff, 1993). Tales efectos traen graves consecuencias a los ecosistemas marinos, con la muerte masiva de comunidades de peces y crustáceos, y constituye una amenaza potencial a la salud pública y a la economía local (Anderson *et al.*, 2002).

Especies químicas de fósforo.

El fósforo inorgánico en las aguas naturales predomina en forma de ortofosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ). Al igual que el nitrato, es un nutriente esencial para el fitoplancton pero se encuentra en concentraciones mucho menores que éste, probablemente por su acusada tendencia a formar iones complejos y compuestos de baja solubilidad con un extenso número de metales y por ser adsorbido por sedimentos hidrolizados, especialmente minerales de arcilla, en el suelo. Las principales fuentes de fosfatos se asocian a la disolución de rocas ígneas o sedimentarias marinas, a los fertilizantes fosfatados, a las aguas residuales de origen urbano (detergentes) o ganadero, etc. Los fosfatos pueden presentar una rápida precipitación para formar apatita en presencia de partículas finas de carbonato de calcio, cuyas superficies actúan como agente nucleador para formar este cristal (Berner, 1980). Esto ocurre en laguna de La Paz, B.C.S., donde los fosfatos al interactuar con los carbonatos existentes en los sedimentos precipitan, dando lugar a bajas concentraciones de este nutriente en la superficie de la columna de agua (Godínez-Orta *et al.*, 1997).

Además, el fósforo es considerado como el factor más crítico y complejo en los ciclos biogeoquímicos. Se encuentra tanto disuelto como particulado, sea orgánico como inorgánico. En la forma disuelta inorgánica predomina el fosfato monoácido ( $\text{HPO}_4^-$ ) en un 87%, el

fosfato u ortofosfatos ( $\text{PO}_4^{=}$ ) en un 12% y el diácido ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ) con un 1% para aguas marinas, con  $20^\circ\text{C}$  de temperatura y un pH de 8.0. La concentración de ortofosfatos disueltos en las lagunas costeras puede oscilar desde lo indetectable hasta contenidos altos cercanos a  $10\ \mu\text{M}$  resultado de la complejidad local (De la Lanza, 1994). Los efluentes de aguas residuales suelen presentar concentraciones de Fósforo: 0.003 ppm P ó 0.007 ppm  $\text{PO}_4$  (Anónimo, 2). Por otro lado, se ha sugerido que el ortofosfato puede ser utilizado por las bacterias marinas y que son capaces de competir con el fitoplancton por el Fósforo cuando las concentraciones de ortofosfato están entre  $0.1$  a  $0.5\ \mu\text{g P l}^{-1}$ . Lo contrario sucede cuando la concentración es menor a  $0.1\ \mu\text{g P l}^{-1}$  (WHO, 1996; Canadian Council of Ministers of the Environment, 2003). El fósforo procede generalmente de los detergentes y de los residuos orgánicos, y menos del lavado de tierras agrícolas, porque es poco móvil. Concentraciones de  $20$ - $50\ \mu\text{g l}^{-1}$  producen daños en los peces, mientras que el agua del alcantarillado puede contener entre  $100$  y  $500\ \mu\text{g l}^{-1}$  (Seoáñez *et al.*, 2000).

Los productores primarios contribuyen a la captura de fosfatos en el medio acuático. Durante los meses más cálidos la producción de la comunidad se eleva y la absorción de fosfatos es un fenómeno que favorece la fijación de energía por fotosíntesis (Jiménez-Quiroz, 1991). Las condiciones reductoras del sustrato y las altas concentraciones de oxígeno favorecen la precipitación de este compuesto en los sedimentos, formando complejos con el aluminio y el hierro. Existen evidencias que demuestran que la liberación de fósforo de los sedimentos del detritus es un mecanismo importante en los estuarios. Los sedimentos fluviales o estuarinos, al ser suspendidos en aguas marinas con altas concentraciones de material en suspensión, pueden causar un efecto amortiguante (tampón) en solución hasta conseguir concentraciones casi constantes, generalmente cerca de  $1$ - $2\ \mu\text{M}$ , que es una concentración más alta que la típica concentración de fosfatos en aguas fluviales (Hesse, 1963; Riley y Chester, 1989).

Por último, la liberación de aceites y grasas al medio marino es otro problema derivado de la contaminación química. Estas sustancias hidrófobas de menor densidad, además de provocar un impacto estético, van a afectar el intercambio gaseoso. Así, estas

sustancias, una vez que entran en el medio marino, se difunden por la superficie, reduciendo la oxigenación a través de la interfase aire-agua. Esta película superficial puede afectar, a su vez, a la actividad fotosintética, ya que absorbe la radiación solar, disminuyendo así, la producción interna de oxígeno disuelto (Tong *et al.*, 1999).

Aspectos microbiológicos de la calidad del agua.

Los cuerpos de aguas naturales reciben los desechos humanos domésticos e industriales. Las aguas residuales contienen microorganismos que involucran un riesgo potencial para la salud humana. Las fuentes a través de las cuales pueden ser introducidos estos microorganismos son diversas e incluyen desde las excretas individuales, descargas domésticas, drenajes urbanos, y efluentes industriales hasta el agua de balastos de barcos y otros (Schmitz, 1995).

Las descargas de aguas residuales en los mares producen un impacto negativo en el ambiente costero y el deterioro de la calidad del agua para actividades tales como maricultura y la recreación (Fiksdal *et al.*, 1994), dado que estas aguas son portadoras de una amplia gama de microorganismos patógenos (Mallin *et al.*, 1998; Fong y Lipp 2005) tales como bacterias coliformes, *Streptococcus*, *Pseudomonas*, *Salmonella*, *Shigela*, *Vibrio*, así como virus y protozoarios (Toze, 1997). Estos patógenos provocan enfermedades intestinales como son la fiebre tifoidea, el cólera, la disentería bacilar e infecciones, principalmente cutáneas (Bensen, 1994).

Los estudios en agua marina y playas indican que las enfermedades de las mucosas, de la piel y digestivas asociadas con los bañistas están directamente relacionadas con los niveles de contaminación fecal (Ronsón-Paulín y Ortiz-Arellano, 1993). Alexander y colaboradores (1992) concluyeron que niños quienes nadaron en aguas contaminadas fueron más sensibles a desarrollar enfermedades intestinales e infecciones cutáneas y respiratorias que aquellos que no realizaron actividades recreativas de contacto con el agua de mar. También en bañistas y turistas practicantes de windsurfing se reportaron con potencial riesgo de salud en aguas marina contaminada con desechos humanos (Dewailly *et al.*, 1986).

Los coliformes son una familia de bacterias de los géneros *Escherichia*, *Klebsiella*, *Enterobacter* y *Citrobacter*, que se encuentran comúnmente en las plantas, el suelo y los animales, incluyendo a los humanos. En general, las bacterias coliformes se encuentran en mayor abundancia en la capa superficial del agua o en los sedimentos del fondo. El grupo coliforme agrupa a todas las bacterias entéricas. Se les ha considerado como indicadores de contaminación fecal en el control de calidad del agua destinada al consumo humano, debido a que en los medios acuáticos las coliformes son más resistentes que las bacterias patógenas intestinales y porque su origen es principalmente fecal. Por tanto, su ausencia indica que el agua es bacteriológicamente segura (Pruss, 1998).

Asimismo, su número en el agua es proporcional al grado de contaminación fecal; mientras más coliformes se aíslan del agua, mayor es la gravedad de la descarga de heces. No todos los coliformes son de origen fecal, por lo que se han desarrollado pruebas para diferenciarlos para emplearlos como indicadores de contaminación. Por lo tanto, se distinguen los coliformes totales que comprende la totalidad del grupo, y los coliformes fecales (aquellos de origen intestinal). Desde el punto de vista de la salud pública esta diferenciación es importante puesto que permite asegurar con alto grado de certeza que la contaminación que presenta el agua es de origen fecal (Madigan *et al.*, 2003).

Los enterococos fecales son el indicador bacteriológico más eficiente para evaluar la calidad de agua de mar para uso recreativo de contacto primario, puesto que este grupo resiste las condiciones del agua de mar y está relacionado directamente con enfermedades como gastroenteritis, enfermedades respiratorias, conjuntivitis y dermatitis, entre otras. El grupo de enterococos fecales es un subgrupo de los estreptococos fecales y son diferenciados de otros estreptococos por su habilidad para crecer en 6.5 % de cloruro de sodio, pH de 9.6 y entre 10 y 45 °C.

En la actualidad se reconoce a los enterococos como mejores indicadores de contaminación fecal para este tipo de ambientes por su mayor tolerancia a la concentración de sal y exposición a la luz solar, razón por la cual pueden permanecer por más tiempo que los coliformes en el medio marino (Carlucci y Pramer 1959; Olson 1978; Fujioka 1997; Bordalo

*et al.*, 2002). Los estándares internacionales establecen un máximo de 35 enterococos /100mL en aguas recreacionales marinas (Fujioka 1997; Toranzos y McFeters 1997). Estos datos son más estrictos de los que reportan los estándares nacionales. La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, 16 portal en red) establece 500 enterococos /100ml de enterococos como límite máximo para declarar un riesgo sanitario y la Comisión Federal para la Protección Contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS, 17 portal en red), establece el peligro a la salud a partir de los 200 enterococos/ 100mL.

Los criterios de control están definidos en términos de concentraciones permisibles de los grupos bacterianos: coliformes totales y fecales. La concentración de *Escherichia coli* también es una prueba usada rutinariamente como indicador de coliformes fecales en el agua. La prueba de análisis más común en cuerpos acuáticos costeros es la determinación del Número Más Probable (NMP) de bacterias en 100mL de muestra. También se utilizan las pruebas en medios de cultivo sólidos con filtro de membrana, en los cuales se contabilizan las Unidades Formadoras de Colonias (UFC) (Griffin, 2001).

Las Normas Oficiales Mexicanas que establecen los límites máximos permisibles de contaminación en las descargas de aguas residuales, se describen en tres partes: la primera, que indica los límites de contaminantes que puede tener el agua que se vierte en aguas y bienes nacionales y que es de 1000 coliformes fecales (CF)/100mL promedio mensual (SEMARNAT, 1996); la segunda, que indica los límites para agua residual que es eliminada en los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, en la cual no se mencionan los grupos de bacterias (SEMARNAT, 1998a); y la tercera, relacionada con los niveles que puede contener el agua residual que será sometida a tratamientos y después reusada en servicios públicos, en este caso 1000 NMP de CF/100mL promedio mensual, si el servicio implica un contacto directo ocasional y 240 NMP CF/100mL si está implícito el conteo directo (SEMARNAT, 1998b). Los límites máximos permisibles de contaminantes en cuerpos receptores para la protección de la vida acuática en agua costera y estuarios (240CF/100mL), se establecen en la “Ley Federal de Derechos. Normas aplicables en materia de aguas nacionales y sus bienes públicos inherentes”(CONAGUA, 2003).

Resulta imposible identificar a todos los agentes infecciosos presentes en una muestra. Por lo que cuando se hace la determinación de la calidad del agua, esta se define de acuerdo al uso para el cual se destine. Se consideran ciertos requerimientos físicos, químicos y biológicos. Las propiedades físicas y químicas pueden ser obvias, caracterizadas de manera organoléptica (color, olor); o bien de forma cuantitativa, como los parámetros fisicoquímicos (temperatura, pH, conductividad, cloruros, sulfatos, oxígeno disuelto, dureza, salinidad). En ciertos parámetros es indeseable que se superen ciertos niveles, por encima de los cuales se consideran contaminantes (estos incluyen nitritos, nitratos, amonio, Fe, Mn, Zn). Algunos compuestos que no forman parte de la composición natural del agua marina, pueden actuar como nutrientes, por lo menos parcialmente, como es el caso de los detergentes y la materia orgánica proveniente de residuos agrícolas. También existe una amplia gama de tóxicos que determinan la calidad del agua, sin embargo su evaluación sólo incluye una parte de ellos, los cuales deben ser sensibles y/o robustos a factores o variables decisivos, y que puedan ser prácticos y representativos en los monitoreos (Moreno, 2003; Albert, 2004)

#### Autodepuración.

Por otro lado, los cuerpos de agua tienen cierta capacidad de autodepuración, esta consiste en la reducción de la materia orgánica mediante la oxidación y la mineralización de contaminantes orgánicos, llevadas a cabo por ciertas bacterias y hongos. Esta capacidad es mayor donde el agua tiene movimiento energético, ya que provoca un intercambio activo de oxígeno entre el agua y la atmósfera, que favorece la descomposición de la materia orgánica (Rheinheimer, 1992).

Estas condiciones también existen en aguas costeras con pronunciados movimientos de mareas o fuertes corrientes inducidas por el viento. Sin embargo, cuando aumenta la concentración de materia orgánica por aportes de agua residual, se produce un denso crecimiento de bacterias anaerobias, ciliados y virus. En áreas donde hay poco movimiento, el agua residual se estanca y la escasez del oxígeno puede provocar un colapso en la autodepuración, debido al incremento en la demanda bioquímica de oxígeno ( $DBO_5$ ) (Abel, 1996).

La autodepuración en el mar es más lenta que en las aguas continentales o interiores, requiriendo el doble de tiempo. Esta depende de las condiciones presentes en el medio, así como de la composición y la cantidad de los materiales a degradar. Si estos sobrepasan la capacidad de autodepuración del cuerpo de agua que los recibe, que por desgracia es frecuente, los microorganismos no pueden degradar estos materiales, aún bajo las condiciones más favorables (Rheinheimer, 1992).

Condiciones oceanográficas.

La entrada del Golfo de California representa la confluencia de varias corrientes superficiales, que en promedio alcanzan una velocidad de  $5 \text{ cm seg}^{-1}$ . Durante el invierno, especialmente en la región de Los Cabos, es muy clara la presencia de la Corriente de California, relativamente somera y de aguas frías (entre  $12\text{-}18^\circ\text{C}$ ) y poco salinas (menores a 34.5UPS Unidades Prácticas de Salinidad). En el verano y otoño se detecta de manera general el efecto del agua del Golfo de California, generada por evaporación en el norte del mismo, y que es cálida (de  $14^\circ$  y  $21^\circ \text{C}$  en febrero y entre  $28^\circ$  y  $31^\circ \text{C}$  en agosto) y salina (mayores a 35UPS), pero sobre todo, de la Corriente Costera de Costa Rica, proveniente del sur y que tiene temperaturas altas (mayores a  $18^\circ\text{C}$ ) pero salinidades intermedias (menores a 35UPS) subsuperficialmente (a profundidad de 50 a 200 m). Cerca de la boca del golfo existe una masa de agua formada por la mezcla de aguas de las corrientes citadas, sin embargo, la influencia del Golfo de California sobre el Océano Pacífico es muy pequeña. Es quizá por esto que la salinidad en la entrada del Mar de Cortés es relativamente estable (variando menos de 0.5 UPS en el año) (Álvarez-Borrego y Schwartlose, 1979).

El encuentro de las distintas corrientes hace que la boca del Golfo de California tenga un patrón de circulación muy variable interanualmente dependiendo de la fuerza relativa de cada masa de agua, las cuales a su vez modulan su intensidad por factores oceanográficos como la presión atmosférica y el patrón de vientos en el continente. Sin embargo, se ha visto que en promedio, entre Cabo San Lucas y San José del Cabo, existen corrientes oceánicas superficiales que van hacia el sureste con velocidades entre  $10$  y  $15 \text{ cm seg}^{-1}$  de Febrero a Mayo, y hacia el noroeste con velocidades máximas de  $10 \text{ cm seg}^{-1}$ , entre Junio y Septiembre.

También cabe señalar que la dirección del movimiento del agua superficial se ve afectada por eventos de gran escala como la Oscilación Sureña de El Niño; en este caso, la corriente predominante casi todo el año es de dirección sur, y la tendencia se invierte durante el anti-El Niño (Marinone, 2003).

Otra de las consecuencias de la mezcla de aguas, es que los patrones de temperatura difieren notablemente en el lado este y oeste de la entrada del golfo. En la región de Mazatlán la temperatura media anual de la superficie del agua es de 25.8°C, lo cual representa un grado centígrado más alto que en Los Cabos (24.8°C). Esta situación hace evidencia de los efectos de surgencia que caracterizan la costa oeste del Golfo de California, y de la influencia de la Corriente de California (Marinone, 2003).

En referencia a los nutrientes, se sabe que el Pacífico suministra al golfo aguas ricas en nutrientes, recibiendo a cambio aguas relativamente pobres. La concentración de fosfatos en la entrada del Mar de Cortés es de 2 a 3 micromoles, la de nitratos es de 0.5 a 1.0 micromoles, y la de fosfatos varía entre 0.4 y 0.5 micromoles. Todos estos valores son altos en referencia al Pacífico Tropical, pero bajos para lo que puede observarse en el norte del Golfo de California o en la costa oeste de la Península de Baja California, sobre todo durante temporada de surgencias. La profundidad de la piconclina y la termoclina permanente es de alrededor de 60 a 70 m, aunque esta última sea relativamente poco intensa ( $0.3$  a  $0.4$  °C  $m^{-1}$ ), debido a que en invierno existe gran actividad de mezcla por vientos y surgencias que evita una estratificación fuerte. Finalmente, el oxígeno disuelto fluctúa entre 4.5 y 4.8  $ml\ l^{-1}$ . Quizá la diferencia más marcada entre los márgenes de la entrada del Golfo se dé en la profundidad de oxígeno mínimo. En este caso, el valor en el lado de Mazatlán (250 m) es considerablemente menor que el de San José del Cabo (350m). Esto ocurre como resultado del aporte de material orgánico de las cuencas hidrográficas del continente, que permite mayor respiración planctónica y microbiana, y limita la disposición de oxígeno (Martínez-Gutiérrez y Mayer, 2004).

Modelación numérica de la circulación costera.



La modelación numérica de la circulación costera es una poderosa técnica que permite predecir procesos físicos como son el transporte y dispersión de partículas. Recientemente esta metodología ha sido empleada en estudios de impacto ambiental relacionados con la dispersión de contaminantes en la zona costera, dado que proveen información valiosa de la variación espacio-temporal en la hidrodinámica de la zona costera (Grant et al., 2005; Silva-Casarín, 2005).

En la zona cercana a la costa las corrientes son influenciadas por la aproximación oblicua del oleaje que genera corrientes longitudinales (litorales) en la zona de surf, y su dirección dependerá de las características del oleaje y de las condiciones de la playa (Kamphuis, 2000). Estas corrientes son importantes en el transporte de sedimentos y dispersión de partículas en las playas (Sierra, 2005).

Komar e Inman (1970) compararon diferentes ecuaciones usadas para evaluar las tasas de transporte longitudinal de arena con los datos de corrientes longitudinales. Ellos obtuvieron que la velocidad de la corriente longitudinal,  $V_l$ , podría ser expresada utilizando la relación:

$$V_l = 1.17 \sqrt{gH_b} \sin \alpha_b \cos \alpha_b$$

Donde  $g$  es la aceleración de la gravedad,  $H_b$  es la altura de la ola rompiente y  $\alpha_b$  es el ángulo de rotura (ángulo de incidencia del oleaje). La fórmula fue mejorada por Komar (1998) la cual considera el gradiente de la altura de la ola a lo largo de la costa  $dH_b/dx$ :

$$V_l = 1.17 \sqrt{gH_b} \sin \alpha \cos \alpha - a \sqrt{gH_b} \frac{dH_b}{dx}$$

Por otro lado, el esfuerzo del viento sobre la superficie del mar genera localmente un arrastre de las aguas superficiales conocido como transporte de Ekman. La velocidad de flujo asociado con este transporte, velocidad de Ekman, es estimada empleando la relación:

$$\bar{V} = \frac{|\bar{\tau}| e^k}{\rho \gamma \sqrt{f/\gamma}} \text{Sen}(k + \alpha - \pi/4)$$

$$k = \frac{\sqrt{2}}{2} \sqrt{\frac{f}{\gamma}} H$$

Donde  $\tau$  es el esfuerzo producido por el viento sobre la superficie del mar,  $\alpha$  es el ángulo de la dirección del viento,  $H$  es la profundidad a la que se calcula la corriente de Ekman,  $\rho$  es la densidad del agua de mar,  $f$  es el parámetro de Coriolis, y  $\gamma$  es una constante igual a  $5 \times 10^{-3}$ .

Antecedentes.

El municipio de Los Cabos se ubica en la región sur de la Península de Baja California. En el municipio se ha dado un crecimiento poblacional de tipo exponencial. Para 1990 el registro fue de 43,920 habitantes, para 2000 el número ascendió a 105,469 y en 2005 se obtuvo un registro total de 164,162 residentes. Esto significa tasas de crecimiento promedio anual del 9.2% durante el período comprendido de 1990-2000, y de 8.1% entre los años 2000-2005. Los números son altos, sobre todo si consideramos que el promedio nacional es de 3 %. Las cifras se reflejan de manera más clara en San José del Cabo y Cabo San Lucas, ya que en los últimos 10 años casi han triplicado su población (56,811 habitantes y 48,518 habitantes respectivamente), formando el 64.2 % del total municipal (INEGI, 2005). El hecho de que la tasa de crecimiento poblacional incremente por ingreso de migrantes, se debe a que estos ven en esta zona turística una oportunidad de trabajo (Municipio de Los Cabos, 2008).

San José del Cabo y Cabo San Lucas se encuentran separadas por un corredor turístico de aproximadamente 33 km en donde se ha desarrollado un importante complejo de hoteles y villas de lujo, varios de ellos con plantas de tratamiento de agua. Este corredor turístico es uno de los principales destinos turísticos a nivel internacional y el segundo a nivel nacional, lo que representa una importante fuente de divisas en la economía nacional (López 2002; INEGI, 2005). Hasta 1999 (INEGI, 2000) estaban reportados un total de 77 establecimientos de hospedaje en la Región de los Cabos que proporcionaban un total de 6474 habitaciones con un

60.5% de ocupación. Aunque en estos últimos años en la Región de los Cabos se han construido varios otros hoteles y residencias, las cifras señaladas por INEGI (2000) ya nos indican la alta afluencia de turistas que visitan las playas de esta región. A esto hay que agregar el turismo interno que va por un día a las playas y que no se registra en ningún hotel.

Según datos del INEGI (2005) Los Cabos posee el mayor porcentaje de turistas extranjeros en relación con el total de llegadas a nivel nacional (80.7%). A esta zona arriban grandes cruceros internacionales, así como un gran número yates. De acuerdo con lo anterior y en relación al acelerado crecimiento de urbanización y demanda de recursos, es previsible que un inadecuado manejo del desarrollo turístico de esta zona, pueda conducir a deterioro en la calidad del ambiente marino y de la zona costera de la que se sustenta la economía de la región. En este contexto, el dinamismo económico y demográfico en Los Cabos, B.C.S. depende de la capacidad de mantener las condiciones de la calidad ecológica de las playas (INEGI, 2005).

El Organismo Operador Municipal del Sistema de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de Los Cabos (OOMSAPASLC, 2009) informa que son aproximadamente 35 Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) las que dan servicio a hoteles y fraccionamientos ubicados en el Corredor Turístico de Los Cabos y 150 más, se encuentran en residenciales individuales; mientras que para uso municipal se tienen 11 PTAR: 3 se ubican en la zona norte: 1 Miraflores con 2.0 Litros Por Segundo (LPS), 1 en Santiago con 1.7 LPS y 1 más en La Ribera con 5.7 LPS. En San José del Cabo se cuenta con la planta de tratamiento de Fonatur Mantenimiento Turístico en San José del Cabo de 150 LPS que se amplía a 100 litros más. En Cabo San Lucas se encuentran en operación y proceso 4 plantas de tratamiento de aguas residuales: Impulsora Rain o El Arenal con 100 LPS; Cabo Pacífica en Miramar con 45 LPS y, la PTAR Country Club que tiene una concesión de 35 LPS.

Las Secretarías de Marina, Medio Ambiente y Recursos Naturales, Salud y Turismo, instrumentaron en febrero de 2003 el Programa Playas Limpias para proteger la salud de los usuarios y mejorar la calidad ambiental de las playas nacionales. En Cabo San Lucas, la

Secretaría de Marina tiene una red de muestreo de 14 estaciones, de las que una se encuentra en el Cabo San Lucas y otra en la playa del Médano 15, estando las otras doce restantes distribuidas en sitios que nos son playas recreativas como es la dársena. En todas ellas, cada tres o cuatro meses han evaluado sólidos en suspensión, Demanda Bioquímica de oxígeno, y nutrientes (nitratos, nitritos, amonio y fosfatos). Los valores más altos de DBO5 han sido registrados en la estación ubicada frente a lo que era la enlatadora ( $5.40\text{mg l}^{-1}$ ) y la cantidad más alta de sólidos en suspensión ( $50\text{ mg l}^{-1}$ ) en la estación ubicada enfrente del apostadero naval. Ambos valores se encuentran por abajo de los límites máximos que establece la NOM-001-ECOL-1996 para aguas costeras destinadas a recreación ( $125$  y  $150\text{mg l}^{-1}$  respectivamente en Promedio Diario;  $75$  y  $75\text{mg l}^{-1}$  respectivamente en Promedio Mensual).

Zeitchel (1969) menciona que en el Golfo de California los niveles de fosfato tienden a aumentar desde la entrada del Golfo hacia el interior, siendo en la parte media donde se encuentran concentraciones de  $0.4$  a  $0.6\ \mu\text{g at l}^{-1}$  en la capa superficial. En aguas costeras con influencia oceánica el fosfato se encuentra en una concentración de  $0.03\ \mu\text{g-at P l}^{-1}$  (Raymon, 1980). Según la escala propuesta por Smith *et al.* (1999), la región de Los Cabos, que ha sido considerada como una zona oligotrófica en relación a la clorofila *a* (Griffiths, 1965; Stevenson, 1970; Valdez-Holguín, 1986; Brinton *et al.*, 1986; Santa María del Ángel *et al.*, 1994), presenta valores medios de  $0.2$ - $0.5\ \mu\text{M NO}_3\text{-NH}_4$  y  $5.0$ - $19.0\ \mu\text{M PO}_4\text{-SiO}_4$  y razones N:P menores de  $5$ - $15$ . Esto indica un predominio de condiciones de oligotrofia ( $I < 3$ ) para el amonio y los fosfatos, así como condiciones de mesotrofia para los nitratos y el sílice. En particular, para la zona sur de San José del Cabo se reporta un proceso de eutrofia para nitratos y sílice. Así también se han registrado en la zona valores máximos de temperatura ( $31^\circ\text{C}$ ) y oxígeno disuelto ( $6.6\ \text{ml l}^{-1}$ ) en agosto del 2004 (López-Cortes *et al.*, 2004), condiciones características de la saturación de oxígeno del agua de mar (Viet-Khoa y Thanh-Bai, 1999).

La concentración de nutrientes no se encuentra considerada en la NOM-001-ECOL-1996 para calidad del agua con fines de recreación. Sin embargo SECMAR reporta que los niveles de nitratos, nitritos y amonio en la región de Los Cabos se encuentran por arriba de lo

recomendado (CONAGUA, 1992) para la protección de la vida acuática en aguas marinas (0.65, 0.04 y 0.55 $\mu$ M respectivamente), mientras que los niveles de fosfatos superan el valor máximo recomendado (1.0 $\mu$ M) en: recreativo contacto primario. A excepción de la playa el Médano 15, en la que SECMAR (2004) no reporta que presente niveles altos de los parámetros analizados, no existe información de otras playas recreativas de esta región. En esta misma región, de noviembre de 2003 a febrero del 2004, CONAGUA estableció 13 estaciones que van del sitio conocido como playa de los Pobres (en Cabo San Lucas) hasta la Playita (San José del Cabo), ubicándose casi todas las estaciones frente hoteles del corredor turístico.

En estas estaciones la CONAGUA evaluó pH, salinidad, condición del viento, coliformes totales, *E. Coli* y enterococos. Lo más sobresaliente de estas mediciones es la alta cuenta de coliformes totales, *E. Coli* y Enterococos que fueron detectadas en algunas playas que, de acuerdo con los criterios emitidos por la Secretaria de Salud (2004), fueron clasificados como bandera roja, que indica riesgo sanitario en la zona. Uno de los sitios que presentaron este problema fue la playa "Los Pobres" en Cabo San Lucas con una cuenta de 4352 NM P/100 ml de *Escherichia coli* en febrero del 2004 y de 1376 NMP/100 ml de enterococos en diciembre del 2003 y otro con problemas de este tipo es "La Playita" en San José del Cabo con cuentas de 624 y 788 NMP/100 ml de enterococos en diciembre del 2003 y febrero del 2004 (CONAGUA, 2004).

Información publicada por SEMARNAT de monitoreos realizados en conjunto con de las Secretarías de Marina (SEMAR), durante 2005 y 2006 indican que la calidad bacteriológica (por enterococos) de las playas recreativas en la región de los Cabos no representa ningún riesgo sanitario para los bañistas (SEMARNAT, 16 portal en red). No obstante, la evaluación de la calidad del agua de mar para uso recreativo en el periodo 2003-2007, realizado por COFEPRIS (2007), indica que las playas ubicadas en Cabo Sol, frente al arroyo el Tule, al noroeste de Médano 15 y Palmilla, presentan niveles de enterococos que representan potencial riesgo sanitario especialmente en y posteriormente a la temporada de lluvias. Por otro lado, no existe información disponible de niveles de metales pesados y de

otros parámetros considerados en la NOM-001-ECOL-1996 como grasas y aceites, cianuros, sólidos sedimentables y materia flotante en playas de esta región.

#### Justificación.

La región de los Cabos es una zona de gran importancia turística a nivel nacional. El desarrollo urbano ha sido sustancial, en donde se concentra casi el 32.1% de la población total del Estado, siendo superado solo por la Ciudad de la Paz con el 42.9% (INEGI, 2010). Asociado a este desarrollo urbano, se encuentran descargas como las generadas por plantas de tratamiento que liberan sus aguas al sistema marino (Coordinación de Vinculación con Zona Federal Marítima. 2004), así como la posible presencia de otras descargas de aguas residuales. A esto hay que agregar el importante acarreo de material terrígeno al sistema marino costero durante la época de huracanes. Existen programas de monitoreo por parte de CONAGUA, la Secretaría de Salud (SSA) y la Secretaría de Marina (SEMAR) en esta zona, pero hace falta reforzar la base de datos con información que no ha sido generada hasta el momento o que al menos no se encuentra disponible, de parámetros establecidos por la NOM-001-SEMARNAT-1996 como son niveles de arsénico, cadmio, cianuro, cobre, cromo, mercurio, níquel, plomo, zinc, grasas y aceites, materia flotante, y sólidos sedimentables.

Para poder determinar el impacto causado por la introducción de cualquier fuente contaminante en un ecosistema acuático, es imprescindible conocer tanto cualitativa como cuantitativamente los parámetros que determinan la calidad del agua del medio marino, con el fin de no alterar su estabilidad, persistencia y utilidad de recursos. Por ello los estudios de caracterización ecológica son indispensables para establecer mecanismos de conservación y óptimo aprovechamiento de los recursos de los ambientes costeros (National Research Council, 2000).

Esta información junto con la que ya ha sido generada por CONAGUA y SEMAR, será útil para fortalecer programas de protección ambiental, no solamente por lo ya mencionado sino también para identificar que parámetros, además de los monitoreados mensualmente por CONAGUA y SEMAR, deben ser evaluados rutinariamente.

## Objetivo.

Evaluar la calidad del agua de las playas y estimar las variaciones en la circulación litoral generada por oleaje a fin de contribuir al entendimiento de la hidrodinámica de la zona costera de la región de Los Cabos, B.C.S. relacionada con posible dispersión de contaminación bacteriológica fecal.

## Objetivos específicos:

- Determinar las variables fisicoquímicas y nutrientes que expliquen los niveles de bacterias coliformes totales.
- Evaluar la variación espacio-temporal de coliformes totales en el área de estudio.
- Modelar la contaminación bacteriológica por coliformes totales en función a las variables ambientales.
- Determinar que playas presentaron niveles altos de coliformes totales que pueden representar un riesgo a la salud y al deterioro del ambiente de acuerdo a los criterios establecidos por las normativas vigentes.
- Estimar las direcciones predominantes de corrientes litorales a partir de siete diferentes escenarios posibles de incidencia de oleaje, generando simulaciones de un modelo numérico de propagación de oleaje (SWAN), y su relación con la posible dispersión de contaminantes.

## Hipótesis.

El acelerado desarrollo turístico y demanda de recursos pueden producir áreas impactadas por contaminación bacteriológica de origen fecal que degraden la calidad del agua representando un potencial riesgo toxicológico para la salud y el ambiente. Los sitios donde predominantemente existen los valores más altos de contaminación fecal en agua superficial costera de la región de Los Cabos, estarán asociados al flujo de la corriente litoral inducida por oleaje, que puede variar estacionalmente.

## **Materiales y Métodos.**

### Área de Estudio.

El corredor turístico-urbano del municipio de Los Cabos se localiza en la zona costera del extremo sur de la península de Baja California Sur y comprende a las localidades de Cabo San Lucas y San José del Cabo con sus respectivas zonas conurbadas, así como al corredor turístico: franja costera con una extensión aproximada de 33km de largo y 2km de ancho que une a las localidades de Cabo San Lucas y San José del Cabo (Figura 1).

### Hidrología.

En el municipio de Los Cabos existen zonas con sobreexplotación del manto freático, como son la cuenca de San José del Cabo y las zonas bajas de la Sierra de la Laguna por el vértice de este municipio. El flujo subterráneo en la zona ocurre en depósitos aluviales que constituyen un acuífero de tipo libre cuya mayor fuente de recarga depende de las lluvias torrenciales asociadas a los ciclones (85% del total en volumen) (Valdez-Aragón, 2006). Debido a esta dependencia hacia la lluvia, la cantidad de agua disponible presenta notables oscilaciones interanuales, que van de la mano con la precipitación promedio anual. Normalmente la recarga varía entre 6 millones de  $m^3$  año<sup>-1</sup> y 20 millones de  $m^3$  año<sup>-1</sup>, aunque ha habido años en los que se alcanzan hasta 30 millones de metros cúbicos de reserva (Wurl *et al.*, 2008).

La Cuenca de San José está comprendida entre los meridianos 109°33'10" y 109°59'49" de longitud Oeste y entre los paralelos 23°03'02" y 23°27'20" de latitud Norte. El área de la cuenca es de 1,279  $m^2$  y está delimitada por los parteaguas de la Sierra La Trinidad al Este y la Sierra La Laguna al Oeste. Al Norte limita con el poblado de Miraflores y al Sur con el Estero de San José, el cual desemboca al Océano Pacífico. Esta cuenca pertenece a la Región Hidrológica Seis de Baja California Sur-Este (La Paz), considerada como una de las más importantes por el área tributaria que presenta una extensión de 1,279  $km^2$ . Está delimitada por los parteaguas de la Sierra La Laguna y de La Trinidad, que con sus escurrimientos superficiales de carácter intermitente, por la escasa precipitación y



permeabilidad de los materiales, alimentan la corriente principal que forma el arroyo San José. Este recibe por su margen derecha a los arroyos Miraflores, Caduaño, La Palma, San Miguelito, San Lázaro, Santa Anita y el Saltillo. Su margen izquierdo, que corresponde a la vertiente occidental de la Sierra del Venado, no recibe corrientes de importancia ya que el piso está formado de rocas impermeables. En la parte occidental la región de San José tiene amplias terrazas de aluviones de características semipermeables. La red de drenaje que alimenta al arroyo San José es de tipo dendrítico o radial y subparalelo, pues sigue un patrón de fracturas de NE-SO casi E-O, que se originan en la Sierra La Trinidad y en la Sierra La Laguna (Flores, 1998; Hernández, 1998).

El arroyo San José amplía su cauce en las proximidades de su desembocadura, descargando en la Laguna de Cortés; luego, al acercarse al mar la laguna se transforma en el Estero San José, un cuerpo de agua dulce protegido del mar por una barra arenosa de aproximadamente 1 km de largo por 50 de ancho máximo. Este estero tiene una superficie de 50 hectáreas, con profundidad media de 1.4 m, y es el único cuerpo de agua permanente y de tamaño significativo en el sur de la península. En épocas de lluvias extraordinarias el escurrimiento del río rompe la barra descargando directamente al mar, pero generalmente esta se regenera por transporte litoral durante el invierno (Puy Alquiza, 1995).

La cuenca de Cabo San Lucas, ocupa una superficie aproximada de 481km<sup>2</sup>, corresponde a la región hidrológica número seis, en las confluencias del Golfo de California y el Océano Pacífico. Limita al norte con la cuenca de San José del Cabo, al Sur con el Océano Pacífico, al oeste con la cuenca de Migriño el Océano Pacífico y al este con el Golfo de California. La cuenca de San Lucas de forma alargada en dirección norte-sur, está delimitada geográficamente de acuerdo a los siguientes vértices: 1) 22 ° 58' 46" y 110° 04' 48", 2) 23 ° 06' 49" y 109 ° 54' 54", 3) 23 ° 01' 46" y 109 ° 43' 12", y 4) 22 ° 52' 30" y 111 ° 55' 12"; siguiendo la línea de costa hasta cerrar con el vértice número uno (Anónimo, 2008). Dentro de la cuenca se tiene una amplia planicie aluvial en la parte central de la cuenca formada principalmente por el arroyo Salto, que desemboca en la Bahía San Lucas (Rojas-Soriano y Álvarez-Arellano, 2007).

Clima.

Baja California Sur se localiza dentro de la influencia del cinturón de desiertos que corre alrededor del globo terráqueo. La causa principal de estos desiertos o regiones áridas es que coinciden con las celdas o zonas permanentes de alta presión, con aire seco y descendente, que dominan en latitudes entre 23° y 30° norte y sur. Además de su posición geográfica, la influencia de la corriente fría de California que baña las costas occidentales de la península ocasiona una inversión térmica y pluviométrica acentuando las condiciones de aridez, es por ello que aproximadamente tres cuartas partes de la entidad es árida, y las porciones que no lo son, como es el caso de la Sierra La Laguna, en el sur, con una altura máxima mayor a 2,000m, lo deben a su gran elevación (Flores, 1998).

De acuerdo con la clasificación de climas de Koeppen, la posición geográfica del área de estudio determina en gran parte su clima, por medio de los siguientes factores: altas presiones subtropicales del Pacífico Norte, la corriente fría de California, así como las tormentas tropicales que generan el mayor volumen de precipitación durante el verano.

En el área de estudio y de acuerdo con la información de la carta de climas de Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO, 1997) en la Cuenca de San José y en el corredor turístico-urbano de Los Cabos se encuentran representados 6 tipos climáticos. En la porción noreste de la cuenca, sobre las zonas más elevadas de la Sierra La Trinidad se presenta un clima BWhw, el cual corresponde a un clima muy árido, semicálido, con una temperatura media entre 18°C y 22°C, donde la lluvias se presentan principalmente en verano. En las laderas de esta sierra, así como en las partes bajas de la cuenca y en las zonas bajas de la Sierra La Laguna predomina un clima de tipo BW(h')w, el cual se caracteriza por ser muy árido, cálido, con temperatura media anual mayor de 22°C, lluvias en verano y un porcentaje de lluvias invernales de 5 al 10% del total anual.

En una pequeña región al noroeste de la cuenca, representada por la estación de Agua Caliente se presenta un clima BSo(h')(w), árido, cálido, que ocupa 4% del área de la cuenca. En las partes medias de la Sierra La Laguna entre las costas de 300 y 800 m.s.n.m. se presenta un clima de tipo BSohw que se caracteriza por ser árido y semicálido, con temperatura media anual entre 18°C y 22°C. En altitudes mayores, entre las cotas de 800 y 1000m.s.n.m., el

clima es de tipo BS1kw semiárido, templado, con temperatura media anual entre 12°C y 18°C. La temperatura del mes más frío puede llegar a -3°C. En las partes más elevadas de la Sierra La Laguna el clima es C(wo) templado subhúmedo, con una temperatura media anual entre 12° y 18°C. De estos climas el predominante es BW(h)´w que se presenta en 46% de la superficie de la cuenca, siguiéndole el clima C(wo) con 19%, BSokw con 18% y BS1kw con 11%. Los climas predominantes son BWhw que se presentan en 2% de la superficie de la cuenca y BSo(h´)w con 4%.

#### Precipitación y ciclones.

La precipitación y evapotranspiración real en la cuenca San José se estima en 408 mm y 318 mm promedio anual, respectivamente (Wurl *et al.*, 2007). La recarga en el balance hídrico es de 19.3 mm, lo que representa 24 Millones m<sup>3</sup> para la cuenca de San José. Los datos sobre balance hídrico en la cuenca indican que existe una recarga de aproximadamente 5% del total de la precipitación, alrededor de 17% en escurrimientos y más del 75% de la precipitación se pierde por evapotranspiración (Wurl, et al. 2007). Sin embargo existe una gran variabilidad en el corto plazo, la cual depende en gran medida de la incidencia de ciclones tropicales en la zona a una distancia menor a 800 km de la costa (Wurl *et al.*, 2007).

Los ciclones son uno de los factores que influyen de manera fundamental en el clima de la región de Los Cabos. Su formación como ciclones tropicales se desarrolla en la vertiente nororiental del Océano Pacífico tocando tierra en la región por lo menos dos veces al año (Bitrán *et al.*, 2002). Las lluvias que tienen lugar en la región provienen en gran parte de los ciclones y provocan las mayores lluvias entre los meses de julio a noviembre (Martínez-Gutiérrez y Mayer, 2004). Wurl y colaboradores (2007), estimaron un porcentaje promedio anual de 46% de precipitación asociada a los ciclones en el periodo comprendido entre 1980 y 2000 para el acuífero de San José del Cabo.

Aunque todo el estado de B.C.S. está expuesto a los ciclones tropicales, en el sur la probabilidad de afectación de estos fenómenos es mayor, en tan solo seis años, del 2000 al 2006, en total la región ha recibido 10 meteoros (NOAA, 2009, **8** y **9**). La actividad ciclónica se observa principalmente entre los meses de agosto y octubre, y es frecuente que fenómenos

meteorológicos como tormentas tropicales y huracanes se aproximen a las costas de San José del Cabo (Martínez-Gutiérrez y Mayer, 2004). Por ejemplo, en 2005 la región estuvo afectada solo por el huracán “Otis” (categoría 2, en Octubre), y en 2006 recibió la influencia de la tormenta tropical “Emilia” en Agosto, y de “John” y “Paul” (categorías 4 y 2, respectivamente) en Septiembre y Agosto (NOAA, 2009, **8 y 9**).

En época de ciclones se presentan avenidas torrenciales que dan lugar a inundaciones; sin embargo, la periodicidad de avenidas extraordinarias es baja. El problema de inundaciones ha estado presente con una recurrencia aproximada de 11 años, sobre todo en los cauces de ríos que se desbordan en épocas de precipitaciones extraordinarias, y generan grandes escurrimientos con efluentes que van a dar al mar (Bitrán *et al.*, 2002). Estos efluentes pueden acarear material terrígeno, material fecal y bacterias asociadas (coliformes totales, fecales, enterococos, *E.coli*, *etc.*), exceso de nutrientes y otros contaminantes (por ejemplo sólidos suspendidos, grasas y aceites, *etc.*) que deterioran la calidad de agua de las playas que los reciben (Wong-Chang y Barrera-Escorcía 1996; Mendoza-Salgado *et al.*, 2005; Figuero-Zavala 2007).

A continuación se presenta la metodología del presente trabajo dividida en dos partes: I. Evaluación de la Calidad del Agua y II. Modelación de la corriente litoral inducida por oleaje.

#### I. Evaluación de la Calidad del Agua

Trabajo de campo y laboratorio.

El CIBNOR en conjunto con la Secretaría de Marina y CONAGUA realizaron monitoreo de la calidad de agua de mar en playas recreativas ubicadas entre Cabo San Lucas y San José del Cabo, B.C.S., México (Figura 1). Los muestreos se realizaron en marzo, junio, septiembre del 2005 y en enero y mayo del 2006. Los procedimientos para la toma de muestras de los diferentes parámetros fueron conforme lo recomendado en Gómez-Mendoza y Sánchez-Zarza (2005), Arce-Velázquez (2005) y Secretaría de Salud (2004). En los dos primeros muestreos en marzo y junio 2005 se identificaron 13 estaciones de monitoreo: Estero, Costa Azul 3, Costa Azul 4, Acapulquito, Palmilla, Playa Cabo Real 7, Playa Cabo

Real 8, Chileno, Santa María, Barco Varado, Médano 15, Mango y Playa del Amor. Posteriormente, en septiembre 2005 y enero y mayo del 2006, se monitorearon cuatro estaciones más (Arroyo Salto, Arroyo Tule, Médano 14 y Coral Negro) y dos testigos (Playitas y Testigo). Cada uno de estos sitios fue georeferenciado utilizando un GPS marca Garmin modelo 12XL. Varios de los sitios seleccionados se encuentran contemplados en la red de monitoreo de CONAGUA, lo cual permitirá que estos los resultados de los análisis que se realicen sean comparables con información ya obtenida o que se genere posteriormente a este estudio.

Los parámetros analizados son los contemplados en las NOM-001-SEMARNAT-1996, son temperatura (NMX AA-007-SCFI-2000), grasas y aceites (NMX-AA-005-SCFI-2000), materia flotante (NMX-AA-006-SCFI-2000), sólidos sedimentables (NMX-AA-004-SCFI-2000), sólidos suspendidos totales (NMX-AA-34-1981), demanda bioquímica de oxígeno (NMX-AA-028-2001), y coliformes totales (NMX-AA-042-1987). Todos los procedimientos para los análisis se realizaron conforme los métodos reconocidos por normas mexicanas. Los análisis se realizaron en el CIBNOR, CONAGUA, en el Tecnológico de León y algunos fueron enviados al laboratorio ASA (acreditado para análisis de aguas).

Adicionalmente fueron georeferenciadas fuentes contaminantes en la región de los Cabos con apoyo de la Secretaria de Marina y CONAGUA. Con base a los resultados de los análisis se determinarán cuales son los riesgos toxicológicos en la región de los Cabos, identificando los parámetros que son recomendables monitorear con más frecuencia para asegurar la salud de la población que utiliza las playas, llevando a cabo la interpretación de los resultados mediante la revisión bibliográfica de criterios nacionales e internacionales.

Los muestreos se llevaron a cabo el 4 de marzo, el 11 de junio, el 29 de septiembre, 12 de enero y el 3 de mayo del 2006. Los cuatro primeros muestreos fueron en lancha, la cual se buscó se acercará lo más posible al sitio en donde estuvieron los bañistas. El último recorrido se realizó a pie, participando personal de CONAGUA, Secretaria de Marina y CIBNOR con asesoramiento de Zona Federal Marítimo Terrestre (ZOFEMAT). En este último muestreo se tomaron muestras de agua en los mismos sitios pero en la playa. En este mismo recorrido se

georeferenciaron sitios en donde existen descargas, tomado muestras de las que se encontraron operando. También se georeferenciaron arroyos que afectan con la descarga de material terrígeno en época de lluvias así como los lugares donde existen basureros u otras fuentes de contaminación. Los dos primeros muestreos se utilizaron lanchas de pescadores y en las tres restantes embarcaciones y personal de la Secretaria de Marina.

En los primeros dos muestreos se tomaron 3 muestras de agua de cada sitio, lo que representó 39 muestras de los parámetros comprometidos en el estudio (temperatura, pH, salinidad, grasas y aceites, y análisis bacteriológicos). Se incluyeron algunos análisis extras como nitratos, nitritos, amonio y ortofosfatos con la finalidad de caracterizar en lo posible las manchas contaminantes que existen en el entorno muestreado. Dado la reproducibilidad de los datos se decidió tomar menos muestras de agua por estación pero ampliar el número de ellas a 17 agregando dos sitios testigos. Las muestras se han analizado en laboratorios acreditados por EMA (Entidad Mexicana de Acreditación). Además de las muestras se analizaron blancos de viaje.

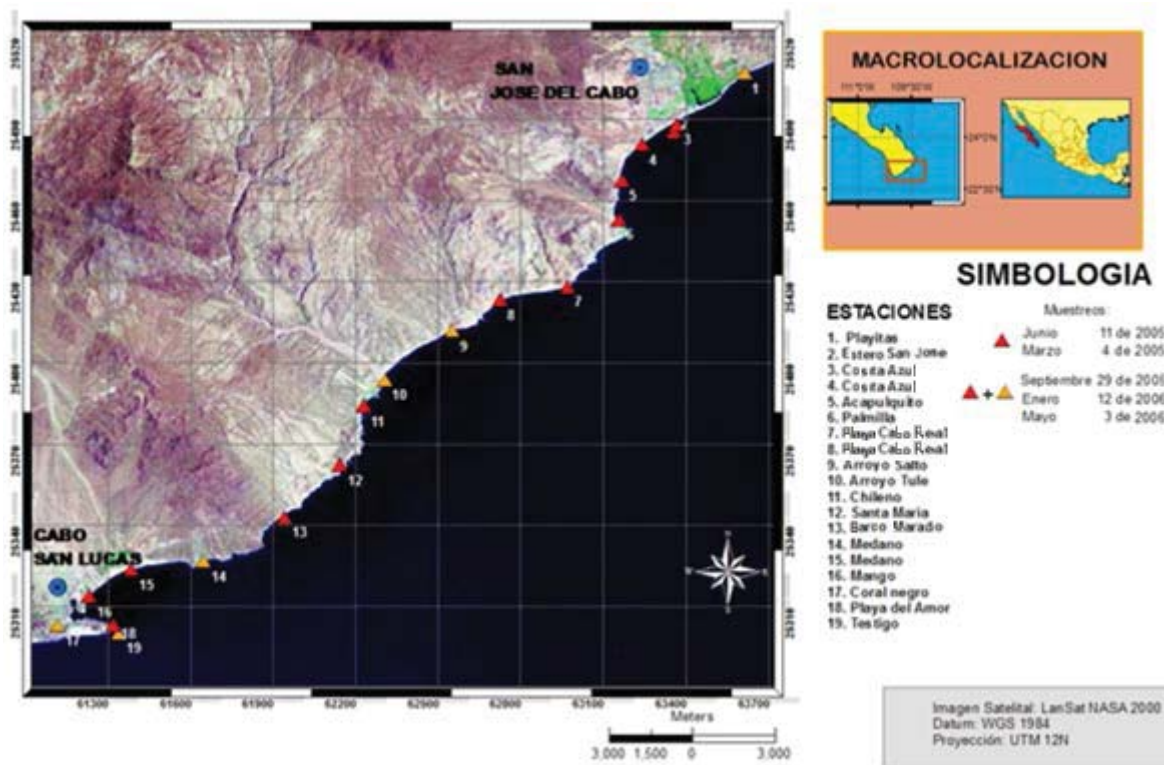


Figura 1. Área de Estudio y ubicación de las estaciones en la costa de la región de los Cabos, B.C.S. México.

#### Análisis de datos.

Para el procesamiento de datos se calculó los valores promedio de cada uno de los parámetros analizados para caracterizar la condición de cada playa de estudio en función a las variables involucradas y considerando la variabilidad temporal (Zar, 1996). La calidad sanitaria del agua se interpreto siguiendo normativas nacionales: NOM-001-ECOL-1996, Criterios Ecológicos CCE (1989) e internacionales: Environmental Protection Agency, National U.S. (EPA., 2000; 2002). En México, no existen límites para coliformes totales, en los casos de uso recreativo con contacto primario y protección de la vida acuática, por lo que se siguió el criterio de Rheinheimer (1987) de 500 coliformes totales/100ml para interpretar a este grupo. Se realizo la estadística básica, de normalidad de los datos con la prueba de bondad de ajuste Kolmogorov-Sminov y de homocedasticidad de Barlett (Zar 1996). Estas pruebas se realizaron con el programa STATISTIC versión 7.0, a un nivel de confianza del 95%.

Los datos transformados con raíz cuadrada no presentaron una distribución normal (Tabla I), Debido a esto, se procedió a analizar por set de datos (por zona) los niveles de bacterias coliformes totales en función de las variables ambientales (físicoquímicas y nutrientes) mediante un modelo lineal generalizado con distribución binomial negativa.

Tabla I. Resultados de normalidad Kolmogorov-Sminov con datos transformados con raíz cuadrada (N=83 y valor de significancia  $p < 0.05$  **Distribución No Normal**).

Variable	Estadístico D	$p$
Temperatura	0.23713	<b>&lt;0.01</b>
Oxígeno Disuelto	0.15036	<b>&lt;0.05</b>
Salinidad	0.11543	> 0.20
Potencial de Hidrogeno	0.13314	<0.15
Grasas y Aceites	0.23684	<b>&lt;0.01</b>
Amonio	0.25498	<b>&lt;0.01</b>
Nitrito	0.3056	<b>&lt;0.01</b>
Nitrato	0.13612	<0.10
Fosfatos	0.09475	>0.20
Sólidos Suspendidos Totales	0.12626	<0.15
Coliformes Totales	0.30453	<b>&lt;0.01</b>

Una vez identificadas cada una de las variables (que no fueran redundantes), así como la familia de distribución a la que se apegan los datos se procedió a ajustar los modelos. En primer lugar, se construyó un modelo nulo, donde el IAR (índice de abundancia relativa) de los niveles de bacterias coliformes no fuera explicado por ninguna variable. Se procedió a aumentar el modelo, utilizando la metodología de regresión lógica por pasos en la que se quitan y se incorporan las variables del modelo en diferentes combinaciones y se verifica el grado de afectación de su poder explicativo. El método de selección de las mejores variables fue usando el criterio de información de Akaike (AIC) y la devianza residual (Nelder y Wedderburn, 1972). Este análisis fue implementado con el software estadístico R versión 2.10 (R-Project, disponible en <http://cran.r-project.org>).



Adicionalmente, se incluyó el cálculo del índice del estado trófico de las estaciones y de las zonas dentro del sitio de estudio utilizando el índice propuesto por Karydis y colaboradores (1983). Esta metodología se basa en las concentraciones medias de cada nutriente determinado en los sitios de muestreo. Se considera que los valores del índice menores a tres presentan una condición oligotrófica, valores de tres a cinco mesotrófica y valores mayores a cinco presentan condición eutrófica. Este índice es de gran utilidad, ya que los resultados dependen de las condiciones propias del sitio y no la comparación entre localidades y con la misma localidad a través del tiempo (Herrera-Silveira *et al.*, 2000).

$$I = \frac{C}{C - \text{Log } x} + \text{Log } A$$

Donde  $I$  Índice Trófico,  $C$  logaritmo de la suma total,  $x$  suma total de la concentración del nutriente,  $A$  número de estaciones.

## II. Modelación de la corriente litoral inducida por oleaje.

La información de las condiciones oceanográficas obtenida del presente trabajo forma parte de un estudio de la evaluación de la calidad del agua en playas y se ha utilizado aquí para observar los patrones de dirección de la corriente litoral generada de acuerdo a los diferentes escenarios planteados en la región de Los Cabos, B.C.S. México.

A partir de los datos de las estadísticas de oleaje obtenidos del Atlas de Clima Marítimo de la vertiente Pacífica Mexicana (II-UNAM-2007), se plantearon siete posibles escenarios de oleaje en la región de Los Cabos (Tabla I). A partir de las mediciones adquiridas se alimentó un modelo operacional de oleaje, SWAN, utilizando el software Delft3D.

Delft3D es un sistema de modelación 2D/3D que permite investigar la hidrodinámica, transporte de sedimentos, la morfología y la calidad de agua de ríos, estuarios y ambientes costeros. Incluye módulos hidrodinámicos, FLOW y SWAN WAVE, que pueden ser acoplados para por ejemplo obtener las corrientes inducidas por el oleaje, estimando sus

velocidades y el patrón de direcciones. Este tipo de análisis es de gran utilidad en estudios de dispersión de partículas (e.g. contaminantes) en la zona costera.

El modelo SWAN (Simulating WAVes Nearshore) desarrollado por la Universidad Tecnológica de Delft (TU Delft) puede simular oleaje en aguas profundas, intermedias y específicamente en aguas someras, además de poder manejar una resolución espacial detallada; alrededor de los  $0.01^\circ$ . SWAN es un modelo de dominio público y puede ser obtenido directamente del Laboratorio de Hidráulica de la Universidad Tecnológica de Delft, Holanda (portal en internet **13**).

El modelo SWAN se ajusto a las características antes descritas, por lo que se uso para la modelación de los datos recopilados como parte del trabajo de la presente tesis. Se ingresaron al modelo como recursos de entrada una malla ajustada de la batimetría del área de estudio y las estadísticas de oleaje de los siete escenarios que se pretendía modelar (Tabla II).

La batimetría fue extraída de información disponible de la National Oceanographic y Atmospheric Administration (NOAA; <http://coastwatch.pfeg.noaa.gov>) obtenida de ETOPO2v2 con una resolución espacial de  $0.03^\circ$ . Se realizó una interpolación Kriging a los datos obtenidos de la imagen satelital para tener una mejor resolución de la malla, de tal manera que esta representara la batimetría cercana a la costa (variograma anisotrópico exponencial  $r^2:0.9$  error estándar: 0.001). La dimensión de la malla es de 276 por 57 puntos y con una resolución variable que va desde aproximadamente 130 metros cerca de la costa hasta alrededor de 260 metros hacia el mar. Las fronteras de la malla fueron de tipo abierto. La malla curvilínea incluyo el área de estudio comprendida desde San José del Cabo ( $23^\circ 3' 38.35''$  N  $109^\circ 40' 15.79''$  W) hasta Cabo San Lucas ( $22^\circ 52' 03.89''$  N  $109^\circ 53' 44.74''$  W), con una dimensión espacial aproximadamente desde la línea de costa a los 14km de mar adentro (offshore).

Tabla II. Escenarios de oleaje en la región de los Cabos, B.C.S. México. Información tomada del Atlas de Clima Marítimo de la vertiente Pacífica Mexicana (II-UNAM-2007). La Hs se mantuvo constante debido a que en todos los casos era aproximadamente muy cercana a un metro.

Angulo $\Theta$ (°)	Periodo T (seg)	Altura Significante Hs (m)	Dirección
292	10	1	NW
315	10	1	NW
135	6	1	SE
180	11	1	S
112	5	1	SE
270	5	1	W
225	5	1	SW

Dado que la magnitud de la corriente litoral (longshore o litoral),  $v_l$ , es función del ángulo del oleaje de rotura ( $\alpha_b$ ), entre mas oblicuo sea el ángulo de incidencia del oleaje con respecto a la costa mayor será la probabilidad de generación de una corriente litoral. En contraste, si el oleaje incide perpendicular a la costa, con ángulo de incidencia cero, la corriente litoral también será nula (debido a la disipación de la energía del oleaje). Por tanto, el patrón de dirección del la corriente litoral está en función del ángulo de incidencia del oleaje y al gradiente de altura de las olas.

Mosso-Aranda (2004) encontró que el modelado numérico de las corrientes es más sensible al ángulo de aproximación que el modelado numérico del campo de alturas de ola, por lo que, al predecir las corrientes, es necesario una mayor precisión en las medidas del ángulo de aproximación del oleaje. De ahí que en el presente se mantuvo la altura de la ola constante (1m, la cual además no presentaba gran variación  $\pm 0.2$  entre los escenarios reportados) y el ángulo de incidencia del oleaje represento el parámetro de interés.

Corrientes litorales inducidas por el viento.

Durante el monitoreo de la calidad del agua del presente trabajo se realizó una campaña de medición de las corrientes litorales inducidas por el viento del 7 al 9 de febrero de 2007. Esta coincidió con las elevaciones mínimas de marea del mes (-0.98m), durante un ciclo de 48 horas donde se presentaron dos pleamares y dos bajamares. En el mes las elevaciones máximas fueron de 0.89 m y el rango de marea fue de 1.9m. El comportamiento de la marea en Cabo San Lucas, B.C.S. es mixto semidiurno. En la medición de corrientes se utilizaron cuatro crucetas de deriva, lanzadas a intervalos de 15 minutos por transecto perpendicular a la línea de playa. Para calcular la velocidad de corriente ( $v = \text{distancia} / \text{tiempo}$ ), la posición se obtuvo por medio de posicionamiento global con una ecosonda-gps marca Garmin modelo GPSmap178 Sounder, la cual se utilizó para determinar la distancia recorrida ( $d$ ) en el tiempo seleccionado ( $t$ ) igual a 15 minutos. Los transectos de corrientes se ubicaron de acuerdo a los puntos de interés del muestreo de calidad del agua y se realizaron un total de 12 con mediciones en 4 secciones del transecto.

Resultados.

## I. Evaluación de la Calidad del Agua

Resumen datos descriptivos.

En el muestreo de marzo la temperatura más alta se registró en la playa del Médano 15 con un valor de  $21.1^{\circ}\text{C}$ , la más baja se registro frente al hotel Costa Azul 3 con un valor de  $20.3^{\circ}\text{C}$ ; presentándose así una media de  $20.7 \pm 0.184^{\circ}\text{C}$ . El valor más alto de oxígeno disuelto fue de  $5.10\text{ mg l}^{-1}$  en Barco Varado (también referido como Barco Varado) y el más bajo de  $4.19\text{ mg l}^{-1}$  frente al Estero, presentándose una media de  $4.82 \pm 0.242\text{ mg l}^{-1}$ . En cuanto a los valores de conductividad eléctrica, el más alto de  $51.7$  se encontró en las playas de Acapulquito, Santa María y Playa del Amor, el más bajo fue de  $49.8\text{ mS}$  en el Chileno; se presentó aquí una media de  $51.2 \pm 0.578\text{ mS}$  La salinidad más alta se registró en la Playa del Amor con un valor  $34.1\text{ ups}$ , el valor más bajo fue de  $32.7\text{ ups}$  en la playa del Chileno, con una media de  $33.7 \pm 0.395\text{ ups}$  (Tabla III).

Durante el segundo muestreo, realizado en el mes de Junio, la temperatura más alta fue  $24.1^{\circ}\text{C}$  en la playa del Costa Azul 4, mientras que el valor más bajo fue de  $20.5^{\circ}\text{C}$  frente a la playa del Mango; presentándose una media de  $22.4 \pm 1.27^{\circ}\text{C}$ . Para el oxígeno se registro el valor más alto enfrente de la playa del hotel Barco Varado ( $4.97\text{ mg l}^{-1}$ ), mientras que el más bajo fue en Estero ( $4.6\text{ mg l}^{-1}$ ), con una media de  $4.77 \pm 0.109\text{ mg l}^{-1}$ . El valor más alto de conductividad eléctrica en este mes fue de  $51.9\text{ mS}$  en la playa frente al hotel Barco Varado y el más bajo de  $50.9\text{ mS}$  en Estero, presentándose una media de  $51.6 \pm 0.256\text{ mS}$ . La salinidad más alta se registró en la Playa frente al hotel Costa Azul 3, con un valor de  $34.2\text{ ups}$ , las más baja fue en Estero con un valor de  $33.5\text{ ups}$ ; la media fue de  $34 \pm 0.175\text{ ups}$  (Tabla IV).

En el mes de septiembre la temperatura más alta registrada fue de  $30.4^{\circ}\text{C}$ , esto en Playitas, Estero, Costa Azul 3 y Costa Azul 4; la más baja fue de  $29.3^{\circ}\text{C}$  en la playa Santa María. El promedio fue de  $30 \pm 0.304^{\circ}\text{C}$ . El oxígeno por su parte tuvo el valor más alto en Costa Azul 3 y Acapulquito ( $6.05\text{ mg l}^{-1}$ ) y el más bajo en Médano 14 ( $5.33\text{ mg l}^{-1}$ ). El promedio fue de  $5.8 \pm 0.183\text{ mg l}^{-1}$ . En cuanto a conductividad eléctrica el valor más alto fue

de 52.4 mS, esto en Playitas y en las playas frente al Costa Azul 3, Costa Azul 4, Acapulquito, Playa Cabo Real 7 y Médano 14; el más bajo fue de 51.4 mS en la estación testigo. El promedio fue de  $52.2 \pm 0.234$  mS. La salinidad más alta fue de 34.4 ups, en Costa Azul 3, Acapulquito y Médano 14; la más baja fue de 33.8 ups en la estación testigo. Se presento una media de  $34.2 \pm 0.136$  ups (Tabla V). La temperatura más alta registrada en enero fue de 23.1° C en playa Coral Negro y el Testigo, la más baja fue de 20.7° C en Playitas y Estero. El promedio fue de  $21.7 \pm 0.75$ °C. El valor más alto de oxígeno fue de 6.86 mg l<sup>-1</sup> en Arroyo Tule, mientras que el más fue de 5.83 mg l<sup>-1</sup> en el testigo, con un promedio de  $6.50 \pm 0.253$  mg l<sup>-1</sup>.

Con respecto a la conductividad eléctrica, el valor más alto registrado fue de 51.7 mS en el testigo, siendo el más bajo de 50.8 mS en Playitas y Estero. El promedio fue de  $51.4 \pm 0.23$  mS. La salinidad más alta se registró en el testigo (34.1 ups) y la más baja en Playitas y Estero (33.4). Presentándose una media de  $33.8 \pm 0.17$  ups (Tabla VI).

En el quinto muestreo, realizado en el mes de mayo, la temperatura más alta se registró en Playitas, con un valor de 23.9° C; y la más baja en Mango, playa Coral Negro y Playa del Amor, con un valor de 21.4° C. El promedio fue de  $22.8 \pm 0.84$ °C. Para el oxígeno, el valor más alto fue de 6.6 mg l<sup>-1</sup> en las playas ubicadas frente a arroyo Tule y hotel Barco Varado; el valor más bajo registrado fue de 6.1 mg l<sup>-1</sup> en Médano 15 y en Playa del Amor. Se presentó aquí una media de  $6.3 \pm 0.17$  mg l<sup>-1</sup>. La conductividad eléctrica, por su parte, tuvo el valor más alto en la playa Santa María (51.4 mS) y el más bajo en Playitas y Estero (50.3 mS). El promedio fue de  $51 \pm 0.31$  mS. Al igual que en conductividad eléctrica en la playa de Santa María se registró la mayor salinidad, con un valor de 33.8 ups, y la menor se registro en Playitas y Estero con un valor de 33.2 ups. El promedio fue de  $33.5 \pm 0.167$  ups (Tabla VII).

Tabla III. Georeferencia (UTM) de las estaciones monitoreadas durante el mes de 4 de marzo del 2005 y valores de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), oxígeno ( $\text{mg l}^{-1}$ ), conductividad eléctrica (S), salinidad (UPS), oxígeno, conductividad eléctrica, salinidad, y presencia de de materia flotante.

Estación	Latitud	Longitud	Temperatura	OD	CE	Salinidad
Estero	636156	2550662	20.7	4.19	50.3	33.2
Costa Azul 3	633566	2548497	20.3	4.91	51.4	33.5
Costa Azul 4	632396	2547781	20.6	4.80	51.4	33.8
Acapulquito	631776	2546395	20.7	4.64	51.7	34.0
Palmilla	631666	2545033	20.8	4.61	51.1	33.6
Playa Cabo Real 7	630661	2543040	20.8	4.96	51.6	34.0
Playa Cabo Real 8	628130	2542039	20.7	4.74	51.5	33.9
Chileno	622880	2538403	20.7	4.84	49.8	32.7
Santa María	621762	2535923	20.6	4.94	51.7	34.0
Barco Varado	619994	2534394	20.9	5.10	51.6	34.0
Médano 15	614154	2532258	21.1	4.97	51.2	33.7
Mango	612575	2531305	20.7	4.97	51.1	33.6
Playa del Amor	613275	2530172	20.6	5.07	51.7	34.1

Tabla IV. Georeferencia (UTM) de las estaciones monitoreadas durante el 11 de junio del 2005 y valores de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), oxígeno ( $\text{mg l}^{-1}$ ), conductividad eléctrica (S), salinidad (UPS), y presencia de de materia flotante.

Estación	Latitud	Longitud	Temperatura	Oxígeno	CE	Salinidad
Estero	636127	2550436	23.7	4.6	50.9	33.5
Costa Azul 3	633845	2548878	23.8	4.71	51.8	34.2
Costa Azul 4	632695	2548107	24.1	4.68	51.8	34.1
Acapulquito	631790	2546695	23.6	4.71	51.7	34.0
Palmilla	631652	2545243	23.8	4.66	51.8	34.1
Playa Cabo Real 7	629989	2542861	22.0	4.71	51.7	34.0
Playa Cabo Real 8	627515	2542338	22.3	4.78	51.7	34.0
Chileno	622387	2538508	23.0	4.73	51.8	34.1
Santa María	621642	2536130	22.0	4.86	51.8	34.1
Barco Varado	619928	2534624	21.9	4.97	51.9	34.1
Médano 15	614204	2532480	20.9	4.88	51.5	33.9
Mango	612481	2531513	20.5	4.83	51.5	33.9
Playa del Amor	613230	2530349	20.7	4.91	51.6	34.1



Tabla V. Georeferencia (UTM) de las estaciones monitoreadas el 29 de septiembre del 2005 y valores de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), oxígeno ( $\text{mg l}^{-1}$ ), conductividad eléctrica (S), salinidad (UPS), y presencia de de materia flotante.

Estación	Latitud	Longitud	Temperatura	Oxígeno	CE	Salinidad
Playitas	636156	2550662	30.4	6.0	52.4	34.3
Estero	633566	2548497	30.4	5.97	52.0	34.1
Costa Azul 3	633701	2548784	30.4	6.05	52.4	34.4
Costa Azul 4	632451	2548034	30.4	5.92	52.4	34.3
Acapulquito	631722	2546722	30.3	6.05	52.4	34.4
Palmilla	631590	2545262	30.3	5.73	52.0	34.1
Playa Cabo Real 7	629723	2542805	30.2	5.60	52.4	34.3
Playa Cabo Real 8	627303	2542311	30.2	5.89	52.3	34.3
Arroyo Salto	625557	2541179	30.0	5.90	52.2	34.2
Arroyo Tule	623088	2539354	29.7	5.83	52.1	34.2
Chileno	622331	2538398	29.8	5.85	52.2	34.2
Santa María	621467	2536229	29.3	5.70	52.2	34.2
Barco Varado	619445	2534292	29.7	5.65	52.3	34.3
Médano 14	616508	2532675	30.1	5.32	52.4	34.4
Médano 15	613876	2532380	29.9	5.81	52.2	34.2
Mango	612348	2531376	29.9	5.78	52.2	34.2
Coral Negro	611236	2530633	29,9	5.72	52.2	34.2
Playa del Amor	613235	2530320	29.8	5.61	52.2	34.2
Testigo	613433	2530021	30.1	5.96	51.4	33.8

Tabla VI. Georeferencia (UTM) de las estaciones monitoreadas el 12 de enero del 2006 y valores de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), oxígeno ( $\text{mg l}^{-1}$ ), conductividad eléctrica (S), salinidad (UPS), y presencia de de materia flotante.

Estación	Latitud	Longitud	Temperatura	Oxígeno	CE	Salinidad
Playitas	636156	2550662	20.7	6.50	50.8	33.4
Estero	633566	2548497	20.7	6.45	50.8	33.4
Costa Azul 3	633701	2548784	20.8	6.66	51.5	33.9
Costa Azul 4	632451	2548034	20.9	6.62	51.5	33.9
Acapulquito	631722	2546722	21.1	6.85	51.5	33.9
Palmilla	631590	2545262	21.3	6.67	51.3	33.7
Playa Cabo Real 7	629723	2542805	21.7	6.55	51.4	33.8
Playa Cabo Real 8	627303	2542311	21.9	6.49	51.4	33.8
Arroyo Salto	625557	2541179	21.4	6.62	51.5	33.9
Arroyo Tule	623088	2539354	21.2	6.86	51.5	33.9
Chileno	622331	2538398	21.2	6.64	51.4	33.8
Santa María	621467	2536229	22.0	6.64	51.5	33.9
Barco Varado	619445	2534292	22.0	6.43	51.5	33.9
Médano 14	616508	2532675	22.3	6.25	51.5	33.9
Médano 15	613876	2532380	22.3	6.62	51.5	33.9
Mango	612348	2531376	22.3	6.02	51.5	33.9
Coral Negro	611236	2530633	23.1	6.54	51.3	33.7
Playa del Amor	613235	2530320	22.4	6.39	51.6	34.0
Testigo	613433	2530021	23.1	5.83	51.7	34.1

Tabla VII. Georeferencia (UTM) de las estaciones monitoreadas el 3 de mayo del 2006 y valores de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), oxígeno ( $\text{mg l}^{-1}$ ), conductividad eléctrica (S), salinidad (UPS), y presencia de materia flotante.

Estación	Latitud	Longitud	Temperatura	Oxígeno	CE	Salinidad
Playitas	636156	2550662	23.9	6.5	50.3	33.2
Estero	633566	2548497	23.0	6.5	50.3	33.2
Costa Azul 3	633701	2548784	23.4	6.2	50.6	33.5
Costa Azul 4	632451	2548034	23.5	6.2	51.0	33.5
Acapulquito	631722	2546722	23.1	6.2	51.1	33.6
Palmilla	631590	2545262	23.1	6.2	51.0	33.5
Playa Cabo Real 7	629723	2542805	23.3	6.5	51.1	33.6
Playa Cabo Real 8	627303	2542311	23.3	6.5	51.1	33.6
Arroyo Salto	625557	2541179	23.3	6.4	51.2	33.7
Arroyo Tule	623088	2539354	23.5	6.6	50.8	33.4
Chileno	622331	2538398	23.8	6.4	51.2	33.7
Santa María	621467	2536229	23.0	6.5	51.4	33.8
Barco Varado	619445	2534292	23.0	6.6	51.2	33.7
Médano 14	616508	2532675	22.5	6.4	51.2	33.7
Médano 15	613876	2532380	21.9	6.1	51.2	33.7
Mango	612348	2531376	21.4	6.2	51.2	33.7
Coral Negro	611236	2530633	21.4	6.2	51.1	33.6
Playa del amor	613235	2530320	21.4	6.1	51.2	33.7
Testigo	613433	2530021	21.7	6.4	51.2	33.7

La NOM-001-ECOL-1996 recomienda una temperatura menor a 40°C en aguas de recreación, valor que es aproximadamente el doble del registrado en los muestreos del presente estudio. Durante los muestreos se observaron manchas grandes de material en suspensión en varias estaciones, sin embargo como se observa después en las figuras de distribución, la zona más afectada constantemente es la que comprende desde la Playa de Palmilla hasta la de Barco Varado, específicamente, las estaciones en las playas ubicadas frente al hotel Médano 14, hotel Cabo San Lucas, playa el Chileno, playa Santa María y en la playa frente al hotel Barco Varado.

#### Parámetros fisicoquímicos.

Las concentraciones de Grasas y Aceites (GA), amonio ( $\text{N-NH}_4^+$ ), nitritos ( $\text{N-NO}_2$ ), nitratos ( $\text{N-NO}_3$ ) ortofosfatos ( $\text{P-PO}_4$ ),  $\text{DBO}_5$ , SST, y SS registradas en playas recreativas de la región de los Cabos son reportadas de la Tabla 6 a la 10. Los resultados son comparados con lo establecido en NOM-001-ECOL-1996 y los Criterios Ecológicos (SEDUE, 1989). En el primer muestreo, realizado en el mes de marzo el valor más alto de pH se registró en la playa frente al hotel Playa Cabo Real 7, siendo de 8.17; el valor más bajo fue de 8.0 registrado en la playa del hotel Playa Cabo Real 8, siendo el promedio de  $8.10 \pm 0.050$ . Para GA, el valor más alto registrado fue  $4.70 \text{ mg l}^{-1}$  frente a la playa del Mango, mientras el valor más bajo fue  $0.17 \text{ mg l}^{-1}$  en la playa del hotel Playa Cabo Real 7. La media fue de  $2.52 \pm 1.570 \text{ mg l}^{-1}$ . En el caso de la  $\text{DBO}_5$  solo encontró un valor detectable, que fue de  $4.09 \text{ mg l}^{-1}$  enfrente de la playa del hotel Playa Cabo Real 8

El valor de  $\text{NH}_4$  más alto registrado fue de  $0.687 \text{ mg l}^{-1}$ , enfrente de la playa del hotel Playa Cabo Real 8; el valor más bajo fue de  $0.010 \text{ mg l}^{-1}$  en la playa Santa María. Cabe mencionar que este parámetro solo fue detectado en cuatro de las 13 estaciones muestreadas. El promedio fue de  $0.063 \pm 0.189 \text{ mg l}^{-1}$ . Para  $\text{NO}_2$  el valor más alto fue de  $0.010 \text{ mg l}^{-1}$  en la playa del Chileno y el más bajo de  $0.004 \text{ mg l}^{-1}$ , en la playa del hotel Costa Azul 3. El promedio fue  $0.002 \pm 0.003 \text{ mg l}^{-1}$ . El valor más alto para  $\text{NO}_3$  fue de  $1.215 \text{ mg l}^{-1}$  en Mango y el más bajo de  $0.003 \text{ mg l}^{-1}$  en la playa Acapulquito. El promedio fue  $0.275 \pm 0.381 \text{ mg l}^{-1}$ .

En cuanto a la concentración de  $\text{PO}_4$  el valor más alto registrado fue de  $0.148 \text{ mg l}^{-1}$  en la playa del hotel Playa Cabo Real 8, y el más bajo de  $0.023 \text{ mg l}^{-1}$  en las playas del hotel Costa

Azul 3 y Acapulquito. El promedio fue de  $0.047 \pm 0.034$  mg l<sup>-1</sup>. El valor de sólidos suspendidos totales más alto fue de 366 mg l<sup>-1</sup> en la playa frente al hotel Playa Cabo Real 8, mientras que el más bajo fue de 20.3 mg l<sup>-1</sup> en Médano 15. Presentándose una media de  $52.8 \pm 94.27$  mg l<sup>-1</sup>. En cuanto a sólidos sedimentables (SS) el valor más alto de 2.67 ml l<sup>-1</sup> se reporto en la playa del hotel Playa Cabo Real 8 y el más bajo de 2 ml l<sup>-1</sup> registrado en la playa del Chileno, el promedio fue de  $0.35 \pm 0.89$  ml l<sup>-1</sup> (Tabla 6).

En el primer muestreo (Tabla VIII), los niveles de amonio se encuentran altos (SEDUE, 1989), en las playas de los hoteles Costa Azul 3 y Playa Cabo Real 8 así como en la playa Chileno. Con respecto a NO<sub>2</sub>, se encuentran incrementados en la Playa Chileno y en la Playa del Amor. Los niveles de NO<sub>3</sub> se encuentran incrementados en las playas del hotel Costa Azul 3, del Costa Azul 4, del hotel Palmilla, y en la playa del Médano 15. Los valores más altos de PO<sub>4</sub> se encuentran en el transecto del hotel Playa Cabo Real 8 hasta la Playa del Amor. Solo frente a la Playa Chileno se registraron valores altos de SS. Los niveles de pH, GA y aceites, DBO5 y SST se encuentran dentro de los intervalos considerados como normales.

Tabla VIII. Niveles de pH, Grasas y Aceites (GA), amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), nitritos ( $\text{NO}_2$ ), nitratos ( $\text{NO}_3$ ) ortofosfatos ( $\text{PO}_4$ ),  $\text{DBO}_5$ , SST, y SS en muestras de agua de playas recreativas de la región de los Cabos, B.C.S el 4 de marzo del 2005 (todas las unidades de estas variables a excepción del pH están en  $\text{mg l}^{-1}$ ).

Estación	pH	GA	$\text{NH}_4^{(+)}$	$\text{NO}_2$	$\text{NO}_3$	$\text{PO}_4$	$\text{DBO}_5$	SST
Estero	8.02	0.68	0.0018	0.002	0.015	0.010	<1.98	22.6
Costa Azul 3	8.10	0.67	0.021	0.001	0.088	0.008	<1.98	28.4
Costa Azul 4	8.15	3.10	0.0018	0.00046	0.132	0.008	<1.98	27.6
Acapulquito	8.13	2.38	0.0018	0.00046	0.0031	0.008	<1.98	23.7
Palmilla	8.12	3.82	0.0018	0.00046	0.056	0.009	<1.98	41.4
Playa Cabo Real 7	8.17	0.17	0.0018	0.00046	0.008	0.009	<1.98	29.8
Playa Cabo Real 8	8.00	0.71	0.535	0.00046	0.016	0.050	4.09	366
Chileno	8.12	2.48	0.075	0.003	0.004	0.021	<1.98	33.2
Santa María	8.14	2.38	0.008	0.002	0.006	0.015	<1.98	23.9
Barco Varado	8.15	4.61	0.0018	0.00046	0.016	0.015	<1.98	26.8
Médano 15	8.12	4.11	0.0018	0.00046	0.186	0.017	<1.98	20.3
Mango	8.11	4.70	0.0018	0.00046	0.027	0.010	<1.98	21.1
Playa del Amor	8.07	3.05	0.0018	0.003	0.005	0.025	<1.98	22.13
NOM(1)		25					150	125
CE-CCA (2)	5-9	-	0.01	0.002	0.04	0.002	-	-

En el muestro de Junio, el valor de pH más alto registrado fue de 8.25 en Costa Azul 4 y el más bajo de 8.04 en la playa del Médano 15. El promedio fue de  $8.15 \pm 0.070$ . Palmilla fue la estación que registró el valor más alto de grasas y aceites en este mes ( $3.81 \text{ mg l}^{-1}$ ), mientras que el valor más bajo se presentó en la playa del Médano 15 ( $0.28 \text{ mg l}^{-1}$ ). El promedio fue de  $1.49 \pm 1.49 \text{ mg l}^{-1}$ . Cuatro de las 13 estaciones muestreadas obtuvieron valores no detectables para este parámetro. El valor más alto para amonio fue de  $16.28 \text{ mg l}^{-1}$  en Chileno, mientras que el valor más bajo fue de  $0.018 \text{ mg l}^{-1}$  en la playa frente a hotel Costa Azul 3. El promedio fue de  $3.01 \pm 4.40 \text{ mg l}^{-1}$ . En cuanto a nitritos el valor más alto registrado fue de  $0.010 \text{ mg l}^{-1}$  en la Playa del Chileno, y el más bajo de  $0.05 \text{ mg l}^{-1}$  en las playas del Playa Cabo Real 8, Santa María y del Amor. El promedio fue de  $0.007 \pm 0.0013 \text{ mg l}^{-1}$ . Para nitratos se reportó el valor más alto en la playa del Mango, con  $0.263 \text{ mg l}^{-1}$ , y el más bajo de  $0.006 \text{ mg l}^{-1}$  en la Playa del Amor. El promedio fue de  $0.072 \pm 0.103 \text{ mg l}^{-1}$ .

Con relación a los Ortofosfatos, el valor más alto fue de  $0.064 \text{ mg l}^{-1}$  en la Playa Acapulquito; y el valor más bajo de  $0.014 \text{ mg l}^{-1}$  en las playas del Costa Azul 4, Playa Cabo Real 7 y del Amor. Presentándose un promedio de  $0.026 \pm 0.014 \text{ mg l}^{-1}$ . Solo dos estaciones registraron valores detectables para la demanda bioquímica de oxígeno, siendo el más alto de  $3.84 \text{ mg l}^{-1}$  en la Playa del Chileno y el más bajo de  $3 \text{ mg l}^{-1}$  en la playa del Barco Varado. Los sólidos suspendidos totales registraron el valor más alto en Estero ( $23.66 \text{ mg l}^{-1}$ ), mientras que en la playa del Playa Cabo Real 8 se registró el más bajo ( $15 \text{ mg l}^{-1}$ ). El promedio de fue de  $18.77 \pm 2.06 \text{ mg l}^{-1}$  (Tabla IX).

Con respecto al segundo muestreo, al comparar los resultados (Tabla IX) con los lineamientos de los criterios ecológicos (SEDUE, 1989), se observa que los valores de amonio frente al Chileno los sobrepasan 20 veces y que frente a Barco Varado y el Médano 15 10 y 5 veces respectivamente. Los valores de nitritos se sobrepasan muy poco frente a las playas del hotel Playa Cabo Real 7 y del Chileno. Los valores de nitratos se ven sobrepasados enfrente del Estero, Médano 15 y Mango. Los valores de ortofosfatos están especialmente incrementados enfrente de las playas de Acapulquito, del Hotel Costa Azul 3, Santa María y el Mango. Los demás parámetros se encuentran dentro de los intervalos recomendados.

Tabla IX. Niveles de pH, Grasas y Aceites (GA), amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), nitritos ( $\text{NO}_2$ ), nitratos ( $\text{NO}_3$ ) ortofosfatos ( $\text{PO}_4$ ),  $\text{DBO}_5$ , y SST, en muestras de agua de playas recreativas de la región de los Cabos, B.C.S, el 11 de junio del 2005 (todas las unidades de estas variables a excepción del pH están en  $\text{mg l}^{-1}$ ).

Estación	pH	GA	$\text{NH}_4^{(+)}$	$\text{NO}_2$	$\text{NO}_3$	$\text{PO}_4$	$\text{DBO}_5$	SST
Estero	8.150	3.550	0.042	0.002	0.015	0.007	<1.98	23.66
Costa Azul 3	8.230	3.280	0.0018	0.002	0.002	0.011	<1.98	19.66
Costa Azul 4	8.250	2.480	0.009	0.002	0.06	0.005	<1.98	20.67
Acapulquito	8.230	2.510	0.016	0.002	0.0031	0.021	<1.98	18.00
Palmilla	8.200	3.810	0.015	0.002	0.0031	0.006	<1.98	18.77
Playa Cabo Real 7	8.170	0.410	0.011	0.003	0.0031	0.005	<1.98	18.00
Playa Cabo Real 8	8.210	0.000	0.011	0.002	0.002	0.007	<1.98	15.00
Chileno	8.060	0.000	0.228	0.003	0.012	0.008	3.840	20.33
Santa Maria	8.140	0.000	0.028	0.002	0.0031	0.011	<1.98	17.66
Barco Varado	8.070	0.000	0.099	0.002	0.012	0.008	3.010	17.66
Médano 15	8.040	0.280	0.054	0.002	0.050	0.006	<1.98	17.66
Mango	8.100	1.010	0.014	0.002	0.059	0.014	<1.98	17.66
Playa del Amor	8.120	2.080	0.017	0.002	0.001	0.005	<1.98	19.33
NOM(1)		25					150	125
CE-CCA (2)	5-9	-	0.01	0.002	0.04	0.002	-	-



Tabla X Niveles de pH, Grasas y Aceites (GA), amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), nitritos ( $\text{NO}_2$ ), nitratos ( $\text{NO}_3$ ) ortofosfatos ( $\text{PO}_4$ ),  $\text{DBO}_5$ , SST, y SS en muestras de agua de playas recreativas de la región de los Cabos, B.C.S, el 29 de septiembre del 2005 (todas las unidades de estas variables a excepción del pH están en  $\text{mg l}^{-1}$ ).

Estación	pH	GA	$\text{NH}_4^{(+)}$	$\text{NO}_2$	$\text{NO}_3$	$\text{PO}_4$	$\text{DBO}_5$	SST
Playitas	8.1	1.20	0.0018	0.00046	0.003	0.007	<1.98	8.8
Estero	8.08	1.60	0.0018	0.00046	0.0031	0.012	<1.98	8
Costa Azul 3	8.09	1.20	0.0018	0.00046	0.011	0.011	<1.98	5.8
Costa Azul 4	8.08	4.09	0.0018	0.00046	0.021	0.010	<1.98	8.1
Acapulquito	8.05	3.16	0.0018	0.00046	0.0031	0.011	<1.98	6.9
Palmilla	8.04	6.23	0.0018	0.00046	0.029	0.012	<1.98	5
Playa Cabo Real 7	8.15	2.00	0.0018	0.00046	0.004	0.012	<1.98	5.5
Playa Cabo Real 8	8.09	1.88	0.0018	0.00046	0.003	0.011	<1.98	4.3
Arroyo Salto	8.09	2.80	0.0018	0.00046	0.0031	0.007	<1.98	13.9
Arroyo Tule	8.07	0.72	0.0018	0.00046	0.0031	0.006	<1.98	10.6
Chileno	8.07	0.68	0.0018	0.00046	0.002	0.006	<1.98	12.6
Santa María	8.14	1.36	0.0018	0.00046	0.0031	0.008	<1.98	6.5
Barco Varado	8.03	1.88	0.0018	0.00046	0.003	0.009	2.33	6.5
Médano 14	8.06	0.7	0.0018	0.00046	0.0031	0.008	<1.98	6.7
Médano 15	8.08	2.53	0.0018	0.00046	0.0031	0.006	<1.98	4.8
Mango	8.16	7.58	0.0018	0.00046	0.0031	0.007	<1.98	5.2
Coral Negro	8.06	5.11	0.0018	0.00046	0.003	0.002	<1.98	8.3
Playa del Amor	8.12	3.01	0.028	0.002	0.003	0.005	<1.98	6.9
Testigo	8.07	3.02	0.009	0.00046	0.008	0.005	<1.98	8.7
NOM(1)		25					150	125
CE-CCA (2)	5-9	-	0.01	0.002	0.04	0.002	-	-

Con respecto al tercer muestreo, el valor de pH más alto registrado fue de 8.16 en la Playa del Mango y el más bajo de 8.03 en la playa del Barco Varado. El promedio fue de  $8.08 \pm 0.035$ . Para grasas y aceites el valor más alto fue de  $7.58 \text{ mg l}^{-1}$  también en la Playa del Mango, mientras que el más bajo fue  $0.68 \text{ mg l}^{-1}$  en la del Chileno. El promedio fue  $2.67 \pm 1.91 \text{ mg l}^{-1}$ .

Concentraciones detectables de Amonio únicamente se registraron en dos estaciones, siendo la más alta de  $0.028 \text{ mg l}^{-1}$  en Playa del Amor y la más baja de  $0.009 \text{ mg l}^{-1}$  en la estación testigo. En la Playa del Amor valores de nitritos de  $0.002 \text{ mg l}^{-1}$  fueron registrados. La concentración más alta de nitratos se detectó en la playa de Palmilla con  $0.029 \text{ mg l}^{-1}$ , y la más baja en la Playa Chileno con  $0.002 \text{ mg l}^{-1}$ . En ocho de las 19 estaciones muestreadas los valores estuvieron por debajo de los detectables. El promedio fue de  $0.004 \pm 0.007 \text{ mg l}^{-1}$ .

Durante este muestreo los valores más altos de ortofosfatos se registraron en el Estero, y en las playas de los hoteles Playa Cabo Real 7 y Palmilla ( $0.012 \text{ mg l}^{-1}$ ). El más bajo se registró en la Playa Coral Negro ( $0.002 \text{ mg l}^{-1}$ ). El promedio fue de  $0.008 \pm 0.002 \text{ mg l}^{-1}$ . La Playa de Barco Varado fue la única estación en la que se detectó la demanda bioquímica de oxígeno, con un valor de  $2.33 \text{ mg l}^{-1}$ . En cuanto a los sólidos suspendidos totales, el valor más alto fue de  $13.9 \text{ mg l}^{-1}$  en el Salto; y el más bajo de  $4.3 \text{ mg l}^{-1}$  en la playa frente al hotel Playa Cabo Real 8. El promedio fue de  $7.53 \pm 2.58 \text{ mg l}^{-1}$ .

Durante el tercer muestreo (Tabla X) al comparar los resultados con los lineamientos establecidos por los criterios ecológicos (SEDUE, 1989), los valores de amonio solo se registraron incrementados frente a la playa del amor, mientras que los valores más altos de ortofosfatos se registraron del tramo comprendido entre el Estero y el hotel Playa Cabo Real 8. Todos los demás parámetros durante este muestreo se registraron normales (Tabla 8).

Con respecto al cuarto muestreo realizado en el mes de enero del 2006, el valor más alto de pH se registró fue de 8.06 en la playa del Costa Azul 4, del Playa Cabo Real 7 y del Playa Cabo Real 8, así como en el arroyo Tule; el valor más bajo fue de 8.01 en el Estero, en el arroyo el Salto, en la playa del Chileno, en la del hotel Médano 14 y en la zona Testigo. El promedio fue de  $8.03 \pm 0.020$ .

Las grasas y aceites presentaron el valor más alto en la playa Mango con  $6.98 \text{ mg l}^{-1}$  y el más bajo de  $0.67 \text{ mg l}^{-1}$  en la playa del Playa Cabo Real 8. El promedio fue de  $2.99 \pm 1.82 \text{ mg l}^{-1}$ . La concentración más alta de amonio se registró enfrente del estero con  $0.007 \text{ mg l}^{-1}$  y la más baja en las playas del Costa Azul 4, Santa María, Médano 14 y Médano 15 que fue de  $0.002 \text{ mg l}^{-1}$ . El promedio fue de  $0.002 \pm 0.001 \text{ mg l}^{-1}$ . El valor más alto para nitritos se registró en la zona testigo con  $0.108 \text{ mg l}^{-1}$  y el más bajo de  $0.008 \text{ mg l}^{-1}$  en la playa Coral Negro. El promedio fue de  $0.047 \pm 0.030 \text{ mg l}^{-1}$ . En la playa del hotel Médano 14 se registró un valor cuantificable de nitratos que fue de  $0.030 \text{ mg l}^{-1}$ .

Con respecto a ortofosfatos, el valor más alto fue de  $0.089 \text{ mg l}^{-1}$  en Médano 14, siendo el más bajo de  $0.011 \text{ mg l}^{-1}$  en la playa Coral Negro. El promedio fue de  $0.024 \pm 0.016 \text{ mg l}^{-1}$ . La demanda bioquímica de oxígeno presentó su único valor detectable en el arroyo Tule, que fue de  $2 \text{ mg l}^{-1}$ . Playitas fue la estación que presentó el valor más alto de sólidos suspendidos totales ( $17.47 \text{ mg l}^{-1}$ ), mientras que en la playa de Palmilla se obtuvo el valor más bajo ( $1.14 \text{ mg l}^{-1}$ ). El promedio fue de  $5.95 \pm 3.78 \text{ mg l}^{-1}$  (Tabla XI).

Durante el cuarto muestreo (Tabla XI) los valores de nitritos se encontraron incrementados frente a las instalaciones del hotel Médano 14. Altos valores de nitratos se registraron enfrente del estero, del hotel Palmilla, del hotel Playa Cabo Real 8, arroyo Salto, Chileno, Médano 15, Mango, en la Playa del Amor y el testigo (frente a los Arcos). Todos los demás parámetros se encontraron normales.

En el último muestreo, el valor más alto de pH se registró enfrente al arroyo el Tule con 8.55. El valor más bajo fue de 8.01 en la playa del Costa Azul 3 y del Costa Azul 4. El promedio fue de  $8.16 \pm 0.124$ . La playa del Médano 15 fue la estación que presentó el valor más alto de grasas y aceites, con  $65.4 \text{ mg l}^{-1}$ . En la zona Testigo se registró el valor más bajo que fue de  $20.3 \text{ mg l}^{-1}$ . Cuatro de las estaciones muestreadas tuvieron valores no detectables. El promedio fue de  $23.4 \pm 15.9 \text{ mg l}^{-1}$ .

Tabla XI. Niveles de pH, Grasas y Aceites (GA), amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), nitritos ( $\text{NO}_2$ ), nitratos ( $\text{NO}_3$ ) ortofosfatos ( $\text{PO}_4$ ),  $\text{DBO}_5$ , SST, y SS en muestras de agua de playas recreativas de la región de los Cabos, B.C.S, el 12 de enero del 2006 (todas las unidades de estas variables a excepción del pH están en  $\text{mg l}^{-1}$ ).

Estación	pH	GA	$\text{NH}_4$	$\text{NO}_2$	$\text{NO}_3$	$\text{PO}_4$	$\text{DBO}_5$	SST
Playitas	8.04	2.35	0.004	0.00046	0.018	0.025	<1.98	17.47
Estero	8.01	2.19	0.007	0.00046	0.087	0.038	<1.98	6.12
Costa Azul 3	8.03	1.01	0.003	0.00046	0.033	0.024	<1.98	1.99
Costa Azul 4	8.06	5.75	0.002	0.00046	0.019	0.023	<1.98	3.73
Acapulquito	8.05	4.17	0.0018	0.00046	0.009	0.017	<1.98	3.95
Palmilla	8.05	5.88	0.003	0.00046	0.080	0.020	<1.98	1.14
Playa Cabo Real 7	8.06	4.36	0.003	0.00046	0.034	0.022	<1.98	1.41
Playa Cabo Real 8	8.06	0.67	0.003	0.00046	0.086	0.019	<1.98	2.94
Arroyo Salto	8.01	3.10	0.005	0.00046	0.048	0.022	<1.98	9.55
Arroyo Tule	8.06	1.21	0.003	0.00046	0.023	0.019	2.00	2.79
Chileno	8.01	0.93	0.004	0.00046	0.061	0.022	<1.98	8.88
Santa María	8.05	2.53	0.002	0.00046	0.021	0.023	<1.98	4.74
Barco Varado	8.05	1.97	0.004	0.00046	0.025	0.014	<1.98	6.59
Médano 14	8.01	1.20	0.002	0.030	0.039	0.089	<1.98	7.10
Médano 15	8.05	2.05	0.002	0.00046	0.057	0.015	<1.98	6.06
Mango	8.05	6.98	0.003	0.00046	0.089	0.019	<1.98	8.69
Coral Negro	8.02	4.32	0.0018	0.00046	0.008	0.011	<1.98	8.02
Playa del Amor	8.05	3.16	0.003	0.00046	0.064	0.017	<1.98	6.79
Testigo	8.01	2.98	0.003	0.00046	0.108	0.019	<1.98	5.10
NOM(1)		25					150	125
CE-CCA (2)	5-9	-	0.01	0.002	0.04	0.002	-	-

Tabla XII. Niveles de pH, Grasas y Aceites (GA), amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), nitritos ( $\text{NO}_2$ ), nitratos ( $\text{NO}_3$ ) ortofosfatos ( $\text{PO}_4$ ),  $\text{DBO}_5$ , SST, y SS en muestras de agua de playas recreativas de la región de los Cabos, B.C.S., el 3 de mayo del 2006 (todas las unidades de estas variables a excepción del pH están en  $\text{mg l}^{-1}$ ).

Estación	pH	GA	$\text{NH}_4^{(+)}$	$\text{NO}_2$	$\text{NO}_3$	$\text{PO}_4$	$\text{DBO}_5$	SST
Playitas	8.25	26.2	0.042	0.002	0.017	0.023	<1.98	0.690
Estero	8.15	23.0	0.038	0.004	0.058	0.026	<1.98	0
Costa Azul 3	8.01	38.2	0.028	0.003	0.023	0.021	<1.98	0
Costa Azul 4	8.01	21.6	0.051	0.002	0.024	0.023	<1.98	1.190
Acapulquito	8.06	20.5	0.037	0.002	0.040	0.019	<1.98	0
Palmilla	8.15	32.4	0.041	0.003	0.038	0.027	2.200	0.280
Playa Cabo Real 7	8.05	26.8	0.047	0.004	0.016	0.018	2.800	0
Playa Cabo Real 8	8.15	0.65	0.015	0.002	0.015	0.019	2.300	3.330
Arroyo Salto	8.15	22.8	0.028	0.001	0.011	0.018	2.400	3.560
Arroyo Tule	8.55	28.9	0.045	0.003	0.113	0.021	2.600	0.340
Chileno	8.25	0.65	0.038	0.002	0.023	0.021	<1.98	0
Santa María	8.15	0.65	0.067	0.003	0.023	0.020	3.000	0.810
Barco Varado	8.25	29.8	0.016	0.001	0.016	0.020	<1.98	0
Médano 14	8.15	0.65	0.027	0.002	0.026	0.023	2.500	0
Médano 15	8.24	65.4	0.024	0.002	0.055	0.021	<1.98	0.580
Mango	8.25	30.7	0.046	0.003	0.179	0.030	<1.98	1.050
Coral Negro	8.15	35.0	0.068	0.005	0.114	0.035	2.100	0
Playa del Amor	8.12	23.8	0.029	0.002	0.155	0.030	<1.98	0
Testigo	8.03	20.3	0.005	0.002	0.149	0.021	<1.98	0
NOM(1)		25					150	125
CE-CCA (2)	5-9	-	0.02	0.06	0.04	0.05	-	-

La concentración de amonio presentó un valor máximo de  $0.005 \text{ mg l}^{-1}$  en Coral Negro; mientras el mínimo fue de  $0.001 \text{ mg l}^{-1}$  frente al arroyo Salto y Barco Varado. El promedio fue de  $0.002 \pm 0.001 \text{ mg l}^{-1}$ . El valor más alto para nitritos fue de  $0.179 \text{ mg l}^{-1}$  en la playa del Mango, y el más bajo de  $0.011 \text{ mg l}^{-1}$  en el arroyo del Salto. El promedio fue de  $0.057 \pm 0.054 \text{ mg l}^{-1}$ . Por su parte, el valor más alto para nitratos fue de  $0.068 \text{ mg l}^{-1}$  en Coral Negro y el más bajo de  $0.005 \text{ mg l}^{-1}$  en la zona Testigo. Dando una promedio de  $0.036 \pm 0.016 \text{ mg l}^{-1}$ . La playa Coral Negro, presento el valor más alto en ortofosfatos ( $0.035 \text{ mg l}^{-1}$ ). Los más bajos fueron en la Playa del Playa Cabo Real 7 y en el arroyo del Salto ( $0.018 \text{ mg l}^{-1}$ ). El promedio fue de  $0.022 \pm 0.004 \text{ mg l}^{-1}$ . Solo ocho estaciones registraron valores detectables para la demanda bioquímica de oxígeno; siendo el valor más alto de  $2.8 \text{ mg l}^{-1}$  en Playa Cabo Real 7, y el más bajo de  $2.1 \text{ mg l}^{-1}$  en playa Coral Negro. Presentándose una promedio de  $1.04 \pm 1.27 \text{ mg l}^{-1}$ . Los sólidos suspendidos totales tuvieron el valor más alto de  $3.56 \text{ mg l}^{-1}$  en el arroyo el Salto y el valor más bajo de  $0.28 \text{ mg l}^{-1}$  en la playa de Palmilla. El promedio fue de  $0.622 \pm 1.06 \text{ mg l}^{-1}$  (Tabla 10).

Durante el quinto muestreo (Tabla XII), los niveles de grasas en varios sitios se encuentran por arriba de la NOM-001-ECOL-1996, como es Playitas, enfrente del Costa Azul 3, de Palmilla, del hotel Playa Cabo Real 7, enfrente del Barco Varado, del Médano 15, del Mango, de la playa de Coral Negro. Las concentraciones de amonio se encuentran incrementadas de Playitas al hotel Playa Cabo Real 7 y de especialmente frente al Costa Azul 4, del arroyo del Salto a la playa Santa Marina y del hotel Médano 14 a la Playa del amor. Los valores de nitritos se encuentran incrementados en el Estero, Costa Azul 3, Palmilla, Playa Cabo Real 7, Arroyo Tule, Santa María, en el Mango y la playa Coral Negro. Los niveles de nitratos están elevados en el Estero, el Arroyo Tule, del Médano 15 hasta el Testigo (frente a los Arcos). Los demás parámetros se encuentran normales.

### Contaminación bacteriológica por coliformes totales.

Los valores más altos de coliformes totales se registraron en Enero, con una media de  $521.79 \pm 223.3$  NMP. Mientras que los valores más bajos se registraron en Junio, con una media de  $2.85 \pm 0.78$  NMP (Tabla XIV). La estación que registró una mayor frecuencia de valores altos fue Playa Coral Negro, con una media de  $1268 \pm 953.59$  NMP. A su vez, la estación que registró una mayor frecuencia de valores bajos fue el Testigo, la cual presentó valores por debajo del límite de detección en todos los muestreos (Tabla XV).

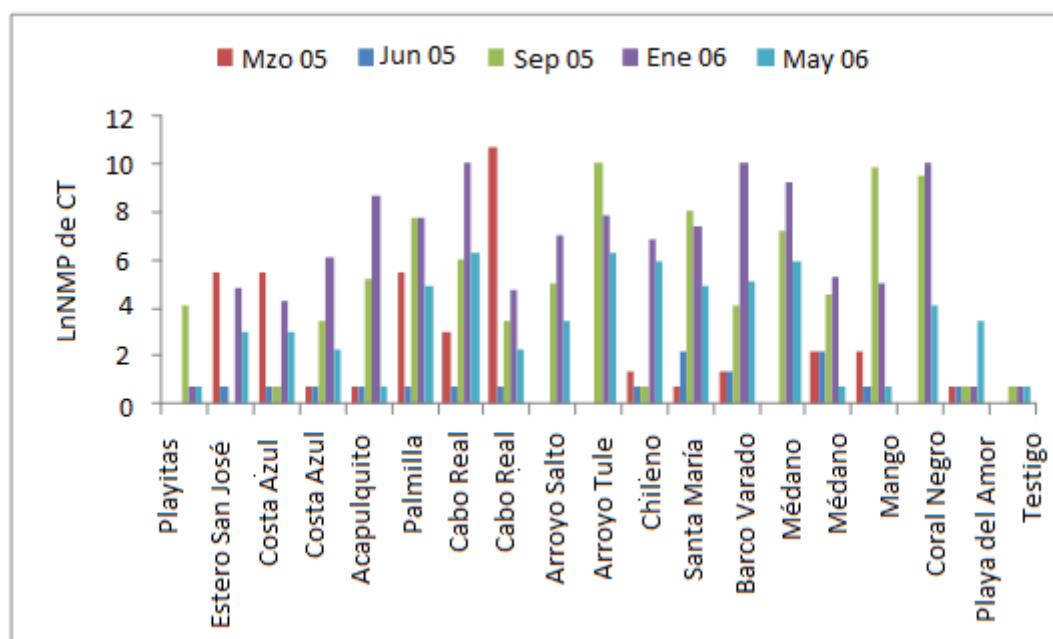


Figura 2. Variación por mes de muestreo del logaritmo natural de coliformes totales (Ln NMP de CT) por estación en Los Cabos B.C.S. de marzo 2005 a mayo 2006.

Al analizar los valores que excedieron los niveles mencionados, se observa que se presentan principalmente en estaciones del centro y sur de la región de Los Cabos, B.C.S. En los meses de marzo y junio del 2005 se presentaron los niveles de coliformes totales más bajas que las de los restantes meses de estudio, a excepción del dato extremo (46000 NMP CT) reportado frente al hotel Playa Cabo Real 8 en marzo del 2005 (Figura 2, Tabla XIII).

Tabla XIII.- Valores de coliformes totales (NMP de CT) registrados en cada estación durante los cinco muestreos realizados de marzo 2005 a mayo 2006 en Los Cabos B.C.S Los datos ausentes representados con guion (-) indican que no se tomó muestra en esa estación.

Estación	Marzo	Junio	Septiembre	Enero	Mayo
Playitas	-	-	63	2	2
Estero	240	2		121	20
Costa Azul 3	240	2	2	74	20
Costa Azul 4	2	2	31	459	10
Acapulquito	2	2	189	6131	2
Palmilla	240	2	2352	2402	135
Playa Cabo Real 7	21	2	420	24196	539
Playa Cabo Real 8	46,000	2	31	118	10
Arroyo Salto	-	-	148	1127	31
Arroyo Tule	-	-	24196	2631	556
Chileno	4	2	2	958	364
Santa María	2	9	3094	1650	135
Barco Varado	4	4	63	24196	173
Médano 14	-	-	1353	10112	389
Médano 15	9	9	98	197	2
Mango	9	2	19863	155	2
Coral Negro	-	-	12997	24196	63
Playa del Amor	2	2	2	2	31
Testigo	-	-	2	2	2
*Rheinheimer (1987)	<500				



Tabla XIV. Resumen de datos descriptivos de coliformes totales (NMP de CT) por mes de muestreo, de marzo 2005 a mayo 2006, en Los Cabos B.C.S. D.E. Desviación Estándar, E.E. Error Estándar, C.V. Coeficiente de variación, Min. Mínimo y Max. Máximo.

Año	Mes	n	Media	D.E.	E.E.	CV	Mín	Máx
2005	Marzo	12	64.42	106.02	30.61	164.59	2	240
	Junio	13	2.85	2.82	0.78	98.96	2	9
	Septiembre	17	492.76	762.85	185.02	154.81	31	3151
2006	Enero	19	521.79	1016.91	233.3	194.89	10	4569
	Mayo	19	131.63	186.73	42.84	141.86	5	556

Tabla XV. Resumen de datos descriptivos de coliformes totales (NMP de CT) por estación de muestreo en Los Cabos B.C.S. de marzo 2005 a mayo 2006. D.E. Desviación Estándar, E.E. Error Estándar, C.V. Coeficiente de variación, Min. Mínimo y Max. Máximo.

Estación	n	Media	D.E.	E.E.	CV	Mín	Máx
Acapulquito	5	34.35	97.92	26.17	285.04	0	373
Arroyo Tule	3	462.67	279.92	161.61	60.5	148	684
Médano 14	3	358.33	27.47	15.86	7.66	336	389
Chileno	5	200.1	190.4	85.15	95.15	2	398
Costa Azul 3	5	66.7	98.57	44.08	147.78	2	240
Arroyo Salto	3	235.67	274.8	158.66	116.61	31	548
Estero San José	5	220.3	343.07	153.42	155.73	2	809
Playa Cabo Real 7	5	1100.9	1952.35	873.12	177.34	2	4569
Mango	5	153.3	233.14	104.26	152.08	2	538
Playa Cabo Real 8	4	63.13	111.99	55.99	177.41	2	231
Médano 15	5	21.4	20.16	9.01	94.19	5	52
Palmilla	5	145.5	97.71	43.7	67.15	2	240
Coral Negro	3	1268.33	1651.67	953.59	130.22	63	3151
Playa del Amor	5	264	377.25	168.71	142.9	2	855
Playitas	2	44.5	55.86	39.5	125.53	5	84
Santa María	5	99.9	101.78	45.52	101.88	2	249
Barco Varado	5	180.8	184.88	82.68	102.26	4	428
Testigo	4	18.33	22.5	11.25	122.73	5	52
Costa Azul 4	5	310.4	645.62	288.73	208	2	1464

Análisis de nutrientes. Índice del estado trófico (Karydis *et al.*, 1983).

En el mes de marzo del 2005, enfrente del hotel Playa Cabo Real 8, se registró la mayor concentración de amonio con  $0.4\text{mg l}^{-1}$ . Con excepción de este dato, al utilizar el criterio establecido por (Karydis *et al.*, 1983) todas las estaciones durante los meses de muestreo presentaron valores del índice menores a tres. Esto indica que condiciones de oligotrofia son las predominantes en la región de los Cabos (Tabla XVI y Figura 3). El amonio y los nitratos presentaron los valores más altos en todas las estaciones durante los meses de muestreo. En contraste, en septiembre, se presentaron los valores más bajos de todos los nutrientes (Figura 4). Los nitritos fueron los más variables en todas las estaciones y durante el periodo de muestreo (Figura 4) en la estación Médano 14 se reporto la mínima concentración de este nutriente (Figura 3).

Tabla XVI. Índice del estado trófico promedio (Karydis *et al.*, 1983) de los sitios de estudio en Los Cabos B.C.S. evaluado en el periodo marzo 2005 a mayo 2006.

Estación	NH <sub>4</sub>	NO <sub>2</sub>	NO <sub>3</sub>	PO <sub>4</sub>
Playitas	1.34	0.76	1.52	1.38
Estero San José	1.38	0.55	1.66	1.40
Costa Azul 3	1.36	0.63	1.64	1.39
Costa Azul 4	1.35	0.67	1.72	1.38
Acapulquito	1.36	0.67	1.55	1.39
Palmilla	1.36	0.63	1.68	1.39
Playa Cabo Real 7	1.36	0.57	1.56	1.38
Playa Cabo Real 8	1.64	0.67	1.62	1.40
Arroyo Salto	1.35	0.85	1.56	1.37
Arroyo Tule	1.34	0.72	1.63	1.37
Chileno	1.50	0.55	1.60	1.39
Santa María	1.37	0.58	1.55	1.39
Barco Varado	1.41	0.72	1.57	1.38
Médano 14	1.34	-0.09	1.56	1.41
Médano 15	1.38	0.67	1.78	1.38
Mango	1.36	0.63	1.79	1.39
Coral Negro	1.34	0.65	1.62	1.37
Playa del Amor	1.38	0.54	1.70	1.39
Testigo	1.35	0.76	1.72	1.37

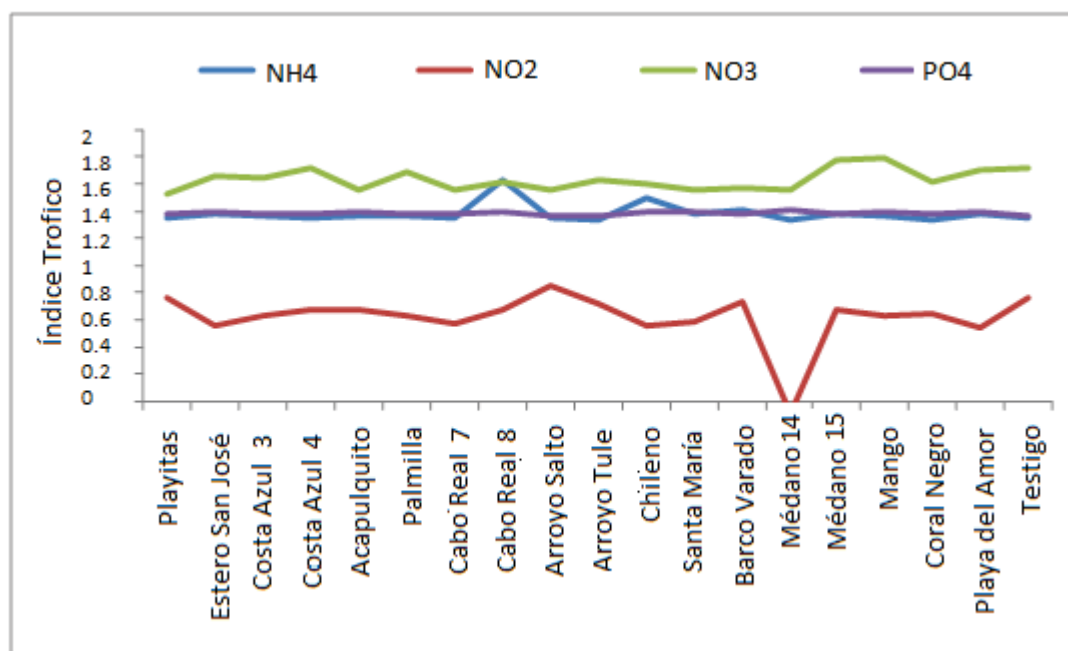


Figura 3. Índice del estado trófico promedio (Karydis *et al.*, 1983) de los sitios de estudio en Los Cabos B.C.S. evaluado en el periodo marzo 2005 a mayo 2006.

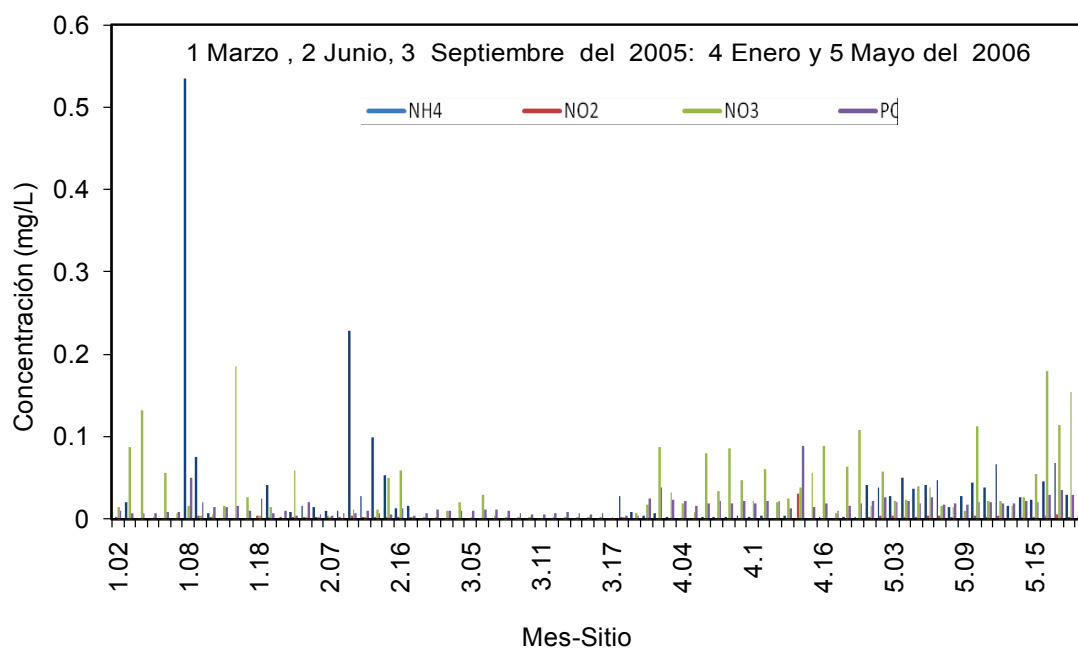


Figura 4. Concentración promedio por nutriente en los sitios de estudio durante el periodo de muestreo.

Modelo lineal generalizado (glm).

Para modelar la distribución espacial de los niveles de coliformes totales en la región de los Cabos y estudiar su relación con las variables ambientales (parámetros fisicoquímicos y nutrientes) se analizaron los datos por zona con modelos lineales generalizados realizando un ajuste mediante la implementación de la distribución binomial negativa. Las variables explicativas significativas por zona fueron: oxígeno disuelto y amonio en el norte, fosfatos, salinidad y grasas y aceites en el centro, y sólidos sedimentables totales y grasas y aceites en el sur (Tabla XVII y Figura 5).

En todas las posibles opciones de modelación de las CT con respecto a las variables explicativas se probó si la eliminación de variables no significativas mejoraba el modelo, verificando que el valor de AIC fuera el más bajo obtenido, lo cual implica la reducción del error (de la devianza residual). Adicionalmente se verificó el ajuste del modelo excluyendo al dato extremo 46000 coliformes totales de la zona centro, obteniendo un mejor modelo con reducción considerable del valor de AIC (de 317.9 con respecto al AIC inicial de 346.5). En este último modelo, se obtuvieron variables explicativas significativas diferentes (sólidos sedimentables totales y grasas y aceites) a las obtenidas por el modelo que incluía al dato extremo (fosfatos, salinidad y grasas y aceites). En cuanto a los datos del sur, se encontró que los sólidos sedimentables totales representan mediante una relación cuadrática con los niveles de bacterias coliformes un mejor ajuste al modelo ( $p < 0.0001$ , AIC: 333.79) (Tabla XVII y Figura 5).

El amonio fue una variable explicativa significativa presente tanto para el modelo de los datos del norte como para los del centro (excluyendo al dato extremo). Así también, para los datos del centro (datos que incluyen al dato extremo) y del sur las grasas y aceites fueron variables explicativas significativas (Tabla XVII y Figura 5).

Tabla XVII. Resumen de resultados obtenidos por el modelo lineal generalizado (glm por sus siglas en ingles) con distribución binomial negativa que explica la abundancia de coliformes totales (CT) en tres zonas: norte, centro y sur, de la región de Los Cabos, B.C.S. (NO<sub>3</sub>: nitrato, NH<sub>4</sub>: amonio, PO<sub>4</sub>: fosfato, OD: oxígeno disuelto, Sal: salinidad, SST: sólidos suspendidos totales, y GA: grasas y aceites). Nota: solo se presentan las variables significativas (en rojo).

Zona	Estimador	Pr (>   z  )	AIC
NORTE	Intercepto	0.079	304.52
	NO <sub>3</sub>	0.038	
	OD	0.029	
	NH <sub>4</sub>	0.00026	
CENTRO	Intercepto	3.41e-05	346.55
	PO <sub>4</sub>	2.17e-05	
	Sal	9.63e-06	
	GA	0.002	
*CENTRO	Intercepto	0.61	317.95
	SST	0.004	
	NH <sub>4</sub>	0.023	
SUR	Intercepto	0.842	333.79
	SST**	8.90e-12	
	GA	0.0005	

\*CENTRO: En este análisis se excluyó al dato extremo (outlier CT: 46 000) de coliformes totales para este conjunto de datos perteneciente a esta zona. \*\* SST: Para el conjunto de datos de la zona sur se realizó el análisis pero con un modelo de la forma: SST + Intercepto (SST<sup>2</sup>) y se obtuvo un valor mayor de significancia (Pr (> | z |) = 0.0002463) para los sólidos suspendidos totales (SST) y con un valor de AIC más bajo (AIC: 334.73).

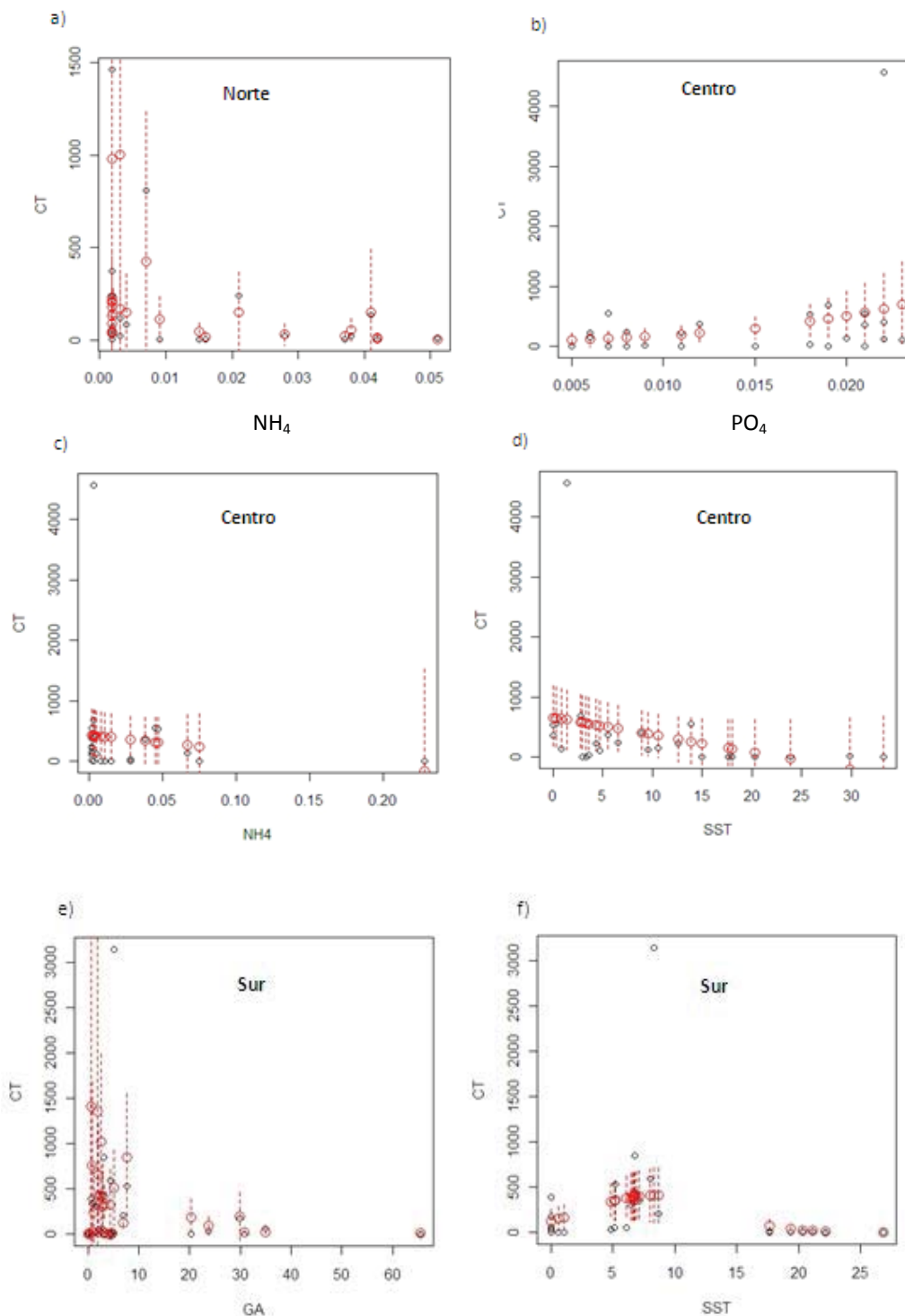


Figura 5. Gráficos de los modelos obtenidos con glm de las variables significativas que explican la con distribución binomial negativa que explica la abundancia de coliformes totales (CT) en tres zonas: norte (a), centro (b,c,d) y sur (e,f), de la región de Los Cabos, B.C.S. (solo se presentan los modelos altamente significativos).

## II. Modelación de la corriente litoral inducida por oleaje.

De acuerdo con los resultados obtenidos, la región de Los Cabos presenta preponderantemente corrientes litorales con orientación norte a sur. El patrón inverso, corrientes litorales que van de sur a norte, se presenta solamente en primavera (Tabla XVIII). En las figuras 6 a 12 se muestra la variación del ángulo de incidencia del oleaje y de la dirección que puede tomar la corriente longitudinal generada. En ellas se observa, de verano (Figuras 8 a 12) a invierno (Figura 7), que las corrientes litorales se dirigen (*van*) de norte a sur (*circulan*). Esta orientación de las corrientes litorales continúa en otoño, con oleaje incidente proveniente del NW y Sur, Sureste, Oeste y Suroeste (Figura 7). Contrariamente, en primavera el oleaje proveniente del Noroeste (NW) produce corrientes litorales con orientación de sur a norte, preponderante en la zona norte (Figura 6). Esto es en San José del Cabo, que bajo un escenario de oleaje proveniente del NW con ángulo de incidencia oblicuo ( $292^\circ$ ) en primavera (Figura 6) menor al del ( $315^\circ$ ) invierno-otoño (Figura 7), produce corrientes litorales con una orientación de sur a norte.

Tabla XVIII. Salidas de Modelo de Corrientes Litorales en la región de Los Cabos, B.C.S.  
\*Temporada de lluvias y ciclones (agosto y septiembre).

Estación	Angulo $\Theta$ ( $^\circ$ )	Periodo T (seg)	Altura Significante Hs (m)	Dirección oleaje incidente	Dirección corriente litoral
Primavera	292	10	1	NW	SW (sur a norte)
Otoño- Invierno	315	10	1	NW	NE (norte a sur)
*Verano	135	6	1	SE	NE (norte a sur)
*Verano	180	11	1	S	NE (norte a sur)
*Verano	112	5	1	SE	NE (norte a sur)
*Verano	270	5	1	W	NE (norte a sur)
*Verano	225	5	1	SW	NE (norte a sur)

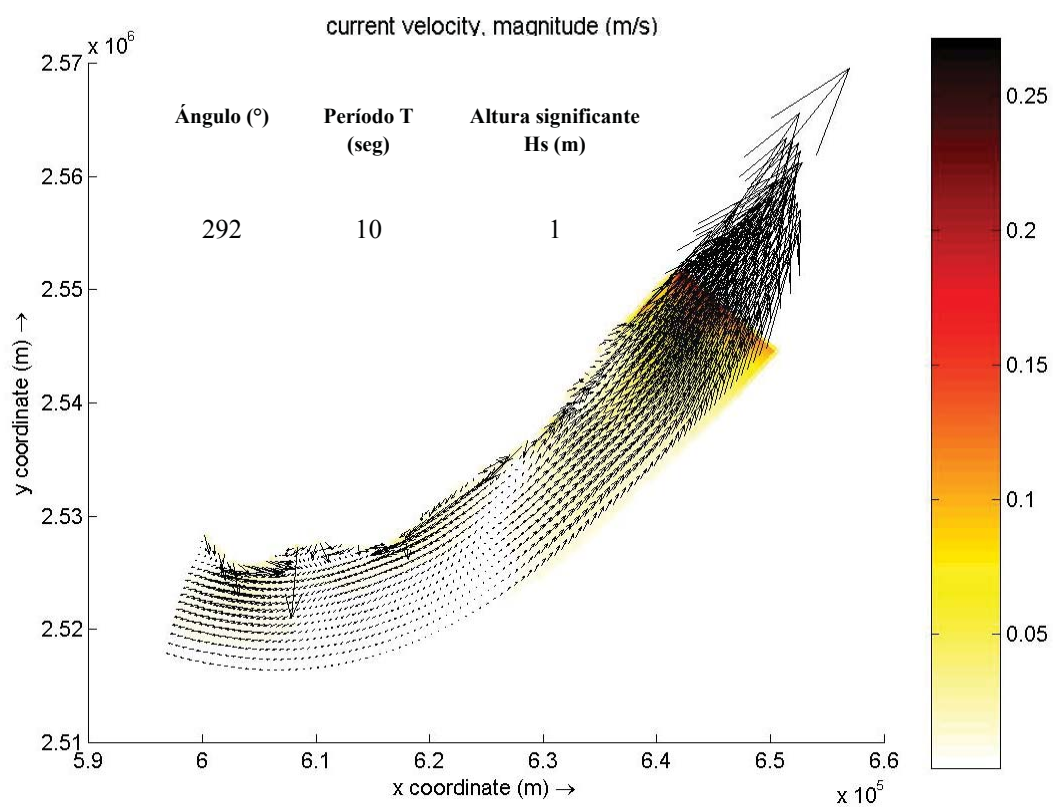


Figura 6. Corrientes litorales generadas por oleaje con  $292^\circ$  de ángulo de incidencia, en primavera en la región de Los Cabos.



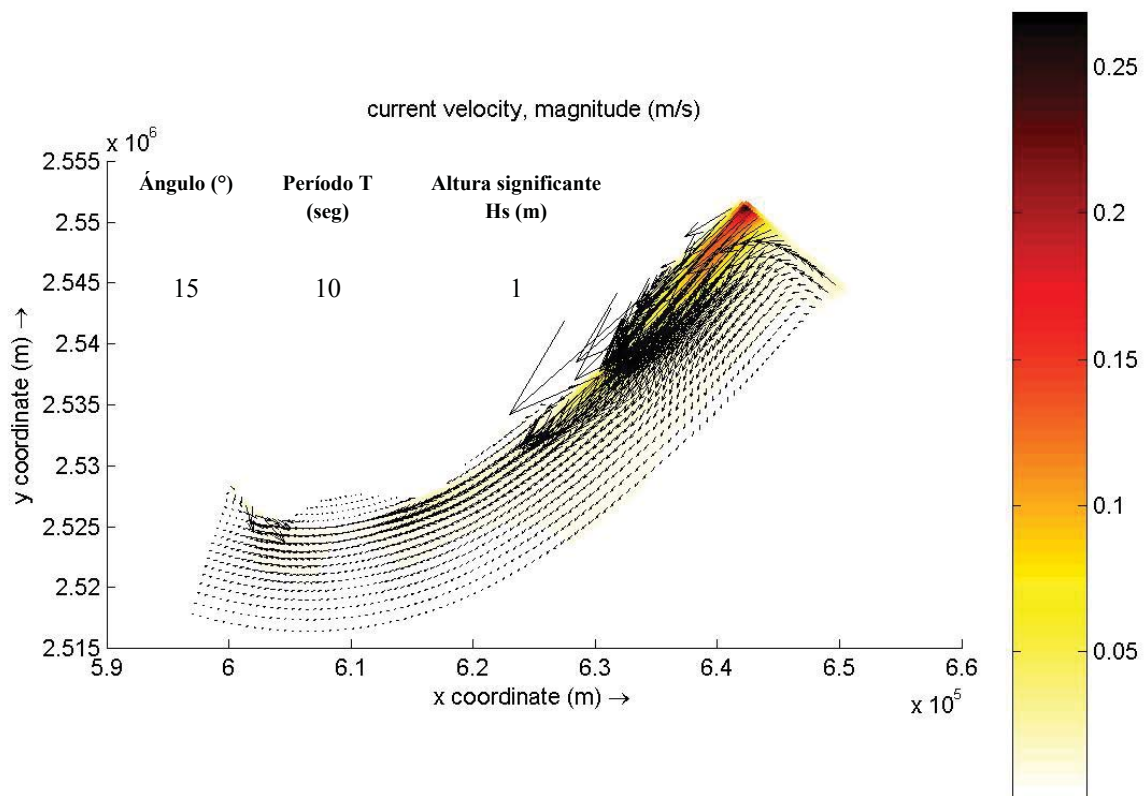


Figura 7. Corrientes litorales generadas por oleaje con  $315^\circ$  de ángulo de incidencia, en otoño-invierno en la región de Los Cabos.

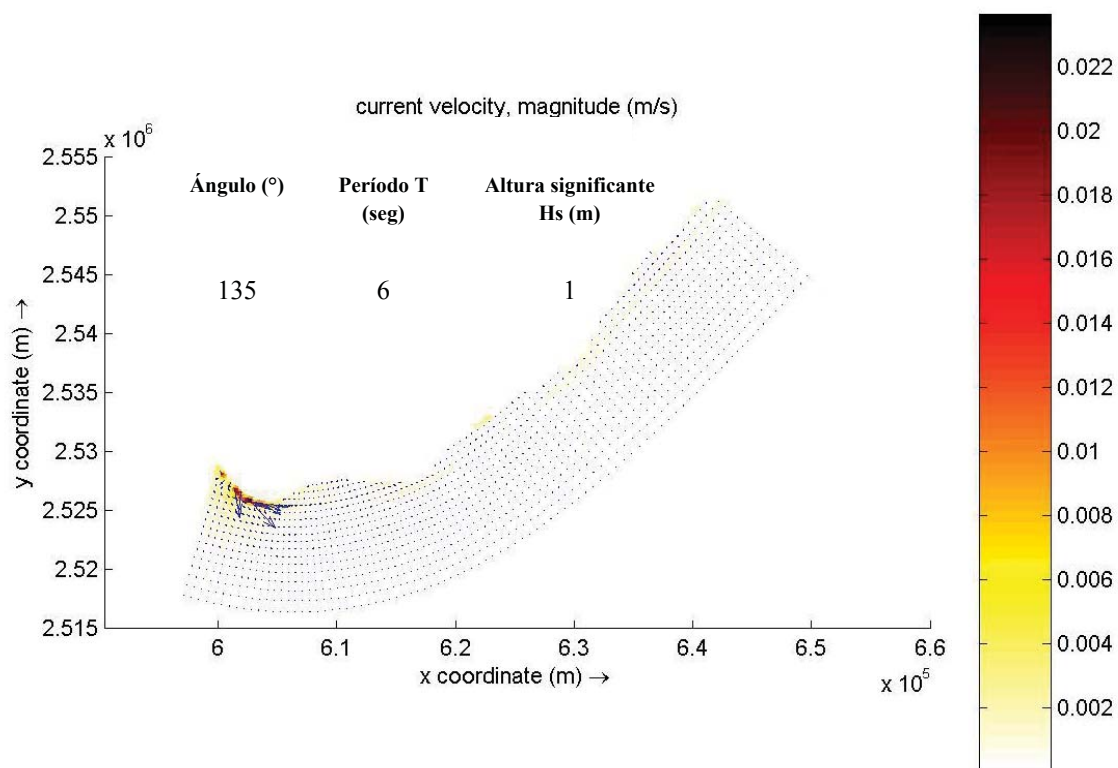


Figura 8. Corrientes litorales generadas por oleaje con  $135^\circ$  de ángulo de incidencia, en verano la región de Los Cabos.

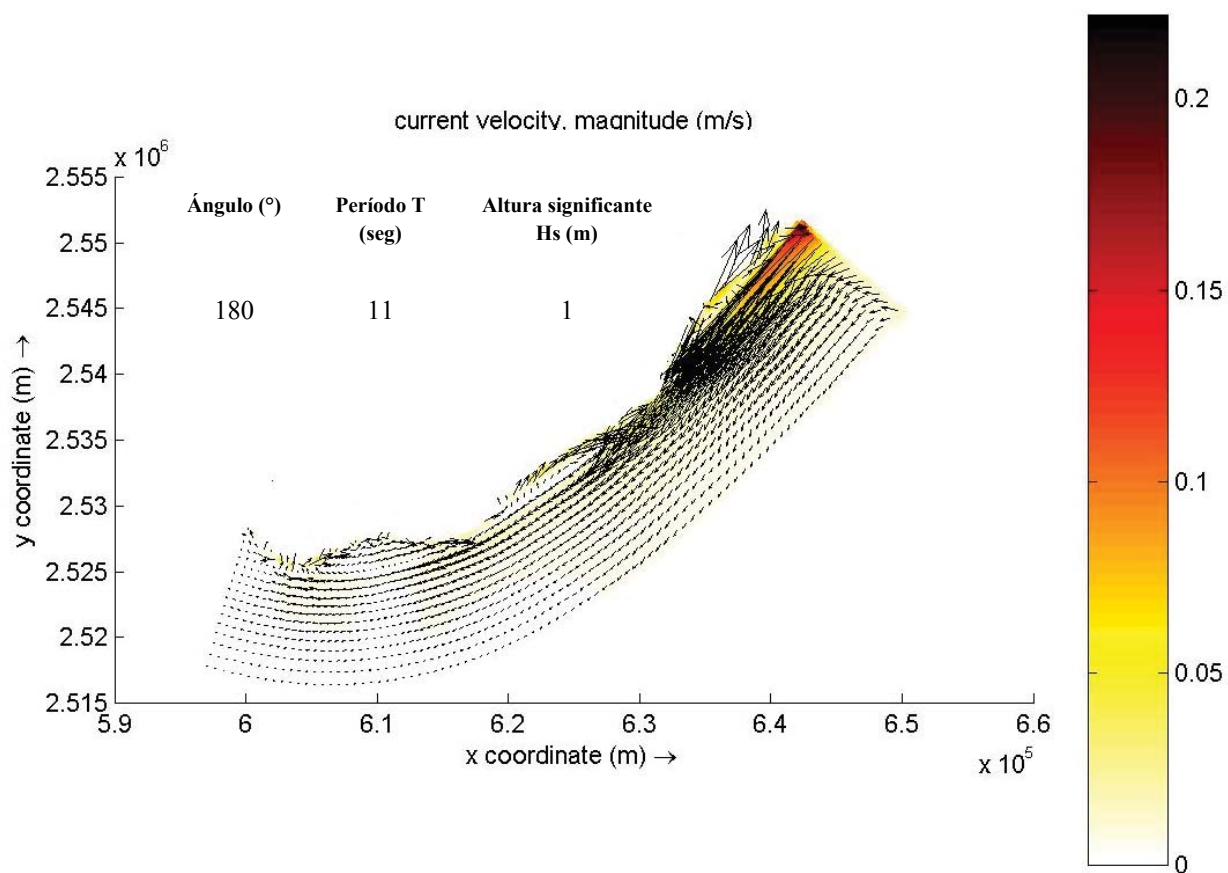


Figura 9. Corrientes litorales generadas por oleaje con  $180^\circ$  de ángulo de incidencia, en verano en la región de Los Cabos.

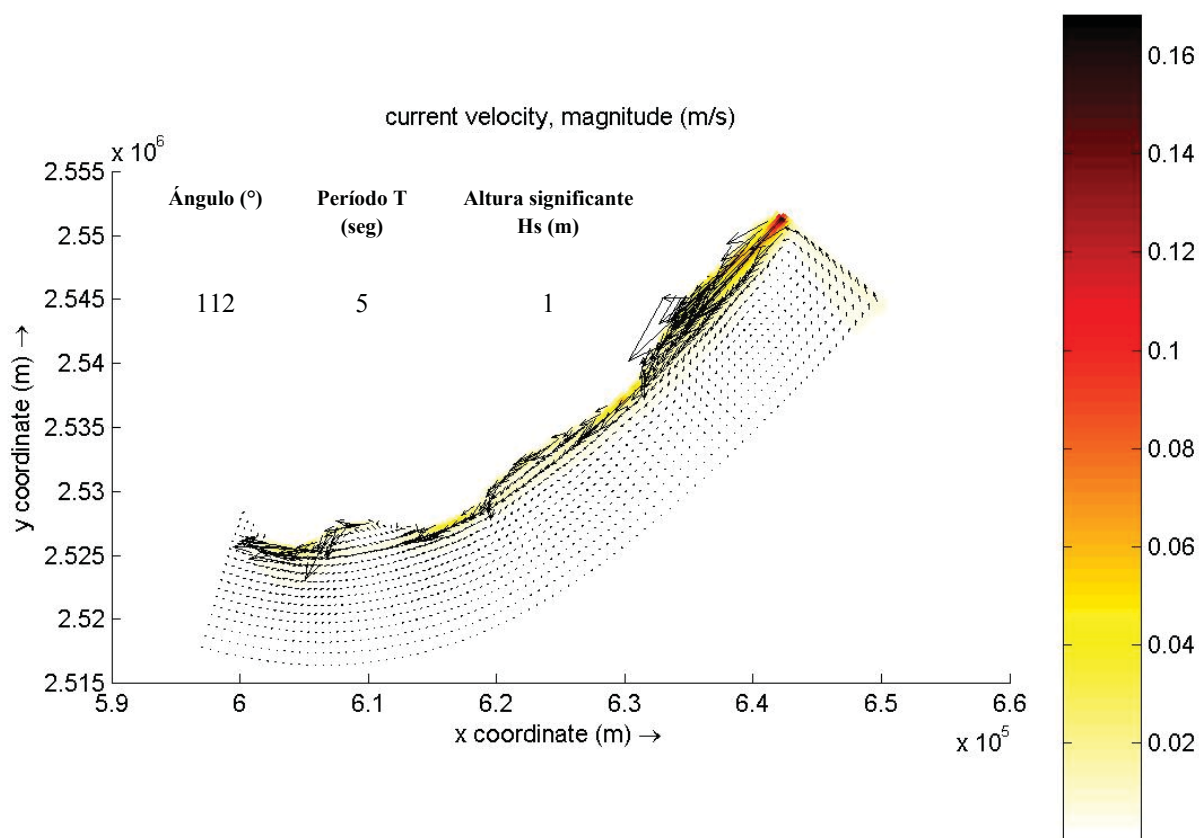


Figura 10. Corrientes litorales generadas por oleaje con 112° de ángulo de incidencia, en verano en la región de Los Cabos.

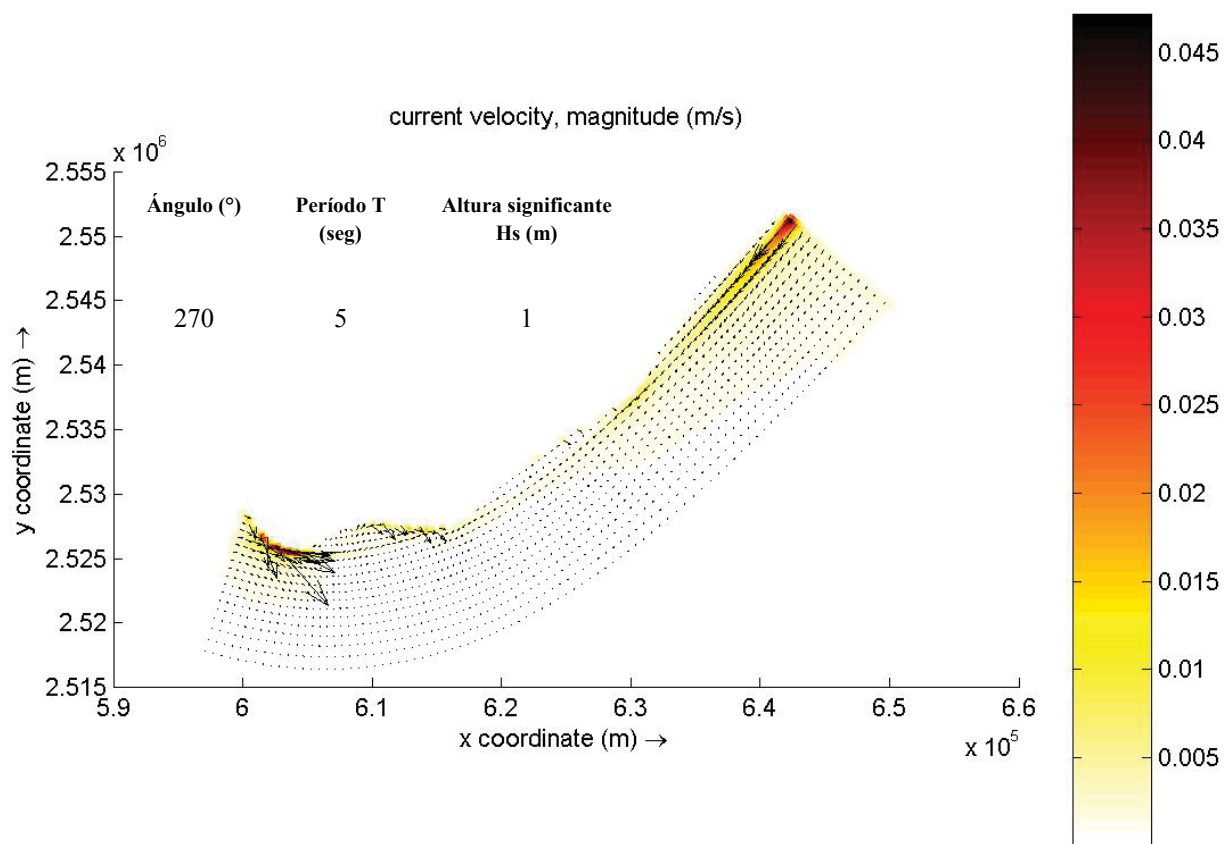


Figura 11. Corrientes litorales generadas por oleaje con  $270^\circ$  de ángulo de incidencia, en verano en la región de Los Cabos.

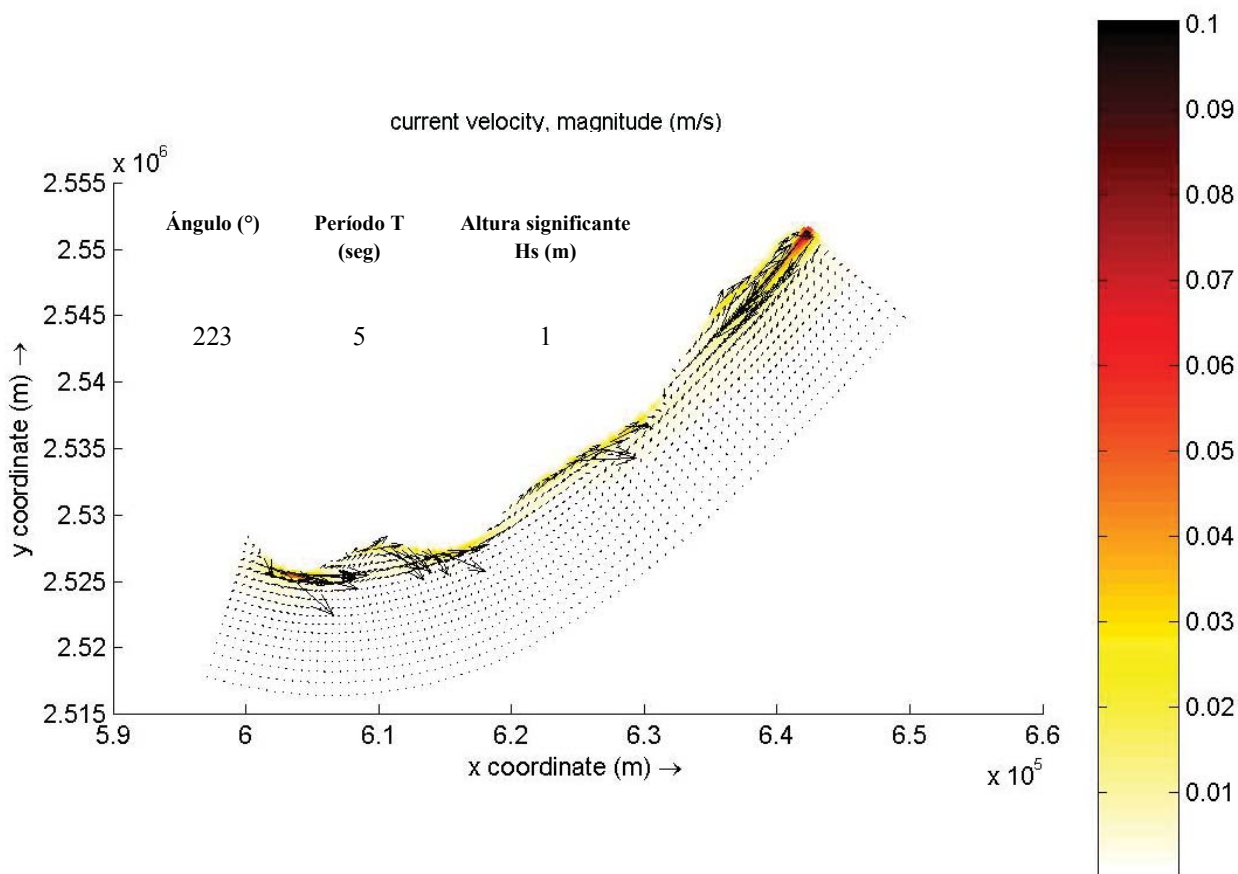


Figura 12. Corrientes litorales generadas por oleaje con 223° de ángulo de incidencia, en verano en la región de Los Cabos.

#### Corrientes litorales inducidas por el viento.

Las corrientes litorales en el periodo de medición pueden ser consideradas representativas de la condición invernal y tuvieron un sentido paralelo a la costa en el eje oeste-este (Figura 13), la velocidad promedio en general fue de  $8.33 \text{ cms}^{-1}$  y la máxima de  $10.63 \text{ cms}^{-1}$ . Las condiciones mayores se presentaron en el “Arco”, “Santa María”, “El Chileno” y “Punta Palmilla” (Tabla XIX). El sentido de las corrientes coincidió con la dirección de acción del viento con mayor ocurrencia desde el W y con rango desde S hasta el NNW que es el régimen que predomina durante los meses fríos en la región de Los Cabos. Las velocidades de viento de mayor intensidad fueron del noroeste con ráfagas de hasta 20 kph y esta condición se mantuvo hasta el mes de junio. Durante los meses cálidos

(junio – septiembre) se presentó una alternancia de direcciones desde el ENE a NNW con mayor ocurrencia en los vientos provenientes del S y W, pero con ráfagas de mayor intensidad desde el ENE – SSE (Figura 13).

Tabla XIX. Velocidad de corrientes (cm/s) por transecto en Los Cabos, B.C.S

Transecto	Promedio	Mínima	Máxima	Desv. Estándar
1	8.57	6.32	9.56	1.51
2	8.02	7.42	8.82	0.60
3	9.65	7.94	11.87	1.63
4	5.51	5.05	6.17	0.49
5	7.49	4.43	9.19	2.13
6	13.24	8.88	16.06	3.10
7	10.27	1.08	22.58	10.29
8	5.47	4.18	6.69	1.32
9	7.17	5.16	8.56	1.44
10	7.94	6.55	8.91	1.06
11	6.39	5.43	7.53	0.86
12	10.18	8.95	11.57	1.28

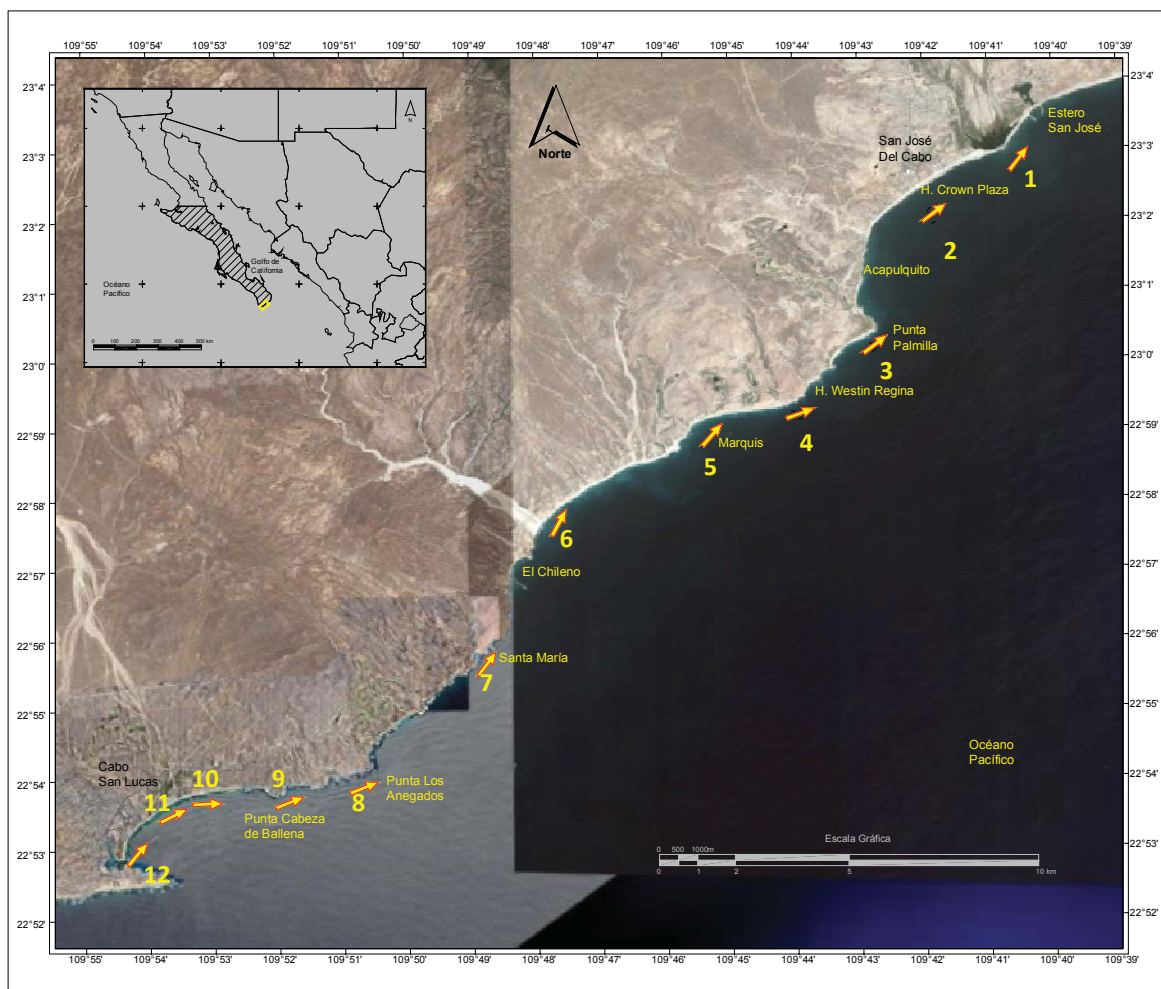


Figura 13. Corrientes litorales en Los Cabos, B.C.S. en febrero de 2007, representativa de las condiciones de invierno.

De acuerdo con lo anterior, las corrientes litorales en la zona litoral del corredor Cabo San Lucas-San José del Cabo en febrero de 2007 fueron dependientes de la acción del viento. Además se infiere que durante verano el sentido de la corriente se invierte en función de vientos soplando desde el cuadrante E – SSE.

Los Cabos, B.C.S. es una región de oleaje energético (densidades espectrales  $> 3.5 \text{ m}^2\text{Hz}^{-1}$ ) con un Fetch de generación de la cuenca del Pacífico Nororiental por lo que se alcanzan longitudes de onda largas y el patrón de oleaje dominante reportado es de 1.5 m de altura en verano y se incrementa hasta 3 m de altura durante invierno (CDIP, 2004). La zona de la punta de Baja California presenta vulnerabilidad alta a eventos ciclónicos, donde



las alturas de ola significativa pueden llegar a duplicar su altura (hasta 4.5 m con un período del máximo pico espectral ( $T_p$ ) de 15 segundos). El oleaje en la zona incide sobre la línea de costa oscila desde los  $112.5^\circ$  a  $295^\circ$  de azimut (Figura 14).

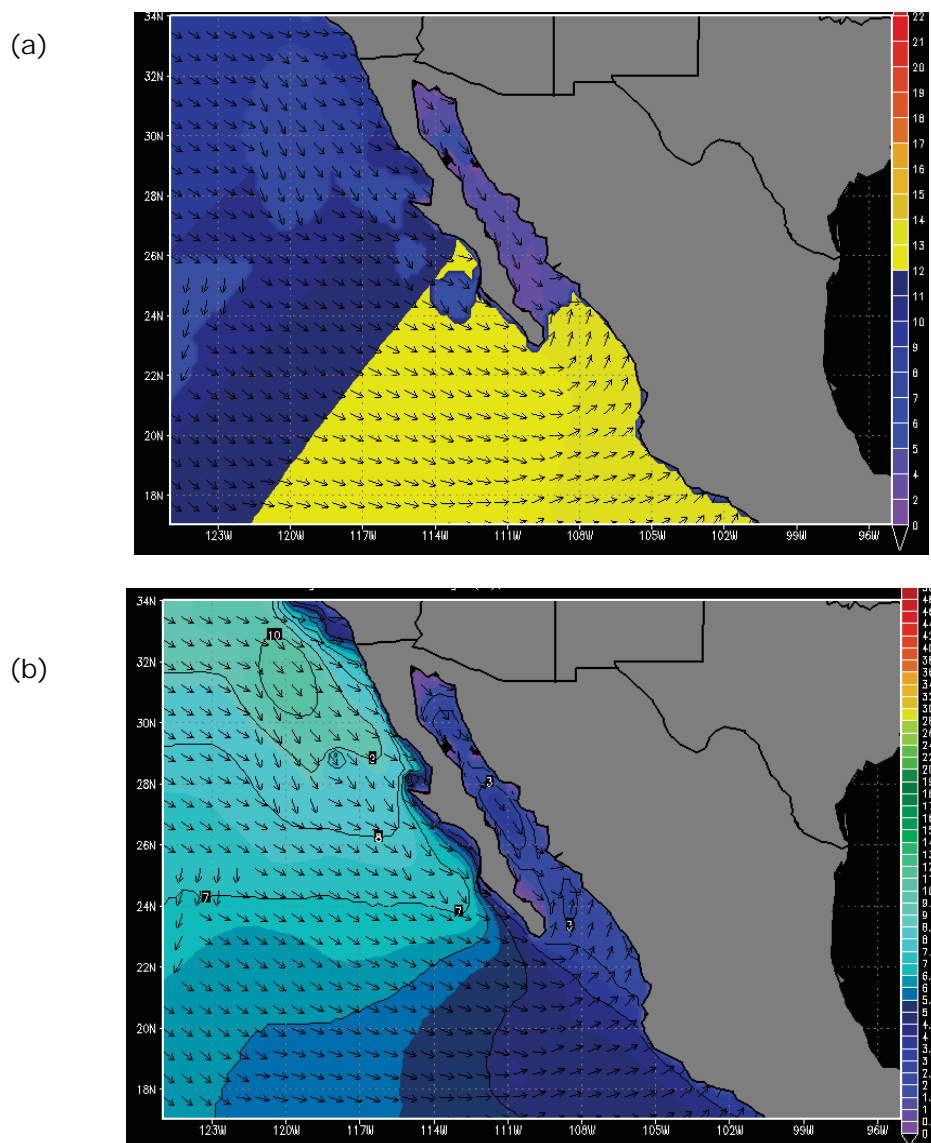


Figura 14. Predicción de oleaje normal por NOAA (2005) para el Océano Pacífico para abril de 2005: (a) Altura significativa, (b) Período de máximo pico espectral. CDIP. 2004. Coastal Data Information Program (18).

Discusión:

## I. Evaluación de la Calidad del Agua.

### Nutrientes.

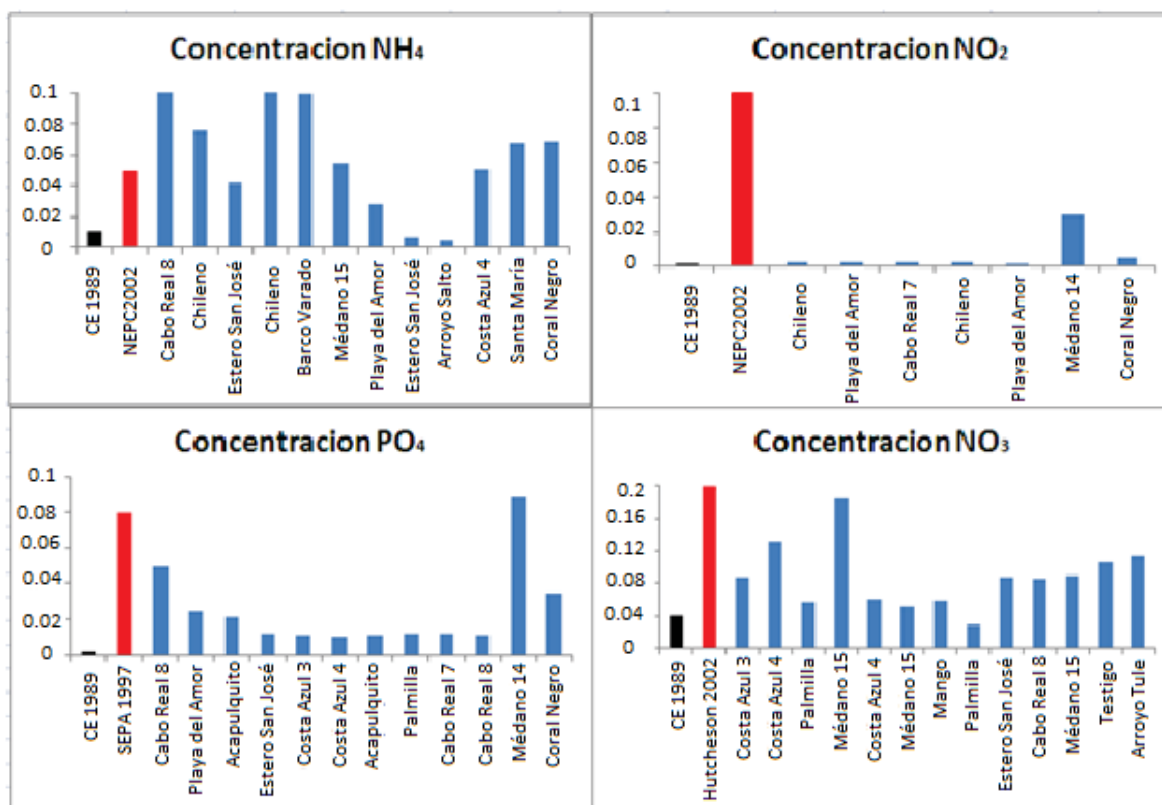
Las concentraciones de  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{NH}_4$  y  $\text{PO}_4$ , encontradas en el presente estudio exceden los valores indicados en los criterios ecológicos (CE 1989) para protección de la vida acuática, pero son similares a las registradas (Tabla XX) en agua de la boca del Golfo (Lambourn y Devol, 1995), en agua superficial del Pacífico (Millero, 1996) y en agua superficial de la Región de los Cabos (López-Cortés, 2008). Esto indica que los valores propuestos por los CE (1989) son muy bajos y no representativos para esta área, que se caracteriza por ser oligotrófica (López-Cortés *et al.*, 2008).

Los niveles de nutrientes que se han registrado para esta zona (Lambourn y Devol, 1995; Millero, 1996; López-Cortés, 2008; presente estudio) son menores en un 50% y 90% a los registrados en playas del Pacífico Mexicano con alta afluencia turística en Mazatlán y Acapulco respectivamente (INE-SEMARNAT 2000). Las concentraciones promedio de amonio y fosfato (INE-SEMARNAT 2000) exceden los criterios de mínima concentración que puede causar un disturbio en el ambiente marino (CMD; Figura 15 y 16, Tabla XX). En cambio, las concentraciones reportadas por López-Cortés *et al.* (2008) durante el 2004 en la región de los Cabos no exceden los criterios CMD.

En el presente estudio, las concentraciones que excedieron los CMD para amonio en agua de las playas de la región de Los Cabos estuvieron presentes en playas frente a hotel Playa Cabo Real 8 y Chileno en marzo; Chileno, Barco Varado y Médano 15 en junio del 2005, y en el Costa Azul 4, en el arroyo Tule, en Santa María y en Coral Negro en mayo del 2006 (Figuras 15). Los niveles de fosfatos solo estuvieron altos con respecto al CMD en la playa Médano 14 en enero del 2006 (Figuras 15). De acuerdo con lo anterior, las concentraciones que exceden los CMD en las playas mencionadas pueden ser un indicador de contaminación reciente, ya que además sus valores no son característicos de la región (López-Cortés *et al.*, 2008).

Tabla XX. Evaluación de la calidad del agua (nutrientes mg l<sup>-1</sup>) en playas recreativas de alta afluencia turística del Pacífico Mexicano (Valores que rebasan los criterios, en negritas valores máximos).

Fecha	Sitio de referencia	NH <sub>4</sub>	NO <sub>2</sub>	NO <sub>3</sub>	PO <sub>4</sub>
04-Mar-05	Costa Azul 3			0.088	
	<b>Costa Azul 4</b>			<b>0.132</b>	
	Palmilla			0.056	
	<b>Playa Cabo Real 8</b>	<b>0.535</b>			<b>0.05</b>
	Chileno	0.075	0.003		
	<b>Médano 15</b> <b>Playa del Amor</b>		0.003	<b>0.186</b>	<b>0.025</b>
11-Jun-05	Estero San José	0.042			
	Costa Azul 4			0.06	
	Acapulquito				0.021
	Playa Cabo Real 7		0.003		
	<b>Chileno</b>	<b>0.228</b>	0.003		
	Barco Varado	0.099			
	Médano 15 <b>Mango</b>	0.054		0.05 <b>0.059</b>	
29-Sep-05	Estero San José				0.012
	Costa Azul 3				0.011
	Costa Azul 4				0.01
	Acapulquito				0.011
	Palmilla			0.029	0.012
	Playa Cabo Real 7				0.012
	Playa Cabo Real 8				0.011
	<b>Playa del Amor</b>	<b>0.028</b>	<b>0.002</b>		
12-Ene-06	Estero San José	0.007		0.087	
	Playa Cabo Real 8			0.086	
	Arroyo Salto	0.005			
	<b>Médano 14</b>		<b>0.03</b>		<b>0.089</b>
	Mango <b>Testigo</b>			0.089 <b>0.108</b>	
03-May-06	<b>Costa Azul 4</b>	<b>0.051</b>			
	<b>Arroyo Tule</b>			<b>0.113</b>	
	Santa María	0.067			
	<b>Coral Negro</b>	<b>0.068</b>	0.005		<b>0.035</b>
Criterios	<b>CE 1989</b>	<b>0.01</b>	<b>0.002</b>	<b>0.04</b>	<b>0.002</b>
	<b>CMD</b>	<b>0.05</b>	<b>3</b>	<b>20</b>	<b>0.08</b>
	NGA	2	0.23	10	0.2
Playas del Pacífico Mexicano	Mazatlán	0.03-0.07	0.035	0.085	0.1
	Acapulco	0.01-0.5		1.51-12.74	2.8
	Los Cabos 2004	0.002-0.035		0.006-0.814	0.009-0.071
	San José del Cabo 1990-97		0.01	0.385	0.013



Figuras 15. Comparación de los niveles máximos permisibles y los límites de las concentraciones toxicas ( $\text{mg l}^{-1}$ ) que pueden causar un disturbio en medio marino (CMD) con las concentraciones de nutrientes encontradas en las playas de la región de Los Cabos durante 2005-2006.

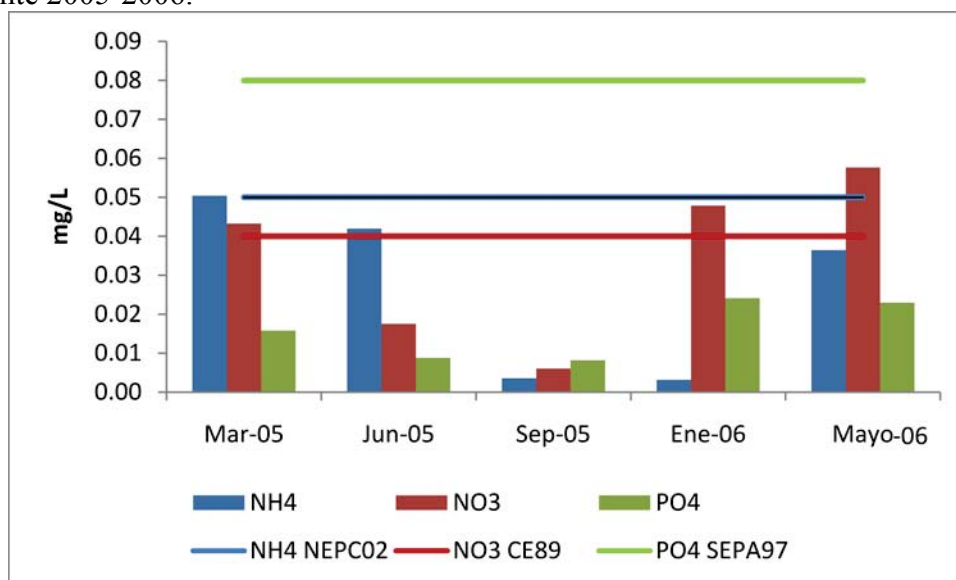


Figura 16. Comparación de la variación en la concentración de nutrientes mensual promedio en la región de Los Cabos durante 2005-2006 con los niveles máximos permisibles.

CE: Criterios Ecológicos 1989, CMD: Concentración Mínima que puede causar un Disturbio referencias: NEPC 2002 para  $\text{NH}_4$  y  $\text{NO}_2$ , Hutcheson 2002 para  $\text{NO}_3$ , SEPA 1997 para  $\text{PO}_4$ , NGA: Niveles Guía para Acuicultura por Boyd 2003, \*López-Cortes *et al.*, 2008, \*\*INE-SEMARNAT 2000).

En septiembre se registraron los niveles más bajos de nutrientes en la región de los Cabos, con una concentración ligeramente mayor de fósforo que de los compuestos nitrogenados. El patrón inverso se presenta en los restantes meses (Figura 16). Las lluvias que tienen lugar en la región de Los Cabos provienen principalmente de los ciclones y provocan las mayores lluvias entre los meses de julio a noviembre. (Martínez-Gutiérrez y Mayer, 2004). Con las lluvias el aporte fluvial y el arrastre terrígeno de los arroyos hacia la zona costera, incrementa la concentración de nutrientes, en especial de fósforo (López-Cortés *et al.*, 2008). Bajo estas condiciones el consumo de nitrógeno por los productores primarios, propicia su disminución en aguas superficiales costeras, siendo así este el nutriente limitante en la relación nitrógeno-fósforo, presentándose así suficiencia de fósforo (Mendoza-Salgado *et al.*, 2005). Debido a esto, solo en este mes de septiembre, se encontraron concentraciones promedio mensuales de fosfato ligeramente mayores a las de amonio y nitrato (Tabla XXI).

Tabla XXI. Comparación de la variación en la concentración de nutrientes mensual promedio y estimación proporción Redfield en la región de Los Cabos durante 2005-2006.

Mes –Año	NH <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	PO <sub>4</sub>	NT-inorg	P-PO <sub>4</sub>	Redfield
Mar-05	0.05	0.043	0.016	0.641	0.067	9.580
Jun-05	0.042	0.018	0.009	0.484	0.037	13.022
Sep-05	0.004	0.006	0.008	0.082	0.051	1.614
Ene-06	0.003	0.048	0.024	0.263	0.149	1.762
May-06	0.036	0.058	0.023	0.800	0.142	5.621
Total	0.024	0.035	0.016	2.270	0.446	5.085

Adicionalmente, la disminución de la concentración de nutrientes en septiembre con respecto a la de los otros meses, puede estar asociada a un efecto de dilución (Warsh *et al.*, 1973) causado por la hidrodinámica de la región sujeta a intenso oleaje en esta temporada de ciclones (Romero-Valdillo 2003; Atlas UNAM 2007). Cabe señalar que durante el periodo de estudio marzo del 2005 a mayo del 2006 no se reportan huracanes. Las únicas

tormentas tropicales Beatriz e Irving ocurridas el 23 de junio y del 25 al 26 de septiembre del 2005 respectivamente se presentaron posteriores a las fechas de toma de las muestras (<http://hurricane.csc.noaa.gov>).

En contraste, las concentraciones de nitrato característica de la región oligotrófica son mayores en enero marzo y mayo, cuando el agua rica en nutrientes del fondo es acareada por surgencias eventuales producidas por el viento (Álvarez-Borrego *et al.*, 1978; Álvarez-Borrego y Lara-Lara, 1991). Por otro lado, parece haber una tendencia de incremento en la concentración de amonio hacia los meses de primavera y al final del verano. Durante esta temporada se registra alta afluencia turística (López 2002) lo que implica mayor volumen de descarga de agua residual incluyendo el producido por embarcaciones (cruceiros y pesca deportiva) (Plan de Desarrollo Urbano de Los Cabos, 2005). Estas descargas se caracterizan por presentar una alta concentración de amonio con bajo contenido de oxígeno disuelto y nitrato (NOM-001-SEMARNAT-1996).

Finalmente, destaca que sólo en marzo del 2005 frente al Hotel Playa Cabo Real 8, se reporto una concentración de amonio igual al límite de concentración mínima ( $0.05 \text{ NH}_4 \text{ mg l}^{-1}$ ) que puede causar un disturbio en ambiente marino (CMD), según lo establecido por National Environmental Protection Counsel (NEPC 2002) y que puede ser toxica a la fauna acuática (SEDUE, 1989). Esto puede ser reconocido como contaminación puntual, puesto que se encontró una mancha de contaminación en la superficie de la columna de agua frente a la playa del Hotel Playa Cabo Real 8, en la cual también se detecto la mayor densidad de bacterias coliformes totales (46000 NMP CT/100mL) lo cual se discute más adelante.

Los resultados obtenidos del P.M. de nitrógeno inorgánico total (Ninorgt: suma de amonio, nitrito y nitrato) y de fosforo reactivo soluble (fosforo de fosfato P- $\text{PO}_4$ ) (Tabla II), indican una disminución en temporada de lluvias y una mayor concentración en temporada de estiaje de estos nutrientes. En general, para ambas temporadas la concentración de Ninorgt fue mayor a la de P- $\text{PO}_4$  (Figura 17). Esto es consistente con lo propuesto por Redfield (1958), que menciona que el fosforo será el nutriente limitante en contraste con el nitrógeno en ambientes marinos, no obstante el balance de N:P en agua superficial en la zona costera dependerá de las condiciones ambientales, la influencia de los organismos de vida acuática y de la actividad antropogénica en la zona (Redfield *et al.*, 1963).

Contreras-Espinosa *et al.* (2005) indica que las proporciones de Redfield para la relación N:P dependerán de las condiciones ambientales y de los aportes terrígenos a la zona costera que pueden contribuir hacia la disminución o incremento de los nutrientes en la columna de agua. Por lo que los resultados encontrados concuerdan con las condiciones locales explicadas. En septiembre 2005 y enero 2006 la relación N:P fue menor a 5 lo cual representa una limitación de nitrógeno en la columna de agua. En enero del 2006 se presentó la mayor cantidad de fósforo total ( $0.14\text{mg l}^{-1}$ ) y en junio del 2005 la menor en concentración ( $0.03\text{mg l}^{-1}$ ) en comparación con las concentraciones encontradas en los restantes meses. Esto explica el valor más alto en la relación N:P en junio 2005 (mayor a 10) que indica una limitante de fósforo. Los resultados indican una influencia nula de la relación N:P en los meses de marzo (2005) y mayo (2006) ya que los cocientes se encuentran entre 5 a 10 (Rinaldi *et al.*, 1992).

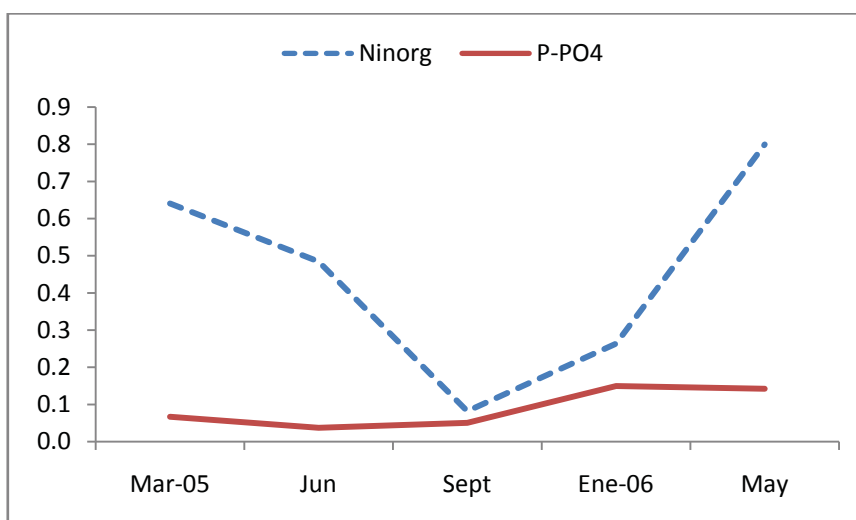


Figura 17. Concentración promedio de Nitrogeno inorganico (Ninorg = suma de  $\text{NH}_4$ ,  $\text{NO}_3$ , y  $\text{NO}_2$ ) y Fosfato ( $\text{P-PO}_4$ ) en la region de Los Cabos durante el periodo de muestreo 2005-2006.

En cuanto a los resultados obtenidos de grasas y aceites, se reportaron niveles que exceden los límites para recreación establecidos por la normativa mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996 y para protección de la vida acuática (CPVA) en general en toda la región durante el periodo de estudio. Las concentraciones más altas se presentaron en la

zona sur, en sitios ubicados cercanos a la dársena en Cabo San Lucas, y en el mes de mayo 2006 (Figura 4).

En esta zona y en este mes se presenta alta afluencia turística (INEGI, 2005), con gran número de embarcaciones que circulan constantemente y que pueden estar descargando no solo grasas y aceites de descargas sino también de sus motores que se encuentren en mal mantenimiento. La vigilancia en esta área es reducida o nula, puesto que se detectaron descargas clandestinas de aguas de desecho con alto contenido de grasa y aceites, así como materia orgánica y suspendida que ingresa al mar en la dársena.

Es notable que en la Playa del Médano 15, el valor más alto ( $65.4\text{mg l}^{-1}$ ) reportado de grasas y aceites en mayo del 2006 rebaso 2.5 veces los límites establecidos por normativas nacionales que establecen las concentraciones límites de descargas en bienes nacionales ( $15$  y  $25\text{mg l}^{-1}$  promedio mensual P.M. y promedio diario P.D) y aun también rebaso el nivel guía ( $0.14\text{mg l}^{-1}$ ) establecido para protección de la vida acuática (CPVA, Tong *et al.*, 1999) (Figura 18). Esta playa se encuentra ubicada al sur de la región hacia Cabo San Lucas, presenta una alta afluencia de turismo, con gran número de lanchas y motos acuáticas en un espacio reducido carente de servicios sanitarios y de botes de basura, además de la presencia de animales domésticos (caballos y perros). Todo esto contribuye al deterioro de la calidad del agua de esta playa (Ferrer, 2008).

De acuerdo a los parámetros fisicoquímicos analizados tanto a las descargas como a la calidad del agua de las playas en la región de los Cabos durante el periodo de estudio no representa ningún problema a la calidad del agua de las playas destinadas para recreación (NOM-001-SEMARNAT-1996). En general los valores encontrados de los parámetros analizados se encuentran dentro de los intervalos de variación determinados por otros autores para el área de estudio (López-Cortés *et al.*, 2008). Los cambios de temperatura y pH que se podrían producir en el agua de las playas de la región de los Cabos fueron muy insignificantes, esto debido principalmente a la ausencia de descargas industriales en la zona.



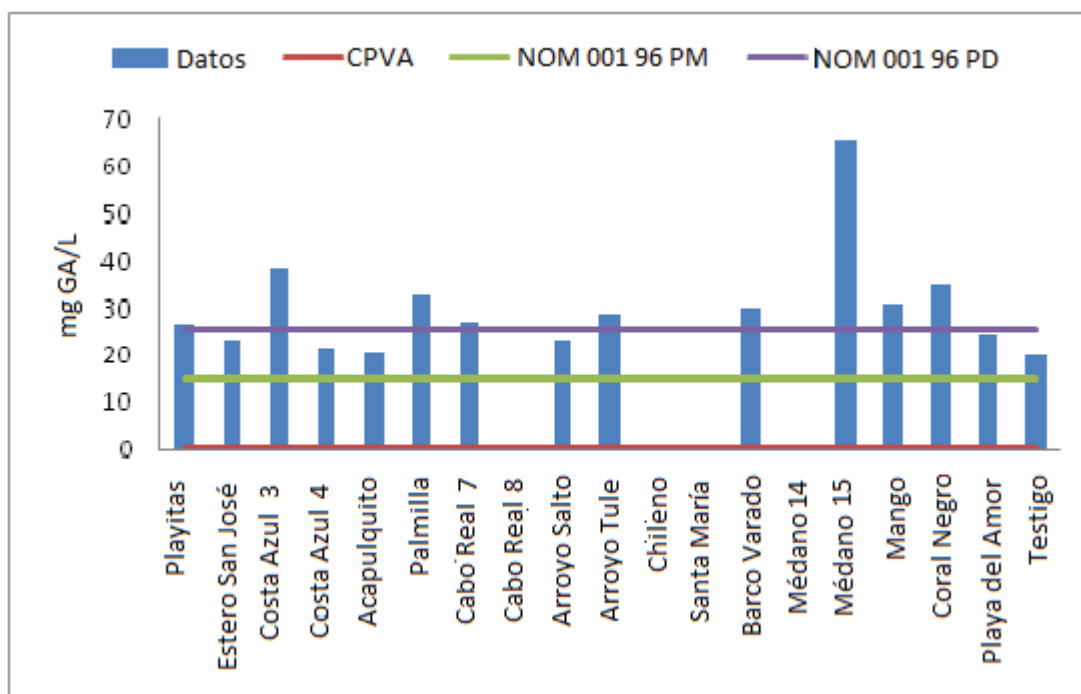


Figura 18. Concentración de grasas y aceites (GA) encontrada en mayo del 2006 en la playas de Los Cabos, B.C.S. En rojo: Criterio para la Protección de la Vida Acuática (CPVA) 0.14 mg l<sup>-1</sup> para GA (Tong *et al.*, 1999). Criterios para CPVA y para recreación, promedio mensual (P.M. 15 mg l<sup>-1</sup> en verde) y Promedio Diario (P.D. 25 mg l<sup>-1</sup> en morado), establecido por la NOM-001-SEMARNAT-1996

#### Contaminación bacteriológica por sitio, zona y mes.

Los niveles de CT en cada estación de muestreo en la región de Los Cabos durante el periodo de muestreo, rebasaron los criterios establecidos por Rheinheimer (1987) y SEDUE (1989) para recreación por contacto primario (<500 NMP CT) y para cultivo de moluscos bivalvos (<70 NMP CT) respectivamente (Tabla XXII). Aunque en el área de estudio no se llevan a cabo actividades de acuicultura, este criterio puede servir de indicador del límite permisible de coliformes totales para protección de la vida acuática. En cuanto al análisis por sitio según su ubicación geográfica de norte a sur, frente a: Palmilla, hotel Playa Cabo Real 7, hotel Playa Cabo Real 8, Arroyo Tule, Santa María, hotel Barco Varado, hotel Médano 14, y playa Coral Negro; son playas sobre las cuales habrá que poner atención e implementar medidas de manejo que mitiguen los altos niveles de contaminación bacteriológica (Tablas XXII y XXIII). Estas playas se ubican hacia las

zonas centro y sur de la región de estudio. Estas zonas se caracterizan por presentar alta presión antropogénica por el incremento en la tasa de crecimiento poblacional y de turismo, que se traduce en mayor volumen de aguas residuales.

Al tiempo del presente estudio se reportaban 27 plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) en el área de estudio, de las cuales 23 daban servicio al sector turismo (Pombo *et al.*, 2007). En contraste, actualmente se reportan 35 PTAR que dan servicio a hoteles y fraccionamientos ubicados en el corredor turístico de Los Cabos, mientras que para uso municipal se cuentan con 11 (OOMSAPAS 2009). Sin embargo, el desmedido crecimiento poblacional, así como la falta de planeación de desarrollo urbano y de turismo han contribuido a una alta demanda de servicios de drenaje y alcantarillado que no son suficientes en el área de estudio. A lo que se suma el deficiente sistema de alcantarillado y de tandeo que opera en la ciudad de Cabo San Lucas y la falta de servicios sanitarios en playas (Ferrer 2008) y en los asentamientos humanos ubicados cerca de los arroyos intermitentes de la zona (Puy-Alquiza, 1995). Esto se evidencia especialmente en la temporada de lluvia (julio-septiembre) cuando llega a saturarse el sistema, causando que en las calles existan efluentes con alta carga de material fecal (aguas de albañal) y en los arroyos y escorrentías efluentes que ingresan al mar (Valdez-Aragón, 2006).

La presencia de manchas de contaminación en algunos sitios de la costa de la región de los Cabos, hace suponer la presencia de descargas clandestinas, tanto de hoteles y restaurantes como de embarcaciones (vaciado de xantinas). Dado que en algunos sitios el flujo hacia el norte de las corrientes litorales es menor que en otros (Gutiérrez de Velasco *et al.*, 2006), puede estar ocasionando que la contaminación bacteriológica sea mayor en la zona centro y sur en contraste con el menor nivel reportado en la zona norte. Destaca que en la zona norte no se identificaron descargas de efluentes hacia el mar en el presente trabajo. Sin embargo el más alto nivel de coliformes totales (46 000 UFC CT / 100ml) reportada en marzo frente al hotel Playa Cabo Real 8 puede representar un evento puntual extremo, debido a alguna descarga ocurrida cercana y reciente al tiempo del muestreo, puesto que la mancha de la descarga en la superficie del mar era evidente.

Además, la tasa de eliminación de las bacterias coliformes se ve incrementada por acción de la radiación solar, siendo esta mayor en verano cuando se prolonga el tiempo de insolación (Carlucci y Pramer, 1959,1960; Sinton *et al.*, 2002). De acuerdo con lo anterior, es de esperarse que bajo condiciones de poco oleaje o movimiento de la masa de agua superficial y alta insolación, como ocurre en primavera-verano, la sobrevivencia de las bacterias coliformes en la columna de agua sea menor (Fujioka *et al.*, 1981), principalmente en una zona oligotrófica como lo es la región de Los Cabos (López-Cortés *et al.*, 2005).

No obstante, durante el ciclo de muestreo frente al arroyo Tule se registraron densidades altas de los indicadores de contaminación fecal que exceden los límites permisibles para playas recreativas y protección de la vida acuática (Rheinheimer 1987 y SEDUE 1989). Los niveles de CT estuvieron cinco veces por encima del criterio establecido por Rheinheimer (1987) en septiembre y enero. Para estos mismos meses de muestreo también se reportaron niveles altos de *E. coli* y enterocos, que rebasan cuatro y tres veces respetivamente los niveles establecidos por normativas nacionales (NOM-001-ECOL-1996 y NMX-AA-120-SCFI-2006) (Tabla XXII y XXIII).

Estas condiciones pueden agravarse en temporada de lluvias y ciclones, que en la región de Los Cabos las mayores lluvias se presentan principalmente entre los meses de julio a noviembre (Martínez-Gutiérrez y Mayer, 2004). Así, la calidad de las playas cercanas a la desembocadura de los arroyos, donde también existan asentamientos humanos irregulares sin servicios sanitarios, presentaran altos niveles de contaminación bacteriológica producto del incremento de material fecal ingresado al mar por los efluentes fluviales (Schiff *et al.*, 2002; Grant *et al.*, 2005; Santoro *et al.*, 2007). Esto puede explicar los altos niveles de los indicadores de contaminación fecal analizados frente al Arroyo Tule en septiembre (Puy-Alquiza, 1995). Especial atención debe ponerse en esta cuestión, puesto que el riesgo de contraer enfermedades gastrointestinales por estar expuesto por contacto primario en agua con niveles tan altos como los aquí reportados ha sido motivo de cierre de playas en otros sitios (Pommepuy *et al.*, 2006).

También en las playas ubicadas cercanas al arroyo Tule en su extremo sur, frente a las playas Santa María, Barco Varado y Médano 14 se presentaron principalmente en enero niveles altos de CT y *E. coli* (Tabla XXIII) que rebasan los criterios establecidos (Rheinheimer 1987, SEDUE 1989, NOM-001-ECOL-1996; NMX-AA-120-SCFI-2006). Cabe señalar que en esta zona centro se identificaron descargas clandestinas cercanas a estas playas en Santa María, Médano 1 y 2 (Figura 19). Todas ellas con niveles altos de los indicadores de contaminación bacteriológica de origen fecal que rebasan los criterios establecidos (Rheinheimer 1987, SEDUE 1989, NOM-001-ECOL-1996; NMX-AA-120-SCFI-2006).

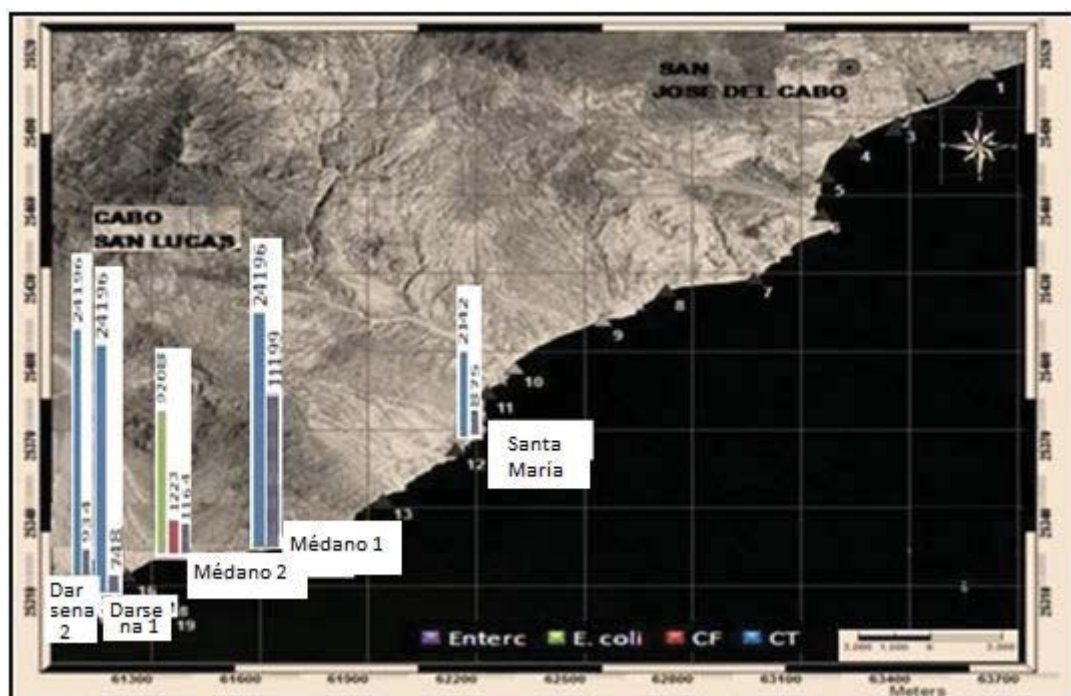


Figura 19. Contaminación bacteriológica de origen fecal encontrada en descargas hacia el mar en la región de los Cabos, B.C.S. en mayo del 2006.

Si bien en enero los niveles fueron más bajos que los de temporada de lluvia, los niveles reportados al presente seguían rebasando los niveles guía. En invierno se presentan la mayor afluencia de turistas y cruceros, lo que se traduce en mayor presión antropogénica, y por tanto de volumen de descarga de aguas residuales (López-López 2002; INEGI, 2005). Además en invierno el flujo hacia el sur de las corriente litorales es más fuerte que el de

verano (Gutiérrez de Velasco *et al.*, 2006), por lo que no se descarta un posible transporte litoral y dispersión de contaminantes hacia el sur. Esto advierte del riesgo toxicológico al que estarían expuestos los bañistas en esta zona.

Al sur de la región, cercana a la dársena y marina de Cabo San Lucas, la playa Coral Negro, también presentó altos niveles de indicadores de contaminación bacteriológica tanto en septiembre como en enero y alta densidad de enterococos en Mayo. Las causas probables de estos altos niveles en los dos primeros meses pueden asumirse por las mismas razones que se explicaron previamente. También en mayo se presenta una alta afluencia turística (INEGI 2005).

Destaca que en este mes se presentaron en esta zona los niveles más altos de grasas y aceites, lo cual puede atribuirse a descargas de aceites de las embarcaciones y aguas residuales de restaurantes, que contribuyen al incremento de materia orgánica y nutrientes disueltos requeridos por las bacterias (Hassan *et al.*, 1996; Henrickson *et al.*, 2001). Esto concuerda con las altas densidades de los indicadores de contaminación bacteriológica que excedieron los criterios establecidos (Rheinheimer 1987, SEDUE 1989, NOM-001-ECOL-1996; NMX-AA-120-SCFI-2006), registrados en las descargas identificadas como dársena 1 y 2.

Tabla XXII. Evaluación de la calidad del agua en playas recreativas con base en los criterios establecidos para coliformes totales (CT). Comparación de los valores obtenidos en este trabajo con los de otras playas recreativas de alta afluencia turística del Pacífico Mexicano.

Mes y año	Sitio	CT	
Marzo 2005	Playa Cabo Real 8	46000	
Septiembre 2005	Costa Azul 4	1464	
	Arroyo Salto	548	
	Mango	538	
	Coral Negro	3151	
Enero 2006	Estero San José	809	
	Playa Cabo Real 7	24196	
	Arroyo Tule	684	
	Barco Varado	24196	
	Coral Negro	24196	
Mayo 2006	Playa del Amor	855	
	Playa Cabo Real 7	539	
	Playas recreativas de alta afluencia turística del Pacífico Mexicano	Lozano 1997	Mazatlán 900
		Rivas 2005	
		Leal <i>et al</i> 2000	Acapulco 6500
Araujo 2005			
Criterios	Rheinheimer 1987 Limite	<500	
	Bandera Azul Riesgo Sanitario	+1000	

Tabla XXIII. Comparativa de indicadores de contaminación bacteriológica de origen fecal que exceden los niveles guías encontrados en la región de Los Cabos, 2005-2006.

Mes y año	Sitio	CT	CF	<i>E. coli</i>	Enterococos
Marzo 2005	Playa Cabo Real 8	46000	24000		
Septiembre 2005	Costa Azul 4	1464			
	Arroyo Salto	548			
	Arroyo Tule			4106	431
	Mango	538			
	Médano 14			1309	
	Coral Negro	3151		10462	
Enero 2006	Estero San José	809			
	Palmilla			1078	
	Playa Cabo Real 7	24196			
	Arroyo Tule	684		1366	
	Santa María			1250	
	Barco Varado	24196		10462	
	Médano 14			1833	
	Coral Negro	24196			663
Mayo 2006	Playa Cabo Real 7	539			
	Rheinheimer 1987	<500			
	NOM-001-SEMARNAT-1996		240	500-1000	201-500

Análisis glm: relación entre variables y coliformes totales.

Los resultados obtenidos del análisis glm indican que los factores asociados a los niveles de contaminación bacteriológica en cada zona de la región están diferenciados, principalmente por la carga de nutrientes (fosfato  $PO_4$  y amonio  $NH_4$ ), sólidos sedimentables totales (SST) y grasas-aceites (GA). En este sentido, Hasan *et al.* (1996) reporta una relación inversa entre la concentración de nutrientes y el contenido de oxígeno disuelto en el mar, lo cual se asocia a la demanda de oxígeno por consumo de nutrientes debido a la acción bacteriana.

Esto puede explicar la relación encontrada entre los nutrientes fosfato y amonio con las coliformes totales en el análisis glm para la zona centro y norte respectivamente. Destaca el amonio como el compuesto nitrogenado asociado en mayor medida con las coliformes, el cual se encuentra en aguas residuales (Zoffmann *et al.*, 1989). Esto se refleja en la alta concentración de amonio reportada frente al hotel Playa Cabo Real 8 (ubicado en zona norte), donde también se registró la densidad más alta de bacterias coliformes totales en marzo.

Asimismo, para este sitio en marzo también se presentó el valor más alto de sólidos sedimentables totales (336mg SST/L), siendo el doble del límite permisible establecido por normativas nacionales para playas recreativas por contacto primario (NOM-001-ECOL-1996; NMX-AA-120-SCFI-2006). Esta condición favoreció la sobrevivencia de las coliformes en la columna de agua, debido a que un alto contenido de SST ofrece una superficie de adsorción para las bacterias y de esta manera retarda su sedimentación en el fondo (Barcina *et al.*, 1990; Alkan, 1999). Además con el mayor contenido de material particulado en suspensión aumenta la turbidez en la columna de agua, mitigando así su inactivación por efecto de la radiación solar sobre la sobrevivencia de las bacterias (Carlucci y Pramer, 1959; Fujioka *et al.*, 1981).

La salinidad representó un factor significativo en modelar la respuesta de las coliformes en la zona centro. Es precisamente en esta zona donde se encuentran los arroyos intermitentes Salto y Tule, que en temporada de lluvias acarean material fecal que ingresa



al mar. Estos efluentes, los de las descargas de aguas residuales y de los de las xantinas de las embarcaciones, producen una masa de agua de baja salinidad y menos densa en la superficie del mar, que aparecen como manchas o plumas de contaminantes (Canale *et al.*, 1973). En ellas, también se encuentran altos contenidos de sólidos suspendidos, grasas-aceites, fosfatos, y amonio (Rodríguez *et al.*, 1995; Rozen y Belkin, 2001). Todos ellos estuvieron presentes en las relaciones encontradas en el análisis glm, de tal manera que propician la turbidez y nutrientes en la columna de agua, condiciones óptimas para la sobrevivencia de bacterias indicadoras de contaminación fecal (Carlucci y Pramer, 1959). Estas mismas condiciones estuvieron presentes en la zona sur, donde se encuentra la dársena y la marina, con ingreso de un gran número de embarcaciones y establecimientos que pueden descargar sus desechos al mar. Además como ya se mencionó fue en esta zona donde se reportó la mayor cantidad de grasas y aceites.

Los resultados encontrados en el estudio concuerdan con lo reportado por Espejel y colaboradores (2007), quienes realizaron una evaluación del potencial efecto de las descargas costeras sobre la vulnerabilidad de las playas a contaminación bacteriológica en escenarios con diferente intensidad de corrientes. Espejel *et al.* (2007) reportan a las playas de Cabo San Lucas como vulnerables, en condiciones de corrientes débiles que incrementan la zona de mezcla cercana a la costa de hasta 130m, encontrándose las concentraciones más bajas de contaminantes a una distancia más allá de 500m de la línea de costa. Esto alerta sobre el potencial riesgo toxicológico y deterioro del ambiente acuático en la zona sur de la región de Los Cabos. De permanecer las condiciones actuales de falta de manejo y regulación de las descargas al mar, así como la falta de servicios sanitarios en las playas ante la alta demanda, este riesgo y deterioro se incrementaría en la zona sur hacia Cabo San Lucas (Pombo *et al.*, 2007; Ferrer, 2008). Puesto que en verano el flujo de las corrientes litorales hacia el norte es débil y en invierno el flujo es fuerte hacia el sur (Gutiérrez de Velasco *et al.*, 2006), las playas en esta zona sur se verían desfavorecidas por la dispersión y transporte de contaminantes. Sobre todo en temporada de lluvias, cuando las bacterias coliformes llegan a sobrevivir incluso cinco días posteriores a la tormenta (Ackerman y Weisberg, 2003).

## II. Modelación de la corriente litoral inducida por oleaje.

La contaminación bacteriológica encontrada en agua superficial de playas ubicadas al centro y sur de la región de Los Cabos en invierno puede estar siendo transportada hacia esta dirección por las corrientes litorales. De acuerdo a Gutiérrez de Velasco *et al.*, (2006) en esta temporada las corrientes litorales en la región se orientan hacia el sur en un flujo paralelo a la costa con velocidades máximas de entre 20 y 30 cm/seg. Si bien existe corrientes inducidas por el viento que viajan paralelas a la costa con una dirección hacia el norte su flujo es menor con velocidades de 1.08 a 22.58cm/s encontradas en febrero del 2007 (Tabla XIX, Figura 13). Este flujo débil hacia el norte concuerda con los resultados obtenidos de modelación numérica aquí presentada, específicamente en la zona sur correspondiente a Cabo San Lucas (Figura 20).

En primavera la corriente litoral inducida por oleaje se dirige preponderantemente hacia el norte con una velocidad máxima aproximada de 20cm/s (Figura 21). Esto concuerda con lo reportado por Gutiérrez de Velasco *et al.*, (2006), que reporta un flujo débil con dirección normal hacia la costa o hacia el noreste y velocidades con valores máximos entre 15 y 20 cm s<sup>-1</sup> durante primavera y verano. Esto podría explicarse en términos del apilamiento del agua al sur CSL cuando el oleaje incide con ángulo oblicuo proveniente del NW, esto genera una corriente litoral que se dirige de sur a norte. Lo que podría explicar un posible transporte de contaminantes del sur en Cabo San Lucas hacia la zona norte San José del Cabo observado en el muestreo de marzo. Cuando el ángulo de incidencia del oleaje es aún menor (292°), manteniendo la magnitud del periodo y altura significativa del oleaje de primavera, se produce una corriente litoral en la zona sur con velocidades más débiles con dirección hacia el Norte.

En el presente estudio en el mes de marzo (2005) se registro la máxima concentración de contaminación bacteriológica en la playa ubicada frente al hotel Playa Cabo Real 8, en la zona centro de la región de estudio. Esta condición puede haber sido un evento de contaminación puntual ya que aquí se detectaron descargas clandestinas y una mancha de contaminación en agua superficial cercana la costa. Esta mancha de

contaminación puede ser mantenida en esta zona debido a la orientación de la corriente (Figura 21).

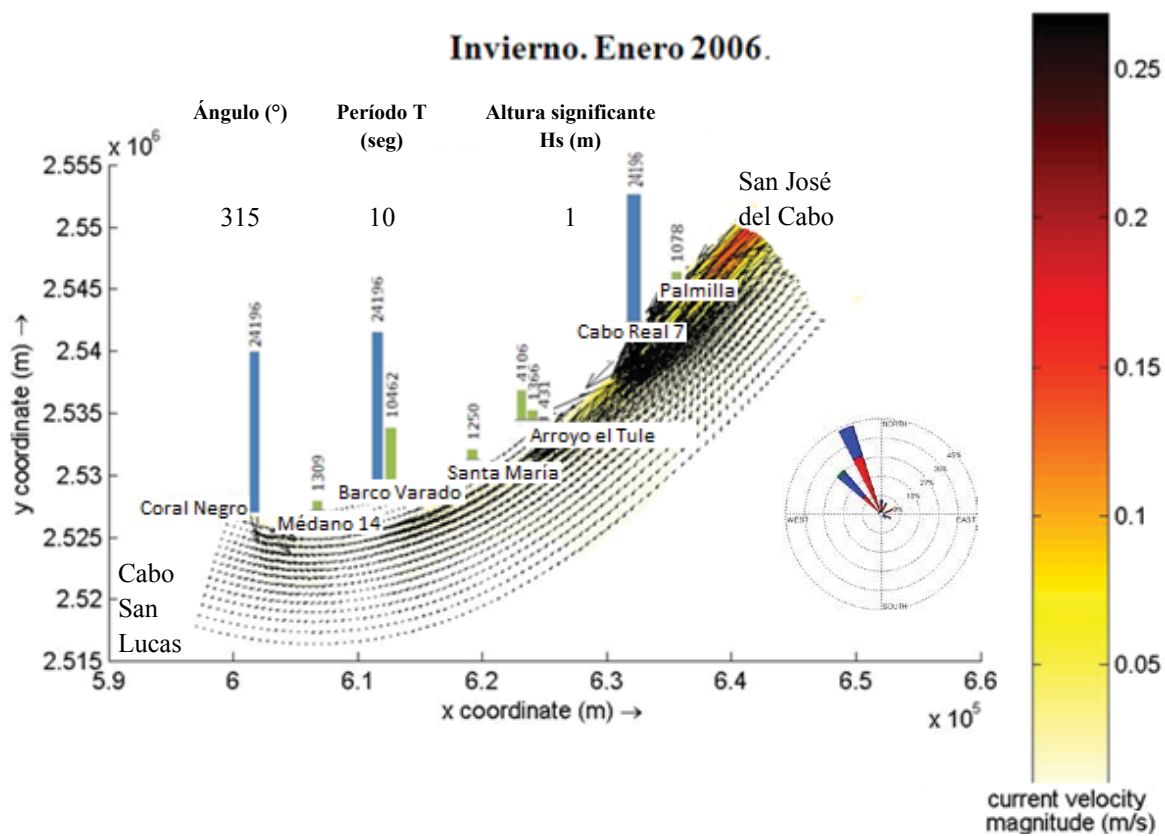


Figura 20. Representación de los puntos de control con alta contaminación bacteriológica y la corriente litoral generada por oleaje en otoño-invierno la región de Los Cabos.

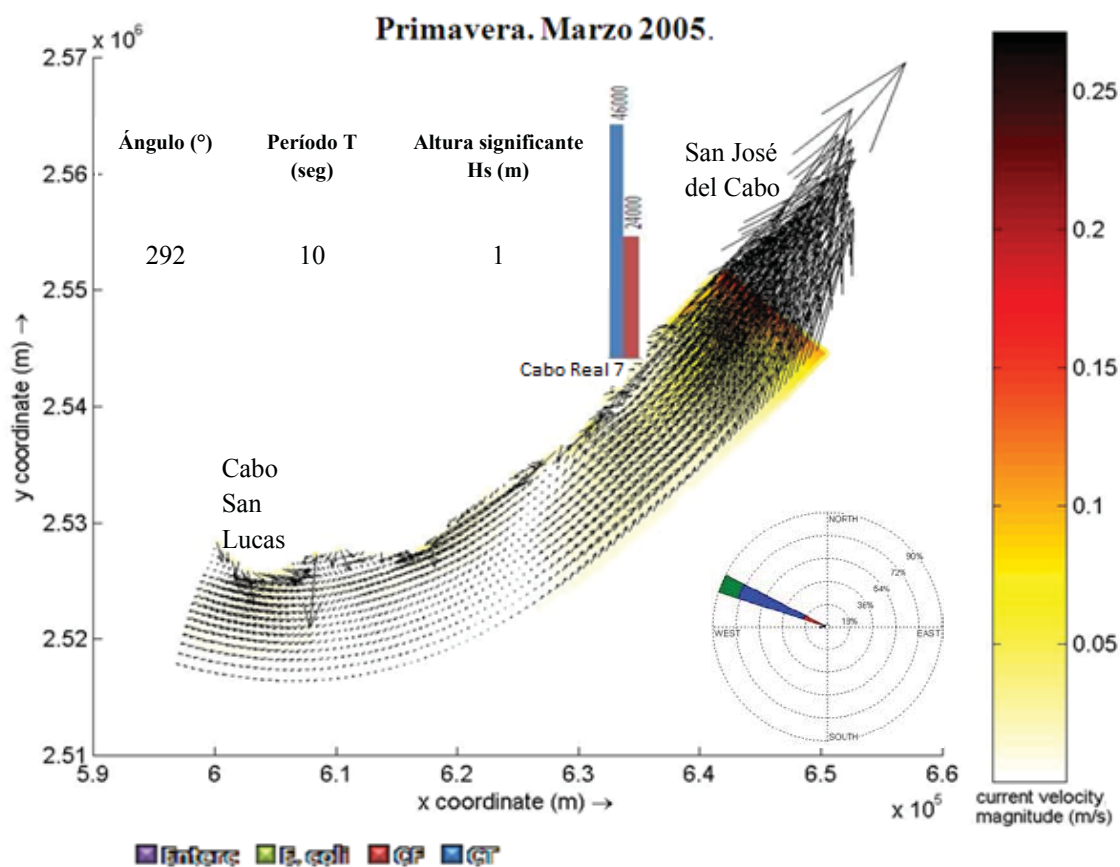


Figura 21. Representación de los puntos de control con alta contaminación bacteriológica y la corriente litoral generada por oleaje en primavera la región de Los Cabos.

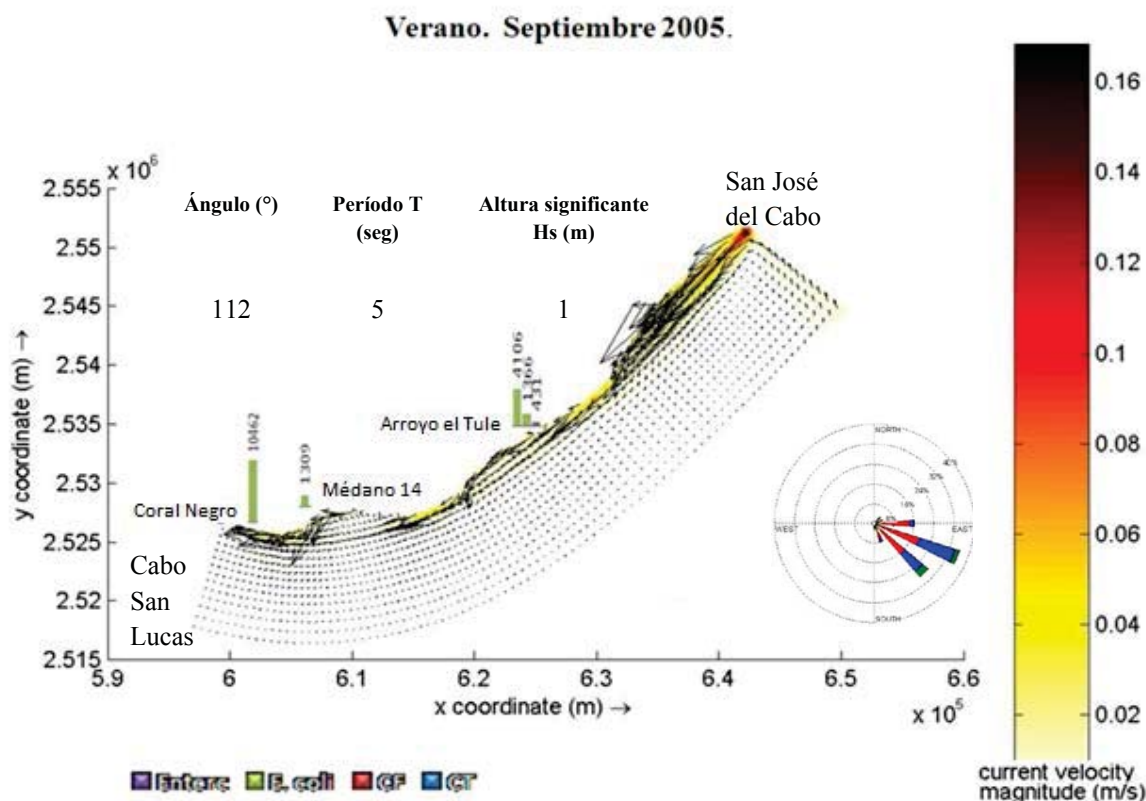


Figura 22. Representación de los puntos de control con alta contaminación bacteriológica y la corriente litoral generada por oleaje en verano la región de Los Cabos.

Durante verano bajo las condiciones de oleaje incidente proveniente de direcciones sur, sureste, suroeste y oeste se genera una corriente litoral con dirección preponderante hacia el sur en todos los escenarios planteados. El posible flujo hacia el norte es más débil que el flujo hacia el sur (con velocidad máxima aproximada de  $18 \text{ cm s}^{-1}$ ) (Figura 22). Del tal manera que se presenta la condición opuesta a la presentada en invierno-otoño. Así el posible transporte de contaminantes en la zona costera por corrientes litorales seguirá un patrón norte-sur. Esto concuerda con los registros de alta contaminación bacteriológica encontrados en la zona centro y sur de la región de Los Cabos. Destaca que en esta temporada y en menor grado en invierno en la zona norte donde se encuentran el arroyo intermitente Tule, la contaminación bacteriológica puede estar asociada al arrastre fluvial que confluye con el flujo de la corriente litoral.

Adicionalmente, la morfodinámica en el área de estudio puede estar funcionando como una barrera que al chocar o romper el oleaje con la pendiente de la playa da lugar a la difracción del oleaje, es decir la mayor parte del oleaje continuara fluyendo con la dirección de dónde provino, pero una parte del oleaje cambiara de dirección yendo paralelo a la costa con menor energía (la energía se irá disipando). Entonces el oleaje que se produce en la zona sur del área de estudio tiene cierta influencia hasta donde el oleaje alcance a llegar o tener un efecto posterior a la difracción. Pero en la zona norte la hidrodinámica puede ser diferente incluso con sentido inverso de las corrientes generadas, puesto que la influencia de la dirección del viento y de la marea genera también corrientes. Por otro lado, las corrientes de marea en el Golfo tienen también una influencia importante en el efecto de la circulación costera en esa zona (Gutiérrez de Velasco *et al.*, 2006). En resumen, el flujo o transporte de partículas en la zona costera, puede estar determinado por las corrientes litorales, por los efectos del viento y de la marea, influyen sobre la dirección de transporte.

Finalmente, en todos los casos la zona norte, San José del Cabo, se ve favorecida por la circulación costera, presentando casi nula contaminación bacteriológica. La condición inversa se presenta en la zona centro y sur, hacia Cabo San Lucas, donde además existe mayor presión antropogénica por turismo.

#### Conclusiones.

Este trabajo representa el primer antecedente en estudios de calidad de agua de amplio espectro en la región que permitirá realizar evaluaciones comparativas futuras y alertar sobre la urgencia de tomar medidas en el manejo de las descargas de aguas residuales a aguas costeras. También genera información valiosa que pueda permitir a los tomadores de decisiones gestionar el ordenamiento y la regulación de las actividades del sector turístico para lograr mitigar los impactos en el deterioro de la calidad del agua de las playas de la región.

La alta contaminación bacteriológica reportada en las playas de la región de los Cabos, B.C.S. sugiere estar estrechamente relacionada con la alta presión antropogénica principalmente debido a la demanda del sector turismo y descargas de plantas de

tratamiento y de efluentes producidos en zonas carentes de servicios sanitarios. La depuración de la calidad del agua en las playas depende esencialmente de las fuertes corrientes en la zona. La complejidad de modelar la dinámica de dispersión y transporte de contaminantes resulta un proceso complicado y difícil de estimar, ya que la validación de este tipo de estudios requerirá de mayor investigación en cuanto a la circulación costera en la zona bajo diferentes condiciones ambientales.

En general, la calidad del agua en la región de Los Cabos durante el periodo de estudio (2005-2006) fue inaceptable en cuanto a contaminación microbiológica de origen fecal en las zonas centro y sur, y en la zona norte solo en la playa frente al Hotel Playa Cabo Real 8 en marzo del 2005.

- La densidad de bacterias coliformes totales estuvo relacionada con la concentración de amonio y oxígeno disuelto en la zona norte, amonio y sólidos suspendidos totales en la zona centro, y sólidos suspendidos totales y grasas y aceites en la zona sur.
- En la zona norte de costa azul, en la playa frente al hotel Playa Cabo Real 8 en marzo del 2005 se reportaron los niveles más altos de contaminación fecal por coliformes totales y fecales rebasando los límites permisibles por las normativas. Así también, se reportó el doble del límite permisible de sólidos suspendidos totales y valores de concentración de amonio que pueden causar un disturbio e incluso ser tóxicos para la fauna marina. También aquí se encontraron descargas clandestinas de efluentes hacia el mar.
- En la zona centro se reportaron altos niveles de contaminación microbiológica de origen fecal (*E. coli* y enterococos) frente a la desembocadura del arroyo Tule en septiembre del 2005 y enero del 2006. Esto se atribuye al arrastre de material fecal y de desecho por el efluente en temporada de lluvias y a la carencia de servicios sanitarios de los asentamientos irregulares presentes cerca del arroyo.
- En la zona sur se reportaron altos niveles de contaminación microbiológica de origen fecal (coliformes totales y enterococos) en las playas Médano 14 y Coral

Negro en en septiembre del 2005 y enero del 2006. También se identificaron descargas clandestinas en la dársena de Cabo San Lucas, destaca que en esta zona existe una mayor presión antropogénica urbana y turística.

- En mayo del 2006 se presentaron en toda la región contaminación por grasas y aceites, con niveles altos principalmente en la dársena de Cabo San Lucas.
- La predominancia de alta contaminación fecal en agua superficial costera en la zona centro y sur de la región de Los Cabos, está asociada al débil flujo hacia el norte en verano y el fuerte flujo hacia el sur en invierno. Este flujo está altamente influenciado por la corriente litoral inducida por oleaje que durante temporada de tormentas y huracanes se incrementa. Pese a que estas condiciones favorecerían la dispersión de contaminantes en la superficie de la columna de agua, la hidrodinámica de la región puede ser muy compleja y se requiere mayor investigación en el área.

#### Recomendaciones:

Los trabajos realizados en cuanto a la hidrodinámica de la región son escasos y relativamente recientes en cuanto a (Romero-Vadillo, 2003; Gutiérrez de Velasco *et al.*, 2006; Camacho-Valdez *et al.*, 2008). Aun no se tienen bien identificados los factores asociados al transporte y dispersión de contaminantes en la zona costera de la región. Se requiere evaluar el tiempo de residencia en la dársena y el factor de dilución en zonas expuestas y de intenso oleaje. Además se requiere de un mayor esfuerzo de monitoreo (series de tiempo) a largo plazo de la calidad del agua y muestreo sistemático en gradiente en la zona costera.

- Se recomienda realizar monitoreos de la calidad del agua con muestreos previos y posteriores a la temporada de lluvias, principalmente en la zona costera donde desembocan los arroyos y en la zona sur donde existe mayor presión antropogénica, particularmente en la dársena.



- También se recomienda realizar un registro de la calidad del agua en periodos de mayor afluencia turística.
- Resalta la importancia de llevar un control y vigilancia en la calidad y destino de los efluentes de las plantas de tratamiento y de las descargas de las embarcaciones y cruceros, en especial de sus xantinas.
- Es necesario implementar regulaciones y un sistema de multas en cuanto a manejo de residuos y desechos en la playa. Así como también, servicios sanitarios y contenedores de basura no solo en las playas, sino también en la zona conurbada cercana a la playa, a fin de evitar el arrastre de basura y material fecal al mar. Sobre todo en los encauces de los arroyos donde los asentamientos irregulares carecen de estos servicios.

#### Referencias:

Abel P. 1996. *Water Pollution Biology*. Tony and Francis. U.K. 286p.

Ackerma D. y S. Weisberg. 2003. Relationship between rainfall and beach bacterial concentrations on Santa Monica Bay beaches. *Journal of Water Health*. 2:85–89.

Albert L. 2004. *Toxicología Ambiental*. UACJ. México. 455.

Alexander L., A. Heaven, A. Tennant y R. Morris. 1992. Symptomatology of children in contact with sea water contaminated with sewage. *Journal of Epidemiology and Community Health*. 46:340-344.

Alkan U. 1999. The fate of enteric bacteria in relation to suspended particles in seawater. *Journal of CIWEM*. 13:16-23.

Álvarez-Borrego S. y R. Schwartlose. 1979. Masas de agua del Golfo de California. *Ciencias Marinas*. 6:43-63.

- Álvarez-Borrego S., J. Rivera, G. Gaxiola-Castro, M. Acosta-Ruiz y R. Schwartzlose. 1978. Nutrientes en el Golfo de California. *Ciencias Marinas*. 5: 53-71.
- Álvarez-Borrego S. y J. Lara-Lara. 1991. The physical environment and productivity of the Gulf of California. *En: (Dauphin J. y B. Simoneit, eds) The Gulf and Peninsular Province of the Californias*. American Association of Petroleum Geological Memories. 47: 555-567.
- Anderson D., P. Glibert y J. Burkholder. 2002. Harmful algal blooms and eutrophication: Nutrient sources, composition, and consequences. *Estuaries* 25:562-584.
- Angino E., L. Magnuson, T. Waugh, O. Galle y J. Bredfeldt. 1970. Arsenic in detergents possible danger and pollution hazard. *Science*. 168:389-390.
- Anónimo. 2007. Atlas de Clima Marítimo de la vertiente Pacífica Mexicana II-UNAM. Base de datos digital.
- Anónimo 2008. Manifestación de Impacto Ambiental. Rectificación y/o Encauzamiento de los arroyos San Lucas y Salto Seco, en la Cd de Cabo San Lucas, Municipio de Los Cabos, B.C.S. Consultores en Tecnología Ecológica S.A. de C.V. Compañía del Grupo SACMAG. 290.
- Araujo-Ocegueda L. 2005. Estudio Diagnóstico de la Calidad Sanitaria en Aguas Costeras de la Bahía de Acapulco. Informe Técnico. 27.
- Aston S. 1977. Estuarine chemistry. *En: (Riley and Chester, eds) Chemical Oceanography*. 7:361-440.
- Baird C., R. Seymour y C. Carraher. 2001. *Química ambiental*. Reverte. 622.
- Barcina I., J. González, J. Iriberry y L. Egea. 1990. Survival strategy of *Escherichia coli* and *Enterococcus faecalis* in illuminated fresh and marine systems. *Journal of Applied Bacteriology*. 68:189-198
- Berner F. 1980. *Early Diagenesis: A Theoretical Approach*. Princeton University Press. Princeton N.J. 241.
- Bensen H. 1994. *Microbiological applications*. Wm. C. Brown Publishers. Iowa. 447.

- Bitrán D., L. Acosta Colsa, H. Eslava Morales, C. Gutiérrez Martínez, M. Salas Salinas y M. Vázquez Conde. 2002. Impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la república mexicana en el año 2001. Sistema Nacional de Protección Civil Centro Nacional de Prevención de Desastres. 103.
- Bjerregaard P. y T. Vislie. 1986. Effect of copper on ion and osmorregulation in the shore crab *Carcinus maens*. *Marine Biology*. 91:69-76.
- Boyd C. 2003. *Water Quality in Ponds for Aquaculture*. Alabama Agricultural Experiment Station. Auburn University. Alabama. 481.
- Bueno Zamora J. 1978. *Evaluación de la Calidad del Agua en la Bahía de Acapulco, Guerrero*. Universidad Autónoma de Nuevo León. Tesis de Maestría. 162.
- Burton D. y J. Fisher. 1990. Acute toxicity of cadmium, copper, zinc, ammonia, 3,3'-dichlorobenzidine, 2,6-dichloro-4-nitroaniline, methylene chloride, and 2,4,6-trichlorophenol to juvenile grass shrimp and killifish. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 44:776-783.
- Brinton E., A. Fleminger y D. Siegel-Causey. 1986. The temperate and tropical planktonic biotas of the Gulf of California. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Reports*. 27:228-264.
- Bruland G. 1983. Trace elements in seawater. *En:* (J. Riley y R. Chester, eds) *Chemical Oceanography*. Academic Press. New York. 159-221.
- Bray N. 1988. Thermohaline circulation in the Gulf of California. *Journal of Geophysical Research*. 93: 4993-5020.
- Bryan G. 1976. Heavy metal contamination in the sea. *En:* (R. Johnson, ed) *Marine Pollution*. Academic Press, New York. USA. 185-302.
- Calabrese A. y D. Nelson. 1974. Inhibition of embrionic development of the hard clam (*Mercenaria mercenaria*) by heavy metals. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 11:92-99.

- Camacho-Valdez V., J. Murillo-Jiménez, H. Nava-Sanchez y C. Turrent-Tompson. 2008. Dune and beach morphodynamics at Cabo Falso, Baja California Sur, Mexico: response to natural, hurricane Juliette (2001) and anthropogenic influence. *Journal of Coastal Research*. 24:553-560.
- Canadian Council of Ministers of the Environment. 2003. Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life: Nitrate Ion. *En: (Canadian Council of Ministers of the Environment) Canadian environmental quality guidelines*. Winnipeg. 1999.
- Canale R., R. Patterson, J. Gannon y W Powers. 1973. Water quality models for total coliform. *Water Pollution Control Federation*. 45:325-336
- Canet C., R. Prol-Ledesma, I. Torres-Alvarado, H. Gilg, R. Villanueva y R. Lozano-Santa Cruz. 2004. Silica-carbonate stromatolites related to coastal hydrothermal venting in Bahía Concepción, Baja California Sur, México. *Sedimentary Geology*. 174:97-113.
- Canet C., R. Prol-Ledesma, J. Proenza, M. Rubio-Ramos, M. Forrest, M. Torres-Vera y A. Rodríguez-Díaz. 2005. Mn-Ba-Hg mineralization at shallow submarine hydrothermal vents in Bahía Concepción, Baja California Sur, México. *Chemical Geology*. 224:96-112.
- Carlucci A. y D. Pramer. 1959. Factors affecting the survival of *Escherichia coli* in seawater. *Applied Microbiology*. 7:388-392.
- Carlucci A. y D. Pramer. 1960. An evaluation of factors affecting the survival of *Escherichia coli* in seawater. *Applied Microbiology*. 8:243-247.
- Carpenter S., N. Caraco, D. Correll, R. Howarth, A. Sharpley y V. Smith. 1998. Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. *Ecological Applications*. 8:559-568.
- Carranza-Edwards A., L. Rosales-Hoz, y Y. Hornelas-Orozco. 1986. Sulfuros metálicos submarinos al sur de la península de Baja California, México. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*. UNAM. 13:287-296.

- Cervantes-Duarte R., S. Aguiñiga-García y S. Hernández-Trujillo. 1992. Condiciones de surgencias asociadas a la distribución de zooplankton en San Hipólito, B.C.S. *Ciencias Marinas*. 19:117–135.
- Comisión Federal para la Protección Contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS). 2007. Evaluación de la calidad de agua de mar para uso recreativo 2003-2007. Comisión de Evidencia y Manejo de Riesgos. Secretaría de Salud. 40.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 1998. Mapa de climas. Escala 1:1000000. Fuente: García E. Climas. Clasificación de Koeppen, modificado por García. México. D.F.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) 2003. Federal de Derechos Normas Aplicables en materia de Aguas Nacionales y sus Bienes Públicos inherentes 2003. Diario oficial de la Federación México. Enero 2:173-191.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). 2004. Monitoreos correspondientes a los meses de noviembre del 2003 a febrero del 2004 de Saneamiento y Calidad del Agua de Playa de Los Cabos, B.C.S. Programa Playas Limpias. Gerencia Estatal. Residencia técnica. La Paz, B.C.S, México.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). 2005. Estadísticas del Agua en México. México D.F. CONAGUA-Gerencia Estatal. Balance Hidrológico. La Paz. B.C.S.
- Contreras-Espinosa E., N. Rivera-Guzman y R. Segura-Aguilar. 2005. Nutrientes y productividad primaria fitoplanctonica en una laguna costera tropical intermitente (La Mancha, Veracruz) del Golfo de México. *Hidrobiologia*. 15:299-310.
- Davies P., J. Goettl, J. Sinley y N. Smith. 1976. Acute and chronic toxicity of lead to rainbow trout, *Salmo gairdneri* in hard and soft water. *Water Research*. 10:199-206.
- De la Lanza-Espino E. 1991. *Oceanografía de mares mexicanos*. A.G.T. Editor. México. D.F. 569.

- De La Lanza Espino E. 1994. Química de las lagunas costeras y el litoral mexicano. *En:* (De la Lanza E. y C. Cáceres, eds) *Lagunas Costeras y el Litoral Mexicano*. U.A.B.C.S.127-198.
- Delgadillo-Hinojosa F., J. Macías-Zamorano, J. Segovia-Zavala y S. Torres-Valdés. 2001. Cadmium enrichment in the Gulf of California. *Marine Chemistry*. 75: 109-122.
- Dewailly E., C. Poirier y F. Meyer. 1986. Health hazards associated with windsurfing on polluted water. *American Journal of Public Health*. 76:690-691.
- Duce R., J. LaRoche, K. Altieri, K. Arrigo, A. Baker, D. Capone, S. Cornell, F. Dentener, J. Galloway, R. Ganeshram, R. Geider, T. Jickells, M. Kuypers, R. Langlois, P. Liss, S. Liu, J. Middelburg, C. Moore, S. Nickovic, A. Oschlies, T. Pedersen, J. Prospero, R. Schlitzer, S. Seitzinger, L. Sorensen, M. Uematsu, O. Ulloa, M. Voss, B. Ward y L. Zamora. 2008. Impacts of Atmospheric Anthropogenic Nitrogen on the Open Ocean. *Science*. 320:889-892.
- Dugdale R. y J. Goering. 1967. Uptake of new and regenerated forms of nitrogen in primary productivity. *Limnology and Oceanography*. 12: 196-206.
- Dutka B. 1979. Microbiological indicators, problems and potential of new microbial indicators of water quality, p.18-23. *En:* (J. Evison, eds) *Biological indicators of Water Quality*. J. Wiley and Sons. G.B. 528p.
- Environmental Protection Agency, National U.S. (EPA). 1980. Ambient water quality criteria for arsenic. Report PB82-117327.
- EPA. 2000. Nutrient criteria technical guidance manual: lakes and reservoirs. Washington. U.S. 822-B00-001.
- EPA. 2002. Beach guidance and required performance criteria for grants. Office of Water. Washington, DC, June.

- Espejel I., A. Espinoza-Tenorio, O. Cervantes, I. Popoca, A. Mejía y S. Delhumeau. 2007. Proposal for an integrated risk index for the planning of recreational beaches: use at seven Mexican arid sites. *Journal of Coastal Research*. 50: 47-51.
- Falcao M. y C. Vale. 2003. Nutrient dynamics in a coastal lagoon (Ria Famosa Portugal): The importance of lagoon-sea water exchanges on the biological productivity. *Ciencias Marinas*. 29:425-433.
- Ferrer A. 2008. Certificación de playas limpias de acuerdo a la NMX-AA-120- SCFI-2006: caso de estudio Playa El Médano 15, Los Cabos, Baja California Sur, México. Tesis de Maestría. UABC. 120.
- Fewtrell L. y J. Bartram, 2001. Water quality: guidelines, standards, and health: assessment of risk and risk management for water-related infectious disease. IWA. Publishing. 424.
- Figueroa-Zavala B. 2007. Contaminación de origen fecal en el corredor costero Barra de Tonameca- Bahía de Puerto Ángel La Mina, Oaxaca, México. *Ciencia y Mar*. 33:15-28.
- Fiksdal L., M. Pommepuy, M.P. Caprais e I. Midttun. 1994. Monitoring of fecal pollution in coastal waters by use of rapid enzymatic techniques. *Applied Environmental and Microbiology*. 60:1581-1584.
- Flores Z. 1998. *Geosudcalifornia: geografía, agua y ciclones*. UABCS. La Paz, B.C.S. México. 277.
- Fong T. y E. Lipp. 2005. Enteric viruses of humans and animals in aquatic environments: Health risks, detection, and potential water quality assessment tools. *Microbiology and Molecular Biology Review*. 69:357-371.
- Forstner U. y G. Wittmann. 1979. *Metal Pollution in the Aquatic Environment*. Springer Verlag. New York. 485.

- Forstner W. 1979. Metal transfer between solid and aqueous phases. *En:* (W. Forstner y G. Wittmann, eds) *Metal pollution in the aquatic environment*. Springer Verlag. Berlín. 197-270.
- Forstner W. 1986. Metal speciation in solid wastes factors affecting mobility. *En:* Speciation of metals in water, sediment and soil systems. *En:* (L. Landner, ed) *Proceedings of Internatiol Workshop, Sunne*. Springer-Verlag, Berlín. 17-42.
- Forrest M.S., J. Ledesma-Vázquez, W. Ussler, J. Kulongoski, D. Milton y H. Greene. 2005. Gas geochemistry of a shalllow submarine hydrothermal vent associated with El Requesón fault zone in Bahía Concepción, Baja California Sur, Mexico. *Chemical Geology*. 224: 82-95.
- Fourqurean J. y Y. Cai. 2001. Arsenic and phosphorus in seagrass leaves from the Gulf of Mexico. *Aquatic Botany*. 71:247-258.
- Fujioka R., H. Hashimoto, E. Siwark y R. Young. 1981. Effect of sunlight on survival of indicator bacteria in seawater. *Applied and Environmental Microbiology Mar*. 41:690-696.
- Galloway J., F. Dentener, D. Capone, E. Boyer, R. Howarth, S. Seitzinger, G. Asner, C. Cleveland, P. Green, E. Holland, D. Karl, A. Michaels, J. Porter, A. Townsend y C. Vorosmarty. 2004. Nitrogen cycles: past, present, and future. *Biochemisty*. 70:153-226.
- Galloway J., A. Rownsend, J. Erisman, M. Bekunda, Z. Cai, J. Freney, L. Martinelli, S. Seitzinger y M. Sutton. 2008. Transformation of the Nitrogen Cycle: Recent Trends, Questions, and Potential Solutions. *Science*. 320:893-897.
- George S. 1990. Biochemical and cytological asesments of metal toxicity in marine animals. *En: Heavy metals in the Marine Environment*. CRC Press. Inc., Boca Raton, Florida. 123-142.



- Germain A., R. Garrett y C. Lind. 1999. Entry and exposure characterization for aluminum chloride, aluminum nitrate and aluminum sulfate. Supporting Document. Canadian Environmental Protection Act. Priority Substances List. Assessment Program.
- Godínez-Orta L., E. Shumilin, D. Sapozhnikov y M. Rodríguez. 1997. Características litológico-geoquímicas de los elementos superficiales de la Laguna de La Paz, B.C.S. Instituto Nacional de Geoquímica, A.C., México. *Actas INAGEQ*. 3:225-233.
- Grandjean P. 1984. Biological effects of organ lead compounds. C.R.C. Press, Boca Raton, FL. 297.
- Grant S., J. Kim, B. Jones, S. Jenkins, J. Wasyl y C. Cudaback. 2005. Surf zone entrainment, along-shore transport, and human health implications of pollution from tidal outlets. *Journal of Geophysical Research*. 110:1-20.
- Griffiths R. 1965. A study of the ocean fronts off Cape San Lucas. *Special Science Reports*. U.S. Fish and Wildlife Service. 499:59.
- Griffiths R. 1968. Physical, chemical and biological oceanography of the entrance to the Gulf of California, spring of 1960. *Special Scientific Report Fisheries*. U.S. Fish and Wildlife Serv., Washington D.C. 573:47.
- Griffin D., E. Lipp, M. Mclaughlin y J. Rose. 2001. Marine recreation and public health microbiology: quest for the ideal indicator. *Bioscience*. 51:817-825.
- Gutiérrez de Velasco G., M.A. Cosío López y H. Torres Chávez. 2006. Caracterización Oceanográfica de Punta Palmilla. Proyecto Muelle Atracadero Palmilla II. Reporte Técnico. 44.
- Hale S. 1975. The role of benthic communities in the nitrogen and phosphorus cycles of an estuary. *En: (F. Howell, J. Gentry y M. Smith, ed) Mineral Cycling in Southeastern Ecosystems*. ERDA Symposium Series CONF-74-0513. 130:291-308.

- Hassan E., I. Banat, M. El-Shahawi y A. Abu-Hilal. 1996. Bacterial nutrients and heavy metals ions pollution assessment along the eastern coastal area of the United Arab Emirates. *Journal of Aquatic Ecosystem Health*. 5:73-81.
- Health Canada. 1994. Aluminum and human health. Its your health series. Ottawa, Ontario. Taken from Internet site: <http://www.hc-sc.gc.ca/ehp/ehd/catalogue/general/iyh/alhuman.htm>.
- Hellawell J. 1989. *Biological indicators of freshwater pollution and environmental management*. Elsevier Applied Science. London. 546.
- Henrickson S., T. Wong, P. Allen, T. Ford y P. Epsteins. 2001. Marine swimming-related illness: implications for monitoring and environmental policy. *Environmental Health Perspectives*. 109:645-650.
- Hera. 2003. Sodium Tripolyphosphate (STPP) CAS: 7758-29-4 Human and Environmental Risk Assessment on ingredients of European household cleaning products.
- Hernández, M.A. 1998. *Desarrollo, planificación y medio ambiente en Baja California Sur*. Universidad Autónoma de Baja California Sur. México. 265.
- Herrera-Silveira J., I. Medina, y R. Colli. 2002. Trophic status based on nutrient concentration scales and primary producer community of tropical coastal lagoons influenced by groundwater discharges. *Hidrobiología*. 476:91-98.
- Hodson P., B. Blunt y D. Whittle. 1984. Monitoring lead exposure to fish. *En: (V. Carins, P. Hodson y J. Nriagu, Eds) Contamination Effects of Fisheries*. Jonh Wiley and Sons Ltd. New York.
- Hutcheson D. 2002. Water quality and guideline. (<http://www.cattleinfont.com>).
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2000. Anuario Estadístico. Baja California Sur. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Edición Aguascalientes, México.

- INEGI. 2005. Anuario Estadístico. Baja California Sur. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Edición Aguascalientes, México.
- INEGI 2010. Estadísticas a propósito del día mundial de la población. Datos Baja California Sur ( www.inegi.org.mx consultado 11 julio 2010)
- INE-SEMARNAT. 2000. La calidad del agua en los ecosistemas costeros de México.407.
- Jones J. 1964. *Fish and River Pollution*. London, Butter Warth.185.
- Kamphuis J. 2000. *Introduction to coastal engineering and management*. Advanced series in Ocean Engineering. World Scientific Publishing Co. Singapore. 437.
- Karydis M., L. Ignatiades, N. Moschopolou. 1983. An index associated with nutrient eutrophication in the Marine Environment. *Estuaries Coastal Shelf Science*. 16:339-344.
- Komar P. y D. Inman. 1970. Longshore sand transport on beaches. *Journal of Geophysical Research*. 75:5514-5527.
- Komar P. 1998. *Beach Processes and Sedimentation*. Prentice-Hall. U.S. 544.
- Lamb D. y G. Bailey. 1981. Acute and chronic effects of alum to midge larva (*Diptera: chironomidae*). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 27:59-67.
- Lambourn D. y H. Devol. 1995. Water column and porewater data from the Mexican shelf and slope cruise TTAN of the R/V New Horizon. School of Oceanography, College of Ocean and Fishery Sciences. University of Washington 98195. Special Report. 12:31.
- Landis W. y M. Yu. 1999. *Introduction to Environmental Toxicology*. Lewis Publishers. New York. 390.
- Larson R., H. Mebard y S. Smith. 1968. Gulf of California: A result of ocean floor spreading and transform faulting. *Science*. 161:781-784.

- Larson R. 1972. Bathymetry, magnetic anomalies, and plate tectonic history of the mouth of the Gulf of California. *Geological Society of America*. 83:3345-3360.
- Leal M., J. García y S. Gelover. 2000. Calidad del Agua en la Bahía de Acapulco. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Consultado en febrero 2005 de: [http://www.imta.mx/muestras/2000/ca\\_04\\_2000.pdf](http://www.imta.mx/muestras/2000/ca_04_2000.pdf)
- Lomas M. y D. Glibert. 1999. Interactions between  $\text{NH}_4^+$  and  $\text{NO}_3^-$  uptake and assimilation: comparison of diatoms and dinoflagellates at several growth temperatures. *Marine Biology*. 133:541-551.
- López-Cortés D., I. Gárate-Lizárraga, J. Bustillos-Guzmán y F. Hernández-Sandoval. 2004. Procesos tróficos en la porción sur-occidental de la península de Baja California. Informe técnico. 7.
- López-López A. 2002. Análisis de los flujos turísticos en el corredor Los Cabos, Baja California Sur. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía. UNAM*. 47:131-149.
- Lozano V. y X. Lozano. 1997. Índice de contaminación fecal en la zona marítima recreativa de la bahía de Mazatlán, Sinaloa. Resumen del 4to. Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología del Mar. Mérida. Yucatán. 7.
- Mallin M., L. Cahoon, J. Manock, J. Merrit, H. Posey, R. Sizemore, W. Webster y T. Alpin. 1998. A four-year environmental analysis of New Hanover County tidal creeks. University of North Carolina at Wilmington, North Carolina. CMSR Report 98:60.
- Mallin M., K. Williams, E. Esham y R. Lowe. 2000. Effect of human development on bacteriological water quality in coastal watersheds. *Ecological Applications*. 10 :1047-1056.

- Marinone S. 2003. A three dimensional model of the mean and seasonal circulation of Gulf of California. *Journal of Geophysical Research*. 108:3325. doi:10.1029/2002JC001720.
- Martin J. y W. Broenkow. 1975. Cadmium in plankton: elevated concentrations with soils of Baja California. *Science*. 190:884-885.
- Martínez-Gutiérrez G. y L. Mayer 2004. Huracanes en Baja California, México y sus implicaciones en la sedimentación en el Golfo de California. *GEOS*. 24:57-64.
- McCarthy M., J. Hedges y R. Benner. 1998. Major bacterial contribution to marine dissolved organic nitrogen. *Science* 281: 231-234.
- Méndez L., B. Acosta, S. Álvarez-Castañeda y C. Lechuga-Devéze. 1998. Trace metal distribution along the Southern Coast of Bahía de La Paz (Gulf of California) México. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 61: 616-622.
- Mendoza-Salgado R., C. Lechuga-Deveze y A. Ortega-Rubio. 2005. Identifying rainfall effects in an arid Gulf of California coastal lagoon. *Journal of Environmental Management*. 75:183-187.
- Millero F. 1996. *Chemical Oceanography*. CRC. Press. Boca Raton. Florida. 469.
- Moreno Grau D. 2003. *Toxicología Ambiental*. Evaluación de riesgo para la salud humana. McGraw-Hill Interamericana.
- Morrison G.M.P. 1986. Approaches to metal speciation in natural waters. *En:* (L. Landner, ed) *Speciation of metals in water, sediment and soil systems*. Proceedings of International. Workshop Sunne Springer-Verlag. Berlín. 55-73.
- Mosso-Aranda O. 2004. Estudio numérico-experimental de la dinámica de la zona cercana a la costa. Tesis en Ingeniería Hidráulica Marítima y Ambiental. UB. CSIC. 79.
- Municipio de Los Cabos. 2008. Plan director del desarrollo urbano del municipio de Los Cabos, B. C. S. 2008-2011. H. X. Ayuntamiento de Los Cabos. 208.

- Naranjo-Pulido A., H. Romero-Schmidt, L. Méndez-Rodríguez, B. Acosta-Vargas y A. Ortega-Rubio. 2002. Soil arsenic contamination in the Cape Region, B.C.S. Mexico. *Journal of Environmental Biology*. 23:347-352.
- National Environmental Protection Counsel (NEPC) 2002. The aqueous chemistry of cyanide and nitrogen. 3:56-75. Internet<Thesis.lib.unimelb.edu.au/adt-root/uploads/approved/adt-VU2002.0068/public/05\_ch3.pdf>.
- Nelder J. y R. Wedderburn. 1972. Generalized linear models. *Journal of the Royal Statistical Society Series A*.135:370–384.
- Norma Oficial Mexicana. NOM-230-SSA1-2002. Salud Ambiental. Agua para uso y consumo humano, requisitos sanitarios que se deben cumplir en los sistemas de abastecimiento públicos y privados durante el manejo del agua. Procedimientos sanitarios para el muestreo.
- Norma Mexicana. NMX-AA-004. Aguas. Determinación de sólidos sedimentables en aguas residuales. Método de cono Imhoff, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 13 de septiembre de 1977.
- Norma Mexicana. NMX-AA-005. Aguas. Determinación de grasas y aceites. Método de extracción soxhlet, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 8 de agosto de 1980.
- Norma Mexicana. NMX-AA-006. Aguas. Determinación de materia flotante. Método visual con malla específica, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 15 de diciembre de 1973.
- Norma Mexicana. NMX-AA-007. Aguas. Determinación de temperatura. Método visual con termómetro, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 23 de julio de 1980.
- Norma Mexicana. NMX-AA-008. Aguas. Determinación de pH. Método potenciométrico, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 25 de marzo de 1980.

- Norma Mexicana. NMX-AA-028. Aguas. Determinación de demanda bioquímica de oxígeno. Método por incubación por diluciones, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 6 de julio de 1981.
- Norma Mexicana. NMX-AA-042. Aguas. Determinación del número más probable de coliformes totales y fecales. Método de tubos múltiples de fermentación, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 22 de junio de 1987.
- Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Diario Oficial de la Federación DOF. México 29 de Junio de 1996. (Aclaración 30-abril-1997).
- Norma Oficial Mexicana. NMX-AA-120-SCFI-2005. Requisitos y Especificaciones de Sustentabilidad de Calidad de Playas. *Diario Oficial de la Federación* México, D.F. 6 julio de 2006, 44p.
- OCDE (1980): L'impact du tourisme sur l'environnement. Rapport Général. Paris, Organisation de Cooperation et de Développement Economiques.
- Organización Mundial de la Salud (OMS). 1998. Guías para ambientes seguros en aguas recreativas, Vol. 1: Aguas costeras y aguas dulces. Versión preliminar.
- Organismo Operador Municipal del Sistema de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de Los Cabos (OOMSAPAS). 2009. Suman esfuerzos Consejo Coordinador de Los Cabos (CCC) y OOMSAPAS para llevar agua limpia y segura para todos. Noticia Publicada y Consultada el 15 de julio del 2009 ([www.oomsapslc.gob.mx](http://www.oomsapslc.gob.mx)).
- Orlob G.T. 1956. Stream pollution. Viability of sewage bacteria in seawater. *Sewage and Industrial Wastes*. 28:1147-1167.

- Páez-Osuna F. y J.I. Osuna-López. 1988. Metales pesados en fragmentos de basalto de la boca del Golfo de California. Nota Científica. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología Universidad Nacional Autónoma de México*. 16:183-188
- Páez-Osuna F. y J. Osuna-López. 1992. Diagénesis temprana de metales pesados en sedimentos del Pacífico adyacente a la boca del Golfo de California. *Geofísica Internacional*. 31:289-304.
- Páez-Osuna F. y L. Tron-Mayen. 1995. Distribution of heavy metals in tissues of the shrimp *Penaeus californiensis* from the Northwest Coast of Mexico. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 55:209-215.
- Páez-Osuna, F. y M.G. Frías-Espericueta. 2001. Bioacumulación, Distribución y Efecto de los Metales Pesados en los Peneidos. *En: (Páez-Osuna, ed) Camaronicultura y Medio Ambiente*. El Colegio de Sinaloa. UNAM. México. 244-270.
- Pike E., Balarajan R. y F. Jones. 1991. Health Effects of Sea Bathing (ET 9511) Phase II—studies at Ramsgate and Moreton 1990 and 1991. DoE 2736-M(P).
- Pombo A., A. Breceda y A. Valdez-Aragón. 2007. Desalinization and wastewater reuse as technological alternatives in an arid tourism booming region of México. *Frontera Norte*. 20:191- 216.
- Pommepuy M., D. Hervio-Heath, M. P. Caprais, M. Gourmelon, J. C. Le Saux, and F. Le Guyader. 2006. Fecal contamination in coastal areas: An engineering approach. *En: (S. Belkin, ed) Oceans and health: pathogens in the marine environment*. Kluwer Academic/Plenum Publishers, Dordrecht. The Netherlands. 331-359.
- Pormann G. 1981. The acidification of Norway. *Ambio*. 10:150-151.
- Portmann J. y K. Wilson. 1971. Toxicity of 140 substances to the Brown shrimp and other marine animals. *MAFF Shellfish Information Leaflet*. 22:76.
- Poza Juan. 1992. Contaminación marina del litoral gallego. Ed. Do Castro. Sada: 143-155.



- Prescott L., Harley J. y D. Klein. 2004. Microbiología. McGraw-Hill. Madrid, España. 1238.
- Prol-Ledesma R., 2003. Similarities in the chemistry of shallow submarine hydrothermal vents: *Geothermics*. 32:639-644.
- Prol-Ledesma R., C. Canet, M. Torres-Vera, M. Forrest y M. Armienta. 2004. Vent fluid chemistry in Bahía Concepción coastal submarine hydrothermal system, Baja California Sur, Mexico. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 137:311-328.
- Pruss A. 1998 A review of epidemiological studies from exposure to recreational water. *International Journal of Epidemiology*. 27:1-9.
- Puy Alquiza. 1995. Relación recurso agua, población y corredor turístico de San José del Cabo. Tesis en Ciencias Marinas. CICIMAR. La Paz, B.C.S. México. 58.
- Rainbow P., I. Malik y P. O'Brien. 1993. Physicochemical and physiological effects on the uptake of dissolve zinc and cadmium by the amphipod crustacean *Orchestia gammarellus*. *Aquatic Toxicology*. 25:15-30.
- Redfield A. 1958. The biological control of chemical factors in the environment. *American Science*. 46:206-221.
- Redfield, A., B. Ketchum y F. Richards. 1963. The influence of organisms on the composition of seawater. *En: (M. Hill, ed) The sea*. Wiley-Interscience. 2:26-77.
- Rheinheimer G. 1987. Microbiología de las aguas. Acribia. Mexico. 299.
- Rheinheimer G. 1992. Aquatic Microbiology. J. Wiley and Sons. N.Y. 363.
- Rivas-Montaña A. y E. Méndez-Gómez. 2008. Calidad bacteriológica del agua en playas de Mazatlán, Sinaloa. Resumen del VI Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología del Mar Mazatlán, Sinaloa. 17-19 de Noviembre.

- Roden G. 1964. Oceanographic aspects of Gulf of California. Geology of California. *En:* (T. Van-Andel y G. Shor, eds) *American Association Petroleum Geologists Memoir*. 3:30-58.
- Rodríguez A., A. Sánchez-Arcilla, J. Redondo, E. Bahía y J. Sierra. 1995. Pollutant dispersion near shore region: modeling and measurements. *Water Science and Technology*. 23:169-178.
- Rodríguez-Meza G., E. Shumilin, D. Sapozhnikov, L. Méndez-Rodríguez y B. Acosta-Vargas. 2009. Evaluación geoquímica de elementos mayoritarios y oligoelementos en los sedimentos de Bahía Concepción (B.C.S., México). *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. 61:57-72.
- Rojas-Soriano H. y A. D. Álvarez-Arellano. 2007. Zonas de peligro por inundación y erosión en el área de Cabo San Lucas, B.C.S. México. Jornadas Internacionales sobre Gestión del Riesgo de Inundaciones y Deslizamientos de Laderas. Brasil. 15.
- Romero-Vadillo E. 2003. Numerical modelation of storm surges on the La Paz Bay and Cabo San Lucas, Baja California Sur. Ph.D. Thesis. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas del Instituto Politécnico Nacional (CICIMAR-IPN). 103.
- Ronsón-Paulín J. y M. Ortiz-Arellano 1993. Evaluación de coliformes totales, fecales y metales pesados en el tejido blando de *Ostrea iridiscens* (ostión de piedra) en la zona costera Holliday Inn y Cerritos de la Bahía de Mazatlán, Sinaloa 1992. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Sinaloa. 85.
- Rozen Y. y S. Belkin. 2001. Survival of enteric bacteria in seawater. *FEMS Microbiology Reviews*. 25:513-524.
- Rubio B., L. Gago, F. Vilas, M. Nombela, S. García-Gil, I. Alejo y O. Pazos. 1996. Interpretación de tendencias históricas de contaminación por metales pesados en testigos de sedimentos de la Ría de Pontevedra. *Thalassas*. 12:137-152.

- Rusnak G.A., R.L. Fisher y F.P. Shepard. 1964. Bathymetry and faults of the Gulf of California. *En: (T. Van Andel y G. Shor, eds) Marine geology of the Gulf of California*. American Association Petroleum Geologists Memoir. 3:59-75.
- Rytuba J. 2000. Mercury Geoenvironmental Models. In Progress on Geoenvironmental Models for Selected Deposit Types. U.S Geological Survey. File Report 02-195. online version 1.0.
- Sadiq M. 1992. *Toxic metal chemistry in marine environments*. Marcel Dekker. New York. 390.
- Santamaría-del Ángel E. y S. Álvarez-Borrego. 1994. Gulf of California biogeographic regions based on coastal zone color scanner imagery. *Journal of Geophysical Research*. 99:7411-7421.
- Santoro A. y A. Boehm. 2007. Frequent occurrence of the human-specific *Bacteroides* fecal marker at an open coast marine beach: relationship to waves, tides and traditional indicators. *Environmental Microbiology*. 9:2038-2049.
- Schiff K., S. Bay y C. Stransky. 2002. Characterization of stormwater toxicants from an urban watershed to freshwater and marine organisms. *Urban Water*. 4:215-227.
- Scottish Environmental Protection Agency (SEPA). 1997. Total phosphorus water quality standards for Scottish freshwater lochs. *Policy*. 16:12.
- Secretaría del Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAT) 1996. Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Diario Oficial de la Federación. México 29 de Junio de 1996.
- Secretaría del Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAT) 1996. Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1998a. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los

sistemas de alcantarillado urbano y municipal. Diario Oficial de la Federación. México 3 Junio.

Secretaría del Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAT) 1996. Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1998b. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales tratadas que se rehúsen en servicios al público. Diario Oficial de la Federación. México 21 de Septiembre.

Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2008. Calidad Bacteriológica del Agua de Mar. Resultados de Monitoreos de calidad efectuados en la Bahía de los Cabos, B.C.S. México. Secretaria de la Marina y Armada de México. Programa Playas Limpias B.C.S. Consultada en Septiembre del 2008. (<http://www.semarnat.gob.mx/informacioambiental/Pages/playas.aspx>)

SEDUE.1989. Criterios ecológicos de calidad del agua. CECCA001/ 89 Diario Oficial de la Federación.13 de diciembre. México. 723.

Seoánez Calvo M., R. Varela y R. Varela Díaz. 2000. Manual de contaminación marina y restauración del Litoral. Mundi Prensa.465.

Schmitz R.J. 1995. Introduction to Water Pollution Biology. Gulf Publishing. Co. Huston. TX. 320.

Sierra Carrascal E. 2005. Shoreline response due to Longshore Sediment Transport in Cancun Beach. Mexico. UNESCO-IHE Institute for Water Education. Master Science of Thesis. 66.

Silva-Casarin R. 2005. Análisis y descripción estadística del oleaje. Serie Docencia. Instituto de Ingeniería. UNAM. México. 179.

Sinton L.W., C.H. Hall, P.A. Lynch, y R.J. Davies-Colley. 2002. Sunlight inactivation of fecal indicator bacteria and bacteriophages from waste stabilization pond effluent in

- fresh and saline waters. *Applied and Environmental Microbiology Mar.* 68:1122-1131.
- Stauber L. y T. Florence. 1987. Mechanism of toxicity of ionic copper and copper complexes to algae. *Marine Biology.* 94:511-519.
- Stevenson M.R. 1970. On the physical and biological oceanography near the entrance to the Gulf of California, October 1966-August 1967. *Bulletin Interamerican of Tropical Tuna Commission.* 4:389-504.
- Sverdrup H., M. Johnson y R. Fleming. 1942 The oceans. Prentice-Hall Inc. New York.
- Taylor D. 1979. A summary of the data on the toxicity of various materials to aquatic life. Part. V. Copper, Brixham. Lab. Rep. BL/A/1900. ICIPLC.
- Tong S.L., S.H. Goh, A. Rani Abdullah, N.M. Tahir y C.W. Wang. 1999. Asean marine water quality criteria for oil and grease. ASEAN-Canada CPMS-II AMWQC for Oil and Grease. Cooperative Programme on Marine Science. Marine Environment Division. Water Quality Management Bureau. Pollution Control Department. 28.
- Toze S. 1997. Microbial pathogens in wastewaer. Literature review for urban water systems. Multidivisional Research Program. CSIRO. Australia Technical Report. 1/97:49.
- Valdez-Aragón A.R. 2006. Diagnostico, servicios ambientales y valoración económica del agua en el corredor turístico urbano de Los Cabos. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Baja California Sur (UABCS). La Paz B.C.S. 147.
- Valdez-Holguín J.E. 1986. Distribución de la biomasa y productividad del fitoplancton en el Golfo de California durante el evento de El Niño 1982-1983. Tesis de Maestría. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE). B.C. México. 90.
- Valverde-Villarreal J. L., J. Pérez De-Gregorio, y S. Capella. 2001. *Manual de Toxicología Medioambiental.* Ed. Ramón Areces. 361.

- Viet-Khoa Dang y Do Thanh-Bai. 1999. Assean marine water quality criteria for dissolved oxygen (DO). Marine Environment Division. Water Quality Management Bureau. Pollution Control Department. ASEAN-Canada CPMS-II. Cooperative Programme on Marine Science. 16.
- Taylor D. 1981. A summary of the data on the toxicity of various materials to aquatic life. Rep. B.L/A/2143. ICIPLC.
- Warsh C.E., K.L. Warsh y R.C. Staley. 1973. Nutrients and water masses at the mouth of the Gulf of California. *Deep-Sea Research*. 20:561-570.
- Weis J. y P. Weis 1987. Pollutants as developmental toxicants in aquatic organisms. *Environmental Health Perspectives*. 71:77-86.
- WHO (World Health Organization). 1996. Inorganic Constituents and Physical Parameters. *En: (2nd Ed) Guidelines for drinking water quality: Health criteria and other supporting information*. Genva. 2:313-322.
- Wong Chang I. y G. Barrera Escorcia 1996. Niveles de contaminación microbiológica en el Golfo de México. *En: (A.V. Botello, J.L. Rojas, J.A. Benítez y D. Zárate, eds) Golfo de México, contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias*. EPOMEX Serie Científica 5: 383-397.
- World Health Organization (WHO). 2001. Sustainable Development and Healthy Environments; Bathing Water Quality and Human Health; protection of the human environment water, sanitation and health. Geneva.
- Wu Jianyong y Jinhui Wang. 2008. Impacts of pollution from different sources on ecological quality of multiple use coast. *Water Air Soil Pollution*. 193:25-35.
- Wurl Jobst, J.E. Martínez Meza, M. Imaz Lamadrid, P. Hernández-Morales, J. Gaytan-García, G. Martínez-Gutierrez y A. Solís-Cámara. 2007. Monitoreo de cambios en la calidad del agua subterránea de la cuenca hidrológica San José del Cabo, B.C.S.

XVI Jornadas Académicas del Área Interdisciplinaria de Ciencias del Mar. UABCS. 26 al 30 de noviembre. G.M. 38.

Wurl Jobst, P. Hernández Morales, M. Imaz Lamadrid, C. Martínez-García, y A. Solís-Cámara. 2008. La calidad del agua subterránea en la cuenca hidrológica San José del Cabo, B.C.S. Memorias del 1er taller sobre sitios Ramsar de B.C.S. CIBNOR-CONANP. La Paz, B.C.S. 6 y 7 de Noviembre 2008.

Zar J. 1996. *Biostatistical analyses*. Prentice Hall. 662.

Zoffmann, C., E. Rodríguez-Valera, M. Pérez-Fillol, E. Ruia-Bevia, M. Torreblanca y E. Colom. 1989. Microbial and nutrient pollution along the coasts of Alicante, Spain. *Marine Pollution Bulletin*. 20:74-81.

Páginas consultadas de internet:

1 <http://www.loscabos.gob.mx/municipio/aspectosGeograficos.html>

2 <http://www.nceas.ucsb/>

3 [www.economia.gob.mx/pics/p/p1683/Trinidad\\_Project.pdf](http://www.economia.gob.mx/pics/p/p1683/Trinidad_Project.pdf)

4 <http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/487/zona.html>

5 <http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/2/lala.html>

6 [http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/rhp\\_010.html](http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/rhp_010.html)

7 <http://www.mbnms.nos.noaa.gov/Educate/teachercurriculumspanish/investigation2.html>

8 [http://weather.unisys.com/hurricane/e\\_pacific/2006/index.html](http://weather.unisys.com/hurricane/e_pacific/2006/index.html)

9 [http://weather.unisys.com/hurricane/e\\_pacific/2005/index.html](http://weather.unisys.com/hurricane/e_pacific/2005/index.html)

10 [http://www.cna.gob.mx/eCNA/espaniol/Programas/Subdirecciones/HTML-GAS/disp\\_gas/pdf\\_docs/San%20Jos%C3%A9%20del%20Cabo.pdf](http://www.cna.gob.mx/eCNA/espaniol/Programas/Subdirecciones/HTML-GAS/disp_gas/pdf_docs/San%20Jos%C3%A9%20del%20Cabo.pdf)

**11** [http://www.coremisgm.gob.mx/productos/cartas/cartas250/geologia/metadatos/24\\_F12-2GM\\_META.htm](http://www.coremisgm.gob.mx/productos/cartas/cartas250/geologia/metadatos/24_F12-2GM_META.htm)

**12** <http://coastwatch.pfeg.noaa.gov>

**13** <http://www.citg.tudelft.nl/>

**14** NOAA, 2001. Hurricane database, National Oceanic and Atmospheric Administration, <http://hurricane.csc.noaa.gov/hurricanes/>

**15** <http://www.oomsapslc.gob.mx/>

**16** <http://www.semarnat.gob.mx/informacionambiental/Pages/playas.aspx>

**17** [http://www.cofepris.gob.mx/wb/cfp/lineamientos para determinar la calidad del agua](http://www.cofepris.gob.mx/wb/cfp/lineamientos_para_determinar_la_calidad_del_agua)

**18** <http://cdip.ucsd.edu>