

**PROYECTO MANEJO AMBIENTAL
DE LAS ISLAS DE LA BAHIA**

**SUBPROGRAMA
MANEJO INTEGRAL DE RECURSOS NATURALES**

**CONSORCIO
SAFEGE-SOGREAH-MONCADA&MONCADA
Contrato HON/97/002/407**

**INFORME TECNICO
No. CAC 03 - Volumen 1/2**

**DIAGNOSTICO DE LA
CALIDAD DE LAS AGUAS
DE LA ISLA DE GUANAJA**

Michel LAFFORGUE, Christophe PATERON, Vincent SALBERT y Michel RICARD

INDICE

VOLUMEN 1

1	PREÁMBULO	13
2	INTRODUCCIÓN.....	15
3	IDENTIFICACIÓN DE LOS SITIOS DE CONTAMINACIÓN.....	17
3.1	METODOLOGÍA APLICADA.....	17
3.2	CLASIFICACIÓN DE LAS FUENTES DE CONTAMINACIÓN	18
3.2.1	<i>Población y contaminaciones urbanas.....</i>	<i>18</i>
3.2.2	<i>Actividades en relación con la pesca y el transporte marítimo.....</i>	<i>20</i>
3.2.3	<i>Gasolineras y tanques de hidrocarburos.....</i>	<i>21</i>
3.2.4	<i>Talleres de Reparación.....</i>	<i>22</i>
3.2.5	<i>Ganadería.....</i>	<i>22</i>
3.2.6	<i>Erosión de las cuencas.....</i>	<i>22</i>
3.3	IDENTIFICACIÓN DE LOS SECTORES DE RIESGOS	23
3.3.1	<i>Bonacca.....</i>	<i>23</i>
3.3.2	<i>Armadores.....</i>	<i>23</i>
3.3.3	<i>Savannah Bight.....</i>	<i>24</i>
3.3.4	<i>Conclusión.....</i>	<i>24</i>
4	DIAGNÓSTICO DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS.....	31
4.1	METODOLOGÍA APLICADA.....	31
4.1.1	<i>Aguas dulces.....</i>	<i>31</i>
4.1.2	<i>Aguas de mar.....</i>	<i>39</i>
4.1.3	<i>Bacteriología marina.....</i>	<i>41</i>
4.1.4	<i>Sedimentos.....</i>	<i>44</i>
4.1.5	<i>Biomasa planctónica</i>	<i>46</i>
4.2	ANÁLISIS GLOBAL DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS DULCES	49
4.2.1	<i>Introducción</i>	<i>49</i>
4.2.2	<i>Contexto climático y geomorfológico.....</i>	<i>49</i>
4.2.3	<i>Calidad de las aguas de los ríos.....</i>	<i>51</i>
4.2.4	<i>Clasificación de la calidad de las aguas de los ríos.....</i>	<i>82</i>
4.2.5	<i>Plantas empacadoras de mariscos</i>	<i>96</i>
4.3	ANÁLISIS GLOBAL DE LAS AGUAS MARINAS COSTERAS	98
4.3.1	<i>Introducción</i>	<i>98</i>

4.3.2	<i>Estado bacteriológico de las aguas marinas de la isla de Guanaja</i>	98
4.3.3	<i>Estado fisicoquímico de las aguas marinas de la isla de Guanaja</i>	104
4.3.4	<i>Indicadores biológicos de las aguas marinas de Guanaja</i>	116
4.4	ANÁLISIS GLOBAL DE LOS SEDIMENTOS MARINOS COSTEROS	118
4.4.1	<i>Introducción</i>	118
4.4.2	<i>Caracterización de los sitios de muestreo</i>	119
4.4.3	<i>Los metales pesados</i>	123
4.4.4	<i>Los compuestos orgánicos tóxicos</i>	129
4.4.5	<i>Los nutrientes</i>	133
4.4.6	<i>Análisis de las muestras de perforación sedimentarias marinas del Cayo (sitio GS11)</i>	135
4.4.7	<i>Clasificación de los sedimentos</i>	140
4.4.8	<i>Conclusión</i>	144
5	DIAGNÓSTICO POR SECTOR GEOGRÁFICO	148
5.1	DE OCHRE ROCK AL BASURERO DE WEST END.....	148
5.2	DEL BASURERO DE WEST END A EL BIGHT	149
5.2.1	<i>Ríos</i>	150
5.2.2	<i>Medio marino costero</i>	158
5.2.3	<i>Conclusiones</i>	164
5.3	DE EL BIGHT A BRICK POINT.....	165
5.3.1	<i>Ríos</i>	165
5.3.2	<i>Medio marino costero</i>	168
5.3.3	<i>Conclusiones</i>	169
5.4	DE BRICK POINT A EAST CLIFF	169
5.4.1	<i>Ríos</i>	170
5.4.2	<i>Medio marino costero</i>	182
5.4.3	<i>Conclusiones</i>	185
5.5	DE EAST CLIFF AL OESTE DE MANGROVE BIGHT	185
5.5.1	<i>Ríos</i>	186
5.5.2	<i>Medio marino costero</i>	189
5.5.3	<i>Conclusión</i>	192
5.6	DEL OESTE DE MANGROVE BIGHT A OCHRE ROCK	193
5.6.1	<i>Ríos</i>	194
5.6.2	<i>Medio marino costero</i>	197
5.6.3	<i>Conclusión</i>	202
6	CONCLUSION	204
7	BIBLIOGRAFÍA	208

VOLUMEN 2

Anexo 1 : Población de Guanaja para el año 2000

Anexo 2 : Encuesta entregada a los hoteleros

Anexo 3 : Informaciones sobre los hoteles de Guanaja

Anexo 4 : Producción anual en libras de las plantas empacadoras de mariscos

Anexo 5 : Producción mensual en libras de las plantas empacadoras de mariscos

- Anexo 6 :** Inventario de las gasolineras y tanques de hidrocarburos de Guanaja
- Anexo 7 :** Encuestas entregadas a los ganaderos de Guanaja
- Anexo 8 :** Datos sobre la ganadería de Guanaja
- Anexo 9 :** Informaciones relativas a las cuencas
- Anexo 10 :** Fotografías de Guanaja
- Anexo 11 :** Atlas cartográfico enseñando las características de los sitios de mediciones en el medio marino
- Anexo 12 :** Coordenadas geográficas de los sitios de análisis bacteriológicos de Guanaja
- Anexo 13 :** Protocolos para los análisis bacteriológicos
- Anexo 14 :** Protocolos para el muestreo y el almacenamiento de las muestras de Clorofila a
- Anexo 15 :** Protocolos para el muestreo de plancton en superficie y su almacenamiento
- Anexo 16 :** Lista preliminar del fitoplancton de Roatán (Diatomeas)
- Anexo 17 :** Protocolo para el muestreo de Materia en Suspensión
- Anexo 18 :** Resultados de los análisis fisicoquímicos de las aguas continentales de Guanaja
- Anexo 19 :** Resultados de los análisis bacteriológicos de Guanaja a nivel marino
- Anexo 20 :** Clasificación instantánea de los parámetros bacteriológicos en las aguas marinas de Guanaja
- Anexo 21 :** Resultados brutos de los parámetros fisicoquímicos medidos en las aguas marinas de Guanaja
- Anexo 22 :** Resultados brutos de los análisis de Clorofila y parámetros asociados a nivel de las aguas marinas de Guanaja en marzo 2000
- Anexo 23 :** Observación in situ de los sitios de muestreo de sedimentos de la isla de Guanaja
- Anexo 24 :** Resultados de los análisis de los sedimentos marinos superficiales de Guanaja

Anexo 25 : Curvas granulométricas de los sedimentos marinos superficiales de Guanaja

Anexo 26 : Resultados de los análisis fisicoquímicos de la muestra de perforación del Cayo en Guanaja

Anexo 27 : Resultados de la normalización de las concentraciones de contaminantes por la fracción fina en la muestra de perforación del Cayo

Anexo 28 : Modo de acción de los metales en el medio ambiente

Anexo 29 : Ciclo de los PCB en el medio ambiente

Anexo 30 : Fichas recapitulativas no técnicas de los diferentes contaminantes

LISTA DE LAS FIGURAS

Figura 1 : Principios y objetivos del control bacteriológico de las aguas marinas	43
Figura 2 : Evolución de las precipitaciones medias mensuales (serie estadística que cubre el periodo de 1990 a1997).....	50
Figura 3 : Evolución de la temperatura media mensual (serie estadística que cubre el periodo 1951 hasta 1973).....	50
Figura 4 : Correlaciones entre el caudal y la conductividad de los ríos de Guanaja..	54
Figura 5 : Correlación entre la concentración de oxígeno disuelto y el caudal en los ríos de Guanaja	55
Figura 6 : Correlación entre el pH y el caudal en los ríos de Guanaja	56
Figura 7 : Correlación entre el pH y la concentración de oxígeno disuelto en los ríos de Guanaja	57
Figura 8 : Correlación entre la turbidez y las concentraciones de oxígeno disuelto en los ríos de Guanaja.	58
Figura 9 : Correlación entre la concentración de MES y la concentración de oxígeno disuelto en los ríos de Guanaja.....	59
Figura 10 : Correlación entre la concentración de oxígeno disuelto y la de DBO5 en los ríos de Guanaja	61
Figura 11 : Correlación entre la DBO5 y el caudal en los ríos de Guanaja	61
Figura 12 : Correlación entre la concentración de ortofosfatos y el caudal en los ríos de Guanaja.....	63
Figura 13 : Correlación entre el porcentaje de fósforo orgánico y las concentraciones de MES en los ríos de Guanaja.....	64

Figura 14 : Evolución temporal de la tasa PO₄/P_{total} en los ríos de Guanaja (menos los resultados conseguidos con un caudal nulo).....64

Figura 15 : Correlación entre las concentraciones de nitratos y de amonio en los ríos de Guanaja (menos los resultados obtenidos con un caudal nulo)66

Figura 16 : Correlación entre las concentraciones de amonio y los caudales en los ríos de Guanaja67

Figura 17 : Correlación entre las concentraciones de amonio y de oxígeno disuelto en los ríos de Guanaja68

Figura 18 : Correlación entre la concentración de amonio y de DBO₅ en los ríos de Guanaja68

Figura 19 : Correlación entre las concentraciones de amonio y de ortofosfatos en los ríos de Guanaja69

Figura 20 : Fracción del nitrógeno mineral bajo forma de amonio en los ríos de Guanaja70

Figura 21 : Correlación entre las concentraciones de hierro total y el caudal en los ríos de Guanaja.73

Figura 22 : Correlación entre las concentraciones de hierro total y de oxígeno disuelto en los ríos de Guanaja.....74

Figura 23 : Correlación entre la concentración de zinc y el caudal en los ríos de Guanaja75

Figura 24 : Correlación entre las concentraciones de zinc y de MES en los ríos de Guanaja76

Figura 25 : Correlación entre las concentraciones de zinc y de oxígeno disuelto en los ríos de Guanaja76

Figura 26 : Correlación entre el número de coliformes totales y el caudal en los ríos de Guanaja79

Figura 27 : Correlación entre el número de coliformes fecales y totales en los ríos de Guanaja (las líneas diagonales corresponden a los porcentajes de coliformes fecales)80

Figura 28 : Correlación entre el número de coliformes totales y la concentración de oxígeno disuelto en los ríos de Guanaja80

Figura 29 : Medias y desviaciones estándares mensuales del pH de las aguas marinas de Guanaja.....105

Figura 30 : Medias y desviaciones estándares mensuales de las temperaturas de las aguas marinas de Guanaja106

Figura 31 : Medias y desviaciones estándares mensuales de oxígeno disuelto de las aguas marinas de Guanaja107

Figura 32 : Medias y desviaciones estándares mensuales de oxígeno disuelto en las aguas marinas a Blue Rock Point109

Figura 33 : Medias y desviaciones estándares mensuales de la salinidad de las aguas marinas de Guanaja.....110

Figura 34 : Interacciones entre los varios componentes del ecosistema118

Figura 35 : Concentraciones de hierro (mg/Kg de peso seco) en los sedimentos marinos de Guanaja.....122

Figura 36 : Fracción de carbón orgánico en los sedimentos de Guanaja123

Figura 37 : Concentraciones de cadmio (mg/Kg de peso seco) en los sedimentos de Guanaja124

Figura 38 : Concentraciones de cobre (mg Cu/Kg de peso seco) en los sedimentos de Guanaja125

Figura 39 : Concentraciones de mercurio (mg Hg/Kg de peso seco) en los sedimentos de Guanaja.....126

Figura 40 : Concentraciones de plomo (mg Pb/Kg de peso seco) en los sedimentos de Guanaja127

Figura 41 : Concentraciones de zinc (mg Zn/Kg de peso seco) en los sedimentos de Guanaja128

Figura 42 : Concentraciones de PCB en los sedimentos de Guanaja.....130

Figura 43 : Concentraciones de hidrocarburos totales en los sedimentos de Guanaja131

Figura 44 : Concentraciones de HPA en los sedimentos de Guanaja.....133

Figura 45 : Concentraciones de fósforo total en los sedimentos de Guanaja134

Figura 46 : Concentraciones de nitrógeno total en los sedimentos de Guanaja.....135

Figura 47 : Evolución de la granulometría y de la fracción calcocarbonica en función de la profundidad en la muestra de perforación del Cayo a Guanaja136

Figura 48 : Evolución de las sales nutritivas y del carbón orgánico normalizados por la fracción fina en función de la profundidad137

Figura 49 : Evolución de los compuestos orgánicos normalizados por la fracción fina en función de la profundidad139

Figura 50 : Evolución de los metales pesados normalizados por la fracción fina en función de la profundidad139

LISTA DE LOS CUADROS

Cuadro 1 : Flota de pesca industrial para la campaña de 1999/2000.....	21
Cuadro 2 : Jerarquía de los riesgos de contaminación generada por las actividades de los 3 sectores más antrópicos de Guanaja.....	25
Cuadro 3 : Características de los instrumentos de mediciones in situ utilizados para las aguas dulces durante la campaña de mediciones	36
Cuadro 4 : Métodos de análisis colorimétrico utilizados para las aguas dulces	38
Cuadro 5 : Características de los instrumentos de mediciones in situ utilizados durante la campaña de mediciones en las aguas marinas costeras.....	40
Cuadro 6 : Métodos de análisis colorimétrico de los diferentes elementos.....	41
Cuadro 7 : Número de estaciones de muestreo de sedimento	44
Cuadro 8 : Localización de los sitios de muestreo de los sedimentos en la isla de Guanaja	46
Cuadro 9 : Valores estadísticos de los parámetros fisicoquímicos de las aguas continentales de Guanaja.....	51
Cuadro 10 : Valores estadísticos de los parámetros nutritivos y bacteriológicos de las aguas continentales de Guanaja	52
Cuadro 11 : Valores estadísticos de las concentraciones de metales pesados de las aguas continentales	52
Cuadro 12 : Fracción molar entre el nitrógeno mineral y los ortofosfatos	71
Cuadro 13 : Lista de los parámetros asociados a los criterios	82
Cuadro 14 : Tabla de clasificación de las aguas de los ríos de Guanaja.....	83

Cuadro 15 : Síntesis de las clasificaciones de los ríos de Guanaja	94
Cuadro 16 : Umbrales de calidad bacteriana de las aguas balnearias.....	100
Cuadro 17 : Índices instantáneos de calidad bacteriológica de las aguas marinas de Guanaja	101
Cuadro 18 : Índice anual de calidad bacteriológica de la calidad de las aguas marinas de Guanaja.....	102
Cuadro 19 : valores estadísticos de los parámetros fisicoquímicos de las aguas marinas de Guanaja.....	104
Cuadro 20 : valores estadísticos de los nutrientes de las aguas marinas de Guanaja	104
Cuadro 21 : Modo y cuartiles de la granulometría de los sedimentos, isla de Guanaja.	120
Cuadro 22 : Fracciones acidosolubles de los sedimentos de Guanaja.....	121
Cuadro 23 : Cuadro de evaluación de la calidad de los sedimentos marinos costeros frente a los metales pesados.....	140
Cuadro 24 : Cuadro de evaluación de la calidad de los sedimentos marinos costeros frente a los compuestos orgánicos y los nutrientes	141
Cuadro 25 : Recapitulativo de las contaminaciones metálicas en los sedimentos de Guanaja	141
Cuadro 26 : Clasificación sintética de la calidad de los sedimentos marinos costeros de Guanaja	145

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos muy particularmente a Lidia Medina por su trabajo de tomas y análisis de muestras de agua marina costera. Este trabajo se utilizó en la sección 4.3.3.

Agradecemos también a Céline Poisson por su trabajo de identificación y de síntesis de los sitios de contaminación. Su trabajo se utilizó en la sección 3.2.

Agradecemos a Manuel Cabanillas que ha realizado los mapas presentados en el informe.

Hemos particularmente apreciado la comprensión y el apoyo del Sr. Enoc Burgos en nuestro trabajo el cual empezó hace un año y medio, y cuyo fruto empieza a verse ahora.

Por fin agradecemos a Dagoberto Aguilar por su apoyo ocasional en las campañas de medición.

1

Preámbulo

El departamento de Islas de la Bahía en Honduras consta de tres islas principales: Roatán (12 740 ha), Guanaja (5 616 ha) y Utila (4 160 ha) situadas a 40-50 km de la costa norte de Honduras. Otras tres pequeñas islas: Morat, Barbareta y Santa Elena así como cerca de 65 cayos forman parte de dicho departamento.

La mayor parte de los sectores de la economía de las islas dependen de los recursos naturales y de los medios costeros. La actividad de pesca (industrial o artesanal) y del acondicionamiento de los productos de pesca (escama, langosta, camarón, caracol) representa el primer empleador de las tres islas. La segunda actividad procede del desarrollo turístico. Aunque esta actividad sólo represente un 11 % de los empleos, está en expansión y constituye una de las ventajas para el futuro desarrollo de las Islas de la Bahía. Las otras actividades son secundarias. Se trata de la agricultura y de la ganadería que sólo representan un 4 % de los empleos de las islas.

Ahora bien, los recursos naturales de los cuales depende la mayor parte de la población están amenazados por la presión antrópica (efluentes domésticos e industriales, actividad portuaria, hoteles y desarrollos del litoral...).

Con el fin de sostener el porvenir de las Islas de la Bahía, el gobierno Hondureño lanzó un programa de manejo ambiental de dichas islas. Se le llama a este programa PMAIB (Proyecto Manejo Ambiental de las Islas de la Bahía). En este marco, se empezó un amplio estudio que fue confiado al consorcio franco-hondureño SAFEGE-SOGREAH-MONCADA y MONCADA.

Se centra este estudio en los componentes siguientes:

- Componente AMC: Diagnóstico y monitoreo de los Ambientes Marinos y Costeros;
- Componente PESC: Investigación y extensión de los recursos pesqueros;

- Componente APM: Creación y explotación de las Areas Protegidas Marinas;
- Componente CAC: Control de Calidad de las Aguas Costeras;
- Componentes CUEN: Manejo de las Areas Protegidas Terrestres y manejo de las Cuencas hidrográficas;
- Componente EAPC: Educación Ambiental y Participación Comunitaria;
- Componente SIAD: Sistema de Información Geográfica y de Ayuda a la Decisión.

El presente informe se integra en el componente CAC “Control de Calidad de las Aguas Costeras”.

2

Introducción

El objeto del presente informe es el diagnóstico de la calidad de las aguas (agua continental, agua marina costera y sedimentos marinos) para la isla de Guanaja.

Se añadirá a este informe en una fase ulterior un informe que integre otros aspectos tales como los balances de contaminación, los mapas de riesgos y las recomendaciones de lucha contra las contaminaciones.

Los objetivos son los siguientes :

- Realizar el inventario de las principales fuentes de contaminación de las aguas;
- Levantar el balance del estado de la calidad de las aguas de los ríos de la isla de Guanaja. Se apoyará dicho balance sobre los resultados recogidos durante la campaña de mediciones iniciadas en 1999;
- Levantar el balance del estado de la calidad de las aguas marinas costeras, en la base de los elementos recogidos durante la campaña de medición in situ iniciada en 1999. Eso incluye los resultados preliminares de clorofila a;
- Levantar el balance del estado de dicha calidad a través del análisis de las muestras de sedimentos marinos tomadas en enero del 2000 y;
- Efectuar la clasificación de la calidad de las aguas.

Dado que se interconectan estas diferentes partes, pareció preferible trabajar por conjuntos geográficos y por temas técnicos, lo que permitirá obtener un diagnóstico global. Después de haber comenzado por la isla de Roatán, seguido por Utila, la última isla abordada es la isla de Guanaja. Dentro de las Islas de la Bahía, ocupa el segundo lugar, tanto por su tamaño, como por su población o sus actividades económicas.

Por otro lado, habrá que esperar las fases ulteriores del estudio para finalizar las explotaciones de datos entre los varios enfoques. Sin embargo, un primer

acercamiento integrativo está presentado en el cuadro de diagnóstico por sectores geográficos. Este acercamiento está centrado sobre la calidad del agua y sus efectos sobre el medio ambiente.

Por fin, cabe notar que se interpretan los resultados de Clorofila a en el presente informe de diagnóstico. En efecto, los pigmentos clorofilicos permiten caracterizar la importancia de la biomasa fitoplanctónica ya que constituye un elemento integrativo que caracteriza los equilibrios y desequilibrios del ecosistema, en particular frente a la eutroficación. En cambio, no se analizaron en detalle las mediciones de plancton por entero, lo que explica su ausencia en este documento.

Entonces, el informe consta de las partes siguientes:

1. Identificación y caracterización sobre las principales fuentes de contaminación. Esta tarea constituye el capítulo 3 del informe;
2. Interpretación de los resultados sobre la calidad de las aguas dulces obtenidos en el marco de la campaña de mediciones realizadas entre mayo de 1999 y junio del 2000 ;
3. Interpretación de los resultados sobre la calidad de las aguas marinas costeras obtenidos en el marco de la campaña de mediciones realizada entre septiembre de 1999 y septiembre del 2000 ;
4. Interpretación de los resultados y análisis de las muestras de sedimentos tomadas en varios sitios característicos del medio marino costero (manglar, pasto, bahías cerradas y abiertas, contaminadas o no, sectores turísticos, industriales y urbanizados...);
5. Clasificación de la calidad de las aguas dulces y costeras y de los sedimentos. Este es directamente integrado en las partes 2 al 4, puesto que sirve de herramienta de diagnóstico y de síntesis;
6. Se tratarán las partes 2 al 5 en el capítulo 4;
7. Interpretación sintética de todos los datos de las partes 1 al 6 por sector geográfico ; completada por algunos datos preliminares sobre el medio receptor (arrecifes, pastos marinos, manglares) y que constituye el capítulo 5.

El informe fue construido sobre la base de contribuciones personales siguiente:

- Preámbulo, introducción y conclusión : Michel Lafforgue;
- Capítulo 3 : Christophe Pateron;
- Capítulo 4 : Michel Lafforgue, Vincent Salbert, C. Pateron, Michel Ricard;
- Capítulo 5 : Michel Lafforgue;
- Coordinación del conjunto : Michel Lafforgue.

3

Identificación de los sitios de contaminación

3.1 Metodología aplicada

El objetivo de esta parte es :

- Identificar las fuentes de contaminación de la isla de Guanaja;
- Clasificar las fuentes por actividades;
- Poner de relieve los sectores de riesgos.

Se finalizó la tarea en dos etapas:

- Recolección y centralización de los datos preexistentes a nivel de los diferentes componentes del Subprograma de los Recursos Naturales, así como a nivel de los diferentes consorcios del PMAIB;
- El trabajo de campo que consta de la realización de investigaciones, la identificación de las principales fuentes de contaminación de Guanaja y su ubicación con la ayuda del GPS. Así, se realizó un reconocimiento de campo en lancha y a pie con el fin de cuantificar y localizar las descargas de aguas servidas en el medio marino.

3.2 Clasificación de las Fuentes de Contaminación

Entre todas las fuentes de contaminación inventariadas, se efectuó una selección que permitió clasificarlas en 6 categorías.

3.2.1 Población y contaminaciones urbanas

3.2.1.1 Población

Las contaminaciones domésticas (aguas servidas, basura...) son la primera fuente de contaminación de las aguas marinas costeras. Era entonces esencial cuantificar y localizar las poblaciones de la isla de Guanaja. Para esto, se utilizó el censo realizado por el gobierno Hondureño. Los resultados correspondientes se presentan en Anexo 1. Sobre esta base la población de Guanaja es de 4 700 habitantes.

Las zonas de fuerte concentración poblacional son Bonacca (1797 habitantes), Savannah Bight (1049 habitantes), Armadores/El Pelicano (727 habitantes) y Mangrove Bight (429 habitantes). Estas zonas están indicadas en el mapa 1.

Después del paso del huracán Mitch (finales de Octubre 1998), numerosas personas emigraron del continente hacia Guanaja. Estas personas formaron una comunidad situada a lo largo de la antigua pista del aeropuerto de Guanaja, llamada Brisas del Mitch (ver Anexo 10, foto N°1). Esta comunidad ha crecido poco a alcanzando un número de 270 personas al cabo de un año. Estas personas viven en condiciones cercanas a la insalubridad: sus casas sobre pilotes no tienen servicios sanitarios, obligando a la gente hacer sus necesidades en el campo. De la misma forma, cada familia quema su basura en una pequeña parcela y no hay ninguna colecta de la basura. Para concluir, esta comunidad carecía de un sistema de abastecimiento de agua potable en junio 2000. Parece ser que existe ahora un acuerdo entre Mangrove Bight y Brisas del Mitch para desviar una parte del agua de la presa de Mangrove Bight hacia Brisas del Mitch.

Estas comunidades están constituidas de familias muy modestas, que viven en unas condiciones de higiene muy reducidas (ver Anexo 10, foto N°2), las cuales pueden ser propicias al desarrollo de epidemias y de contaminaciones importantes si no se mejoran las condiciones de vida a corto plazo.

3.2.1.2 Saneamiento y vertidos al mar

Disponer de los datos de población es importante para tener una idea del impacto de las actividades humanas sobre el medio ambiente pero no es suficiente. Es también necesario considerar el modo de saneamiento y de depuración de los desechos

producidos por dichas poblaciones. En Guanaja, la situación es peor que en Roatán: son raras las casas que tienen una fosa séptica. Las zonas de vertidos importantes corresponden a las zonas de fuerte densidad de población. Se trata en primer lugar de Bonacca, y después de Savannah Bight, Armadores y Mangrove Bight. Las casas depositan sus aguas servidas :

- Directamente al mar (ver Anexo 10, foto N°3), o;
- Directamente en los ríos, o;
- Directamente al suelo, donde se infiltran contaminando las capas y el medio marino.

Un estudio fue realizado por Carlo LOTTI para hacer los planos del sistema de saneamiento de Bonacca. Este estudio ha sido entregado a la municipalidad que se encarga actualmente de buscar los fondos para la realización de los trabajos. Tal sistema permitiría reducir de forma significativa los vertidos al mar y la contaminación urbana en este sector de la isla.

En el estado actual, se puede considerar que lo esencial de las contaminaciones urbanas son vertidas en el medio receptor sin ningún tratamiento.

Los sitios urbanos están indicados en el mapa 2 con el fin de destacar los sitios potencialmente contaminados por las contaminaciones domesticas.

3.2.1.3 Basureros municipales

Un censo de la mayoría de los basureros de Guanaja fue realizado. Guanaja solamente posee una carretera entre Savannah Bight y Mangrove Bight; coleccionar la basura de cada comunidad de la isla para depositarla en un solo y único basurero, es logísticamente imposible. Por eso, cada comunidad posee su propio basurero :

- Bonacca y Armadores coleccionan su basura y la depositan en su basurero de West End;
- Savannah Bight posee su propio basurero al lado del cementerio (ver Anexo 10, Foto N°4);
- Mangrove Bight también.

Los hoteles situados fuera de Bonacca acumulan y queman sus basuras en sus propiedades.

Los basureros de Guanaja están en general localizados en la parte interior de la isla, reduciendo así el impacto sobre el medio marino. El basurero utilizado por Bonacca

y Armadores constituye una excepción. Es el más grande de Guanaja y se encuentra justo al lado de la laguna (ver Anexo 10, foto N°5)

3.2.1.4 Los hoteles

Se censaron también los hoteles. Una encuesta (Ver encuesta en Anexo n°2) se remitió a los 9 hoteles de Guanaja con el fin de obtener información sobre el funcionamiento de cada hotel: número de habitaciones, abastecimiento de agua potable, sistema de saneamiento, etc. Los resultados obtenidos están sintetizados en el Anexo 3.

Guanaja, en comparación con Roatán, ha tenido un desarrollo turístico menor. Sobre los nueve hoteles inventariados en Guanaja, cuatro tienen una clientela constituida de nacionales (los que están localizados en Bonacca). Los otros cinco hoteles están dedicados a la actividad de buceo. Entre ellos, el Posada del Sol y el Bayman Bay Resort son los más importantes

El número de turistas que visita estos hoteles es moderado (sobre todo desde el huracán Mitch). El impacto de la actividad hotelera y turística sobre el medio ambiente es limitado, excepto los basureros privados de la mayoría de estos hoteles.

3.2.2 Actividades en relación con la pesca y el transporte marítimo

3.2.2.1 Las plantas empacadoras de mariscos

Se instalaron en Guanaja tres plantas empacadoras de mariscos. Se trata de:

- Islander Fishery en Bonacca,
- Mariscos Isleños y Mariscos Armadores en Armadores.

Dichas plantas contribuyen a la contaminación del medio litoral, en particular en lo que se refiere a las materias orgánicas y los nutrientes.

Se obtuvieron datos mensuales y anuales sobre las producciones de cada planta (aparecen en Anexos 4 y 5).

La producción más importante de crustáceos y mariscos es la de Islander Fishery, seguida por Mariscos Isleños, y por Mariscos Armadores.

3.2.2.2 La flota de pesca industrial

La pesca industrial de Guanaja es la actividad económica de esta isla. 85 barcos de pesca han sido inventariados en Guanaja para la campaña 1999/2000. En periodo de

veda de la pesca, estos barcos quedan en el muelle de Bonacca o de Armadores (ver Anexo 10, foto n°7), o bien en Savannah Bight.

La distribución de los barcos de pesca por zoon se presenta en el Cuadro 1.

Cuadro 1 : Flota de pesca industrial para la campaña de 1999/2000

Producto de pesca	Guanaja				
	Bonacca	Armadores	Sandy Bay	Savannah Bight	Mangrove Bight
Langosta	19	17	12	10	1
Camarón	9	3	3	1	0
Escama	4	0	1	1	4
Total	32	20	16	12	5

3.2.2.3 Flujo marítimo: veleros y barcos cargueros

Parece ser que no hay flujo marítimo importante en Guanaja. El barco carguero que iba de Puerto Cortes a Guanaja se hundió el año pasado y no ha sido sustituido. El flete está seguramente asegurado por los barcos de pesca o pequeños barcos.

Existe muy poca información sobre los veleros, pero parece ser que hay muy pocos veleros en las aguas de Guanaja.

3.2.3 Gasolineras y tanques de hidrocarburos

Como las actividades asociadas con los almacenamientos de hidrocarburos son potencialmente contaminantes, la presencia de depósitos de hidrocarburos es un riesgo para el medio ambiente. Entonces, resultó necesario integrar dichos depósitos en la lista de las fuentes de contaminación.

Por eso, se efectuó un inventario específico de las gasolineras y de los almacenamientos de hidrocarburo (ver Anexo 6).

Los tanques de hidrocarburo de Guanaja son utilizados para las actividades siguientes :

- Gasolineras para barcos: 3 gasolineras han sido inventariadas;
- Deposito de combustible para las plantas empacadoras de mariscos: cada planta posee sus tanques de carburante;

- Reserva de carburante para la central eléctrica de Guanaja (ver Anexo 10, foto N°8).

Estas diferentes gasolineras y tanques están casi todos concentrados en Bonacca (ver Anexo 10, foto n°9) y Armadores. El sitio de almacenamiento de hidrocarburos está indicado en los mapas 2a y 2b.

3.2.4 Talleres de Reparación

Se censaron también los talleres de reparación. Como no hay verdaderos talleres mecánicos debido a la ausencia de carreteras, los únicos talleres de reparación son los astilleros.

En Guanaja solamente se censaron 2 talleres de astilleros, uno en Sandy Bay y el otro en Savannah Bight (ver Anexo 10, foto n°10). El sitio de estos astilleros ha sido reportado e indicado en los mapas 2a y 2b.

Debido a los productos utilizados (aceite de motor, pintura anticorrosión, etc...), estos astilleros contribuyen ampliamente a los flujos de metales pesados que desembocan en el medio ambiente marino. Por ejemplo, botan las latas de pintura en mar.

3.2.5 Ganadería

La ganadería es otra actividad censada y clasificada en las potenciales fuentes de contaminación. La ganadería en Guanaja es casi inexistente: una encuesta específica (ver Anexo 7) identificó 7 propietarios para un total de 217 vacas.

Los rebaños correspondientes han sido localizados y cuantificados por cuenca. Los resultados obtenidos son presentados en el Anexo 8 y en los mapas 2a y 2b.

3.2.6 Erosión de las cuencas

En Guanaja, el problema de la erosión de las cuencas no está relacionado a la construcción de carreteras como en Roatán. Una sobre explotación del suelo agravada por el huracán Mitch dejaron desnudas zonas importantes de la isla (ver Anexo 10, foto n°11). En periodo de lluvia, estas zonas son propicias a la erosión de las cuencas, y a la sedimentación de los pastos marinos y de los arrecifes.

3.3 Identificación de los sectores de riesgos

Se representaron las fuentes de contaminación de Guanaja en los mapas 2a y 2b. Estos mapas permiten poner en relieve 3 zonas particularmente afectadas por las actividades humanas :

- Bonacca;
- Armadores;
- Savannah Bight.

3.3.1 Bonacca

Bonacca totaliza 4 actividades con carácter contaminante. Las contaminaciones correspondientes son las siguientes:

- Las contaminaciones domésticas de los 1800 habitantes de las cuales la mayoría va directamente al mar sin tratamiento anterior;
- Las contaminaciones emitidas por la planta Islander Fishery (planta empacadora de mariscos la más importante de Guanaja);
- La contaminación ocasionadas por los 32 barcos de pesca;
- Las contaminaciones ocasionadas por la presencia de gasolineras y de numerosos tanques de hidrocarburos.

3.3.2 Armadores

Armadores totaliza 4 actividades de carácter contaminante. Las contaminaciones correspondientes son las siguientes:

- Las contaminaciones domesticas de los 727 habitantes las cuales en su mayoría llegan al medio ambiente natural sin ningún tratamiento;
- Las contaminaciones ocasionadas por las industrias Mariscos Isleños y Armadores (plantas empacadoras de mariscos);
- Las contaminaciones de 20 barcos de pesca;
- Las contaminaciones ocasionadas por la central eléctrica de Guanaja y sus tanques de hidrocarburo.

3.3.3 Savannah Bight

Savannah Bight totaliza 4 actividades de carácter contaminante. Las contaminaciones correspondientes son las siguientes:

- Las contaminaciones domesticas de los 1049 habitantes las cuales en su mayoría llegan al medio ambiente natural sin ningún tratamiento;
- Las contaminaciones de 16 barcos de pesca;
- Las contaminaciones ocasionadas por el astillero;
- La contaminación del suelo por los lixiviados del basurero municipal de Savannah Bight.

3.3.4 Conclusión

Los diversos datos cuantitativos y cualitativos recogidos permiten identificar los dos sectores más sometidos a un riesgo de contaminación por las actividades humanas.

Este análisis solamente concierne las contaminaciones recibidas y no el impacto potencial que se puede esperar sobre el medio receptor.

El Cuadro 2 permite clasificar estas zonas según el carácter más o menos contaminante de las actividades que están inventariadas, así como la importancia cuantitativa de estas contaminaciones.

Los coeficientes utilizados para caracterizar el carácter contaminante de cada tipo de actividad son los siguientes:

- Actividad muy contaminante : 4
- Actividad contaminante: 3
- Actividad poco contaminante : 2
- Actividad a riesgo: 1
- Sin actividad : 0

Los coeficientes utilizados para caracterizar la importancia relativa de cada actividad en los diferentes sitios estudiados son los siguientes :

- Actividad cuantitativa importante: 3
- Actividad medianamente importante: 2
- Actividad débilmente importante : 1
- Actividad inexistente: 0

Cuadro 2 : Jerarquía de los riesgos de contaminación generada por las actividades de los 3 sectores más antrópicos de Guanaja

Actividades	Bonacca			Armadores			Savannah Bight		
	Contami-nación	Importan-cia	Impacto	Contami-nación	Importan-cia	Impacto	Contami-nación	Importan-cia	Impacto
Vertidos Urbanos	4	3	12	4	2	12	4	2	8
Industrias	4	3	12	4	3	12	4	0	0
Basureros	4	0	0	4	0	0	4	2	8
Astilleros	3	0	0	3	0	0	3	3	9
Tanques de hidrocarburo	1	3	3	1	3	3	1	1	1
Aeropuerto	3	0	0	3	0	0	3	0	0
Barcos de pesca	3	2	6	3	1	3	3	1	3
Barcos de flete	2	0	0	2	0	0	2	0	0
Veleros y cruceros	1	0	0	1	0	0	1	0	0
Hoteles	1	3	3	1	0	0	1	0	0
Nota Total			36			30			29


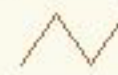
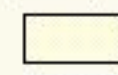

Este cuadro constituye una interpretación cualitativa de las fuentes de contaminación y no corresponde a un balance de contaminación.

Según el Cuadro 2, los tres sectores presentan riesgos elevados de contaminación y de importancia globalmente similar. Sin embargo, en términos de impacto potencial sobre el medio receptor, la zona marina situada entre Bonacca y Armadores, recibe dos veces más de contaminación (proviendo a la vez de Bonacca y de Armadores) haciendo de este sector la zona más crítica de Guanaja.

En fin, entre los datos recogidos para la identificación de las fuentes de contaminación, los datos cuantitativos servirán a la determinación de los flujos de contaminación por cuenca.

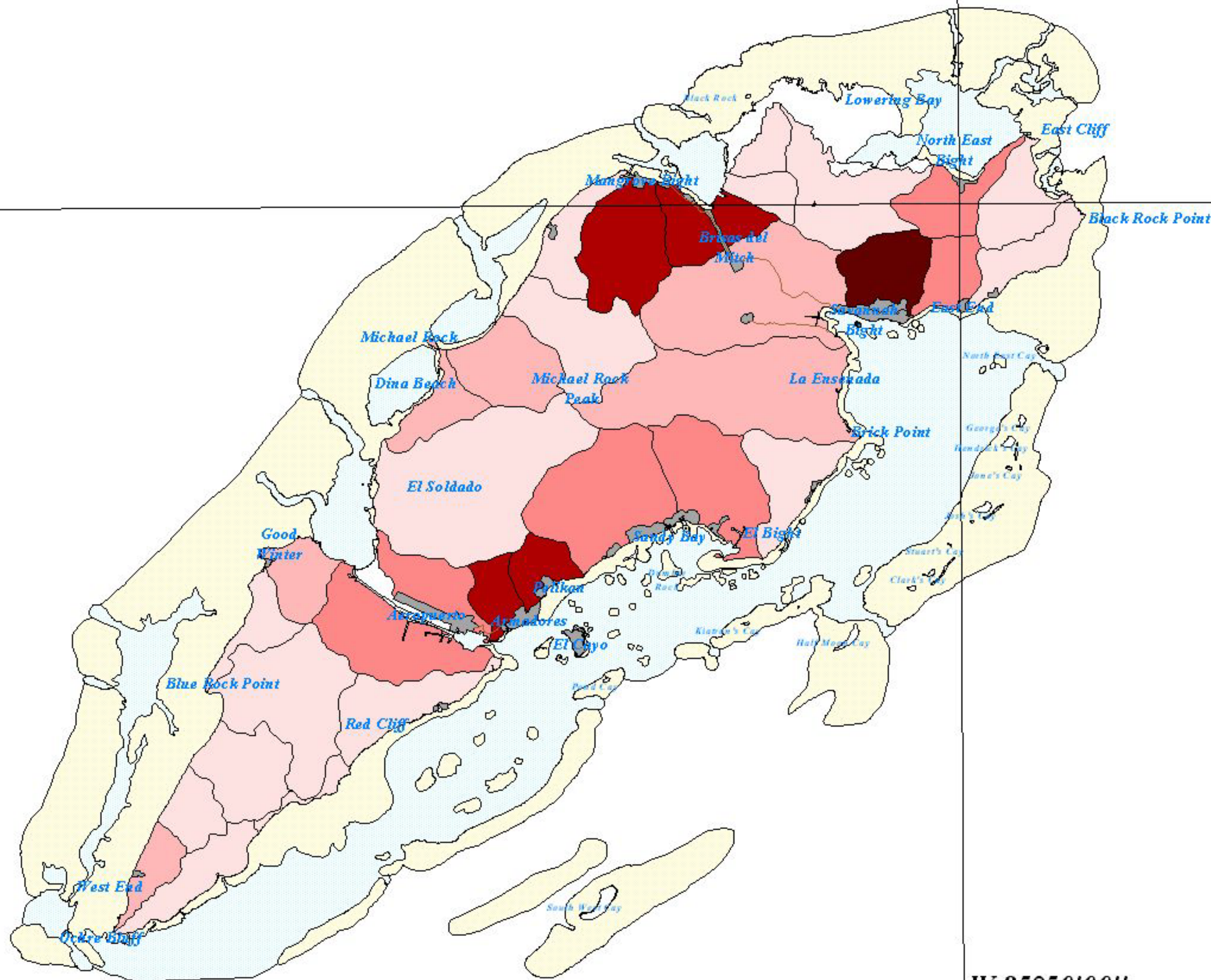
Con el fin de determinar estos balances de flujo, los datos generales sobre las cuencas son necesarios. El Anexo 9 presenta todas las informaciones colectadas y que podrán ser utilizadas para este fin. Para cada cuenca, los datos geomorfológicos recaudados son los siguientes:

- La pendiente media;
- La superficie;
- El uso del suelo;
- Los conflictos de uso;
- La erosión actual;
- Los recursos en agua (superficiales y subterráneas).

-  Casco urbano
-  Carretera de tierra
-  Arrecife
-  Laguna

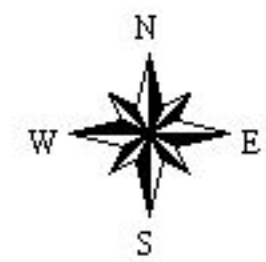
Número de habitantes por cuenca

-  0 - 5
-  6 - 20
-  21 - 100
-  101 - 500
-  más de 500



W 86°00'00"

W 85°50'00"



REPUBLICA DE HONDURAS

Secretaría de Turismo
 Proyecto de Manejo Ambiental de Islas de la Bahía
 Préstamo BID 938/SF-HO



DATOS CARTOGRAFICOS

Proyección Cartográfica: Universal Transversa de Mercator
 Esferoide: Clarke 1866
 Dato Horizontal: Norleamericano 1927
 Dato Vertical: Nivel medio del Mar 1956
 Fotografía Aérea: 1:20000, Julio de 1999
 Ortorectificación Digital: PMAIB, Julio del 2000
 Clasificación de Campo: PMAIB, IGN

Producido por:

Consorcio SAFEGE-SG GREAH-
 Mancada y Mancada

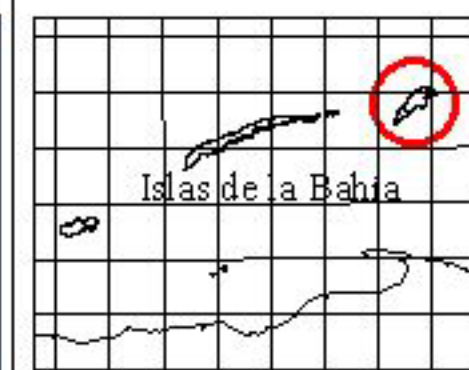
Revisión y Certificación:

PMAIB-Subprograma de
 Recursos Naturales

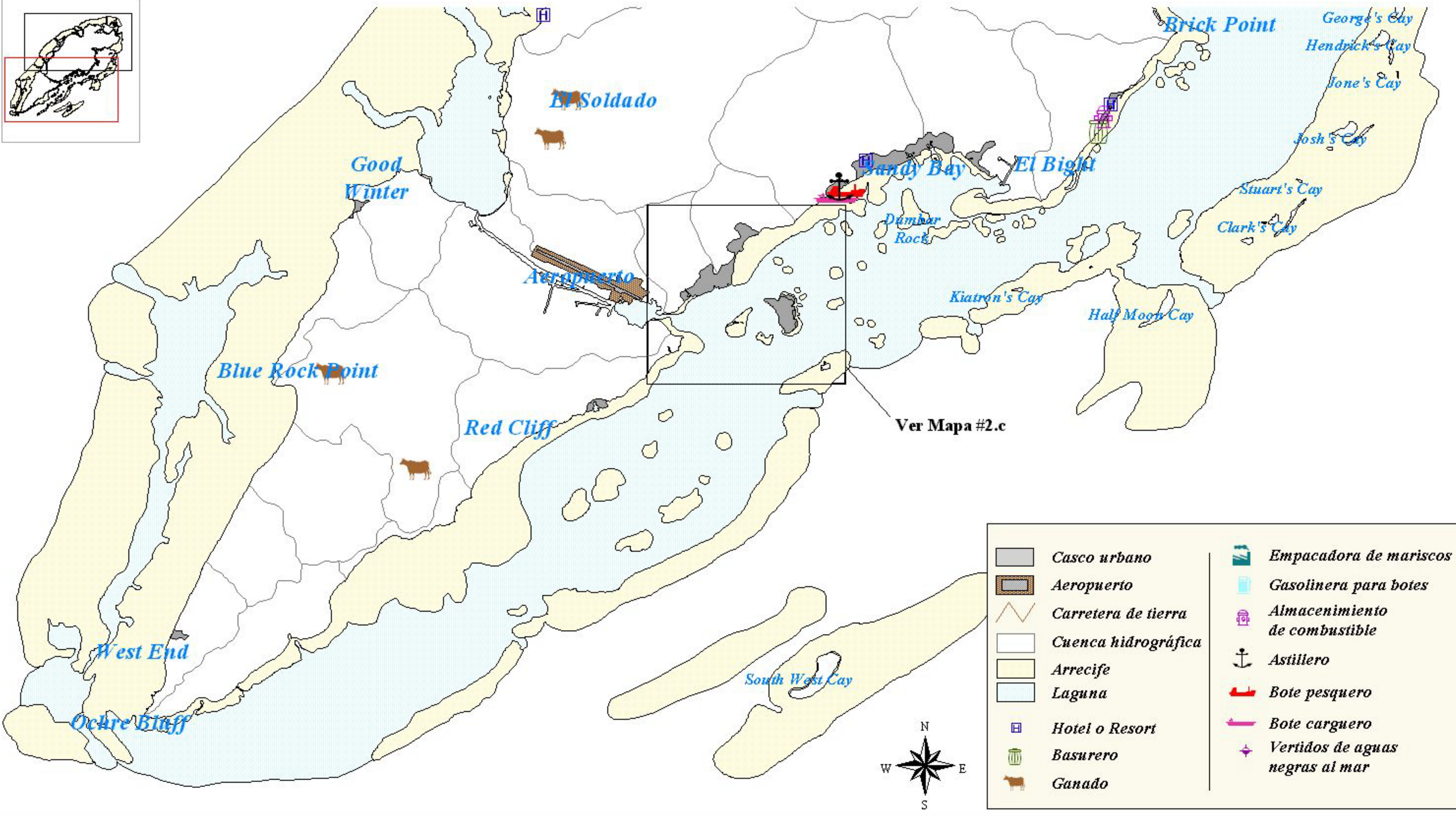
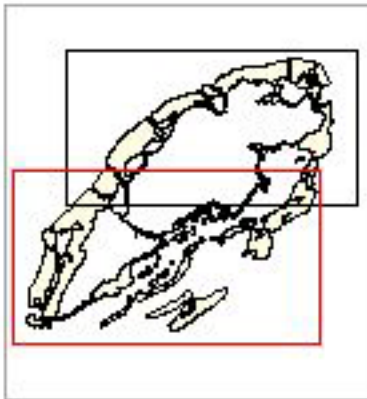
Escala 1: 100.000



Distribución de la población en las cuencas de Guanaja



Mapa
 1/13



	Casco urbano		Empacadora de mariscos
	Aeropuerto		Gasolinera para botes
	Carretera de tierra		Almacenamiento de combustible
	Cuenca hidrográfrica		Astillero
	Arrecife		Bote pesquero
	Laguna		Bote carguero
	Hotel o Resort		Vertidos de aguas negras al mar
	Basurero		
	Ganado		



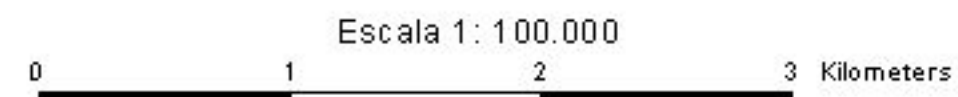
Ver Mapa #2.c

REPUBLICA DE HONDURAS
 Secretaría de Turismo
 Proyecto de Manejo Ambiental de Islas de la Bahía
 Préstamo BID 938/SF-HO

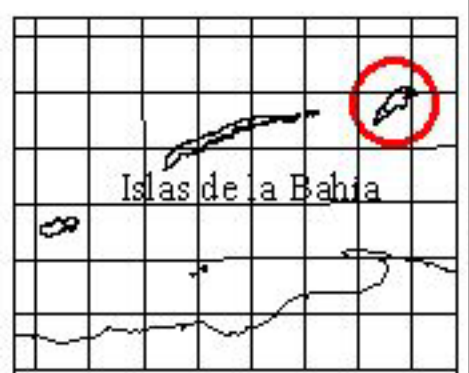
DATOS CARTOGRAFICOS

Proyección Cartográfica: Universal Transversa de Mercator
 Esferoide: Clarke 1866
 Dato Horizontal: Norleamericano 1927
 Dato Vertical: Nivel medio del Mar 1956
 Fotografía Aérea: 1:20000, Julio de 1999
 Ortorectificación Digital: PMAIB, Julio del 2000
 Clasificación de Campo: PMAIB, IGN

Producido por:
 Consorcio SAFEGE-SG GREAH-
 Mancada y Mancada
 Revisión y Certificación:
 PMAIB-Subprograma de
 Recursos Naturales

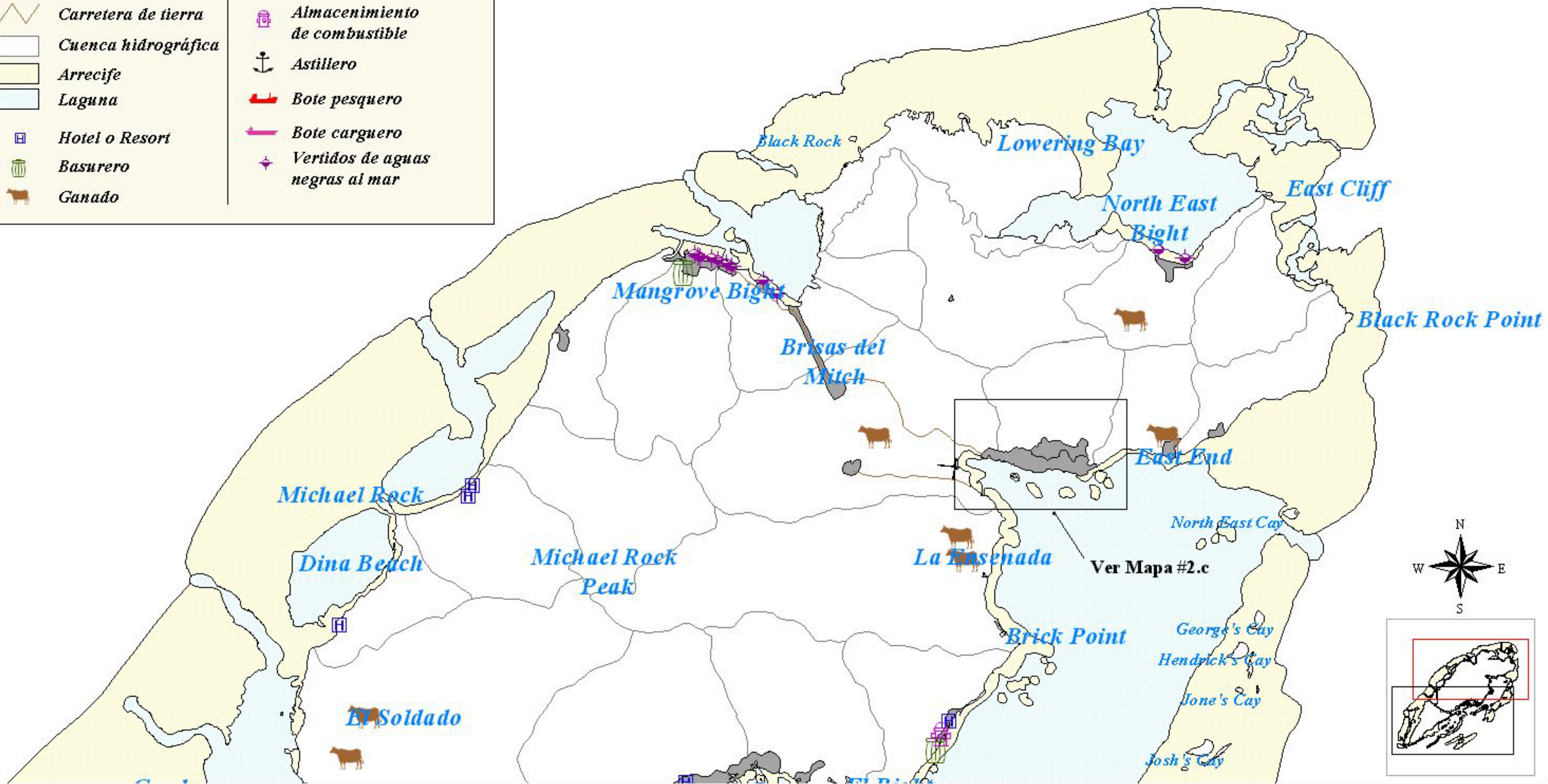


Ubicación de las fuentes de contaminación del Sur de Guanaja



Mapa 2.a/13

- | | | | |
|--|----------------------|--|---------------------------------|
| | Casco urbano | | Empacadora de mariscos |
| | Aeropuerto | | Gasolinera para botes |
| | Carretera de tierra | | Almacenamiento de combustible |
| | Cuenca hidrográfrica | | Astillero |
| | Arrecife | | Bote pesquero |
| | Laguna | | Bote carguero |
| | Hotel o Resort | | Vertidos de aguas negras al mar |
| | Basurero | | |
| | Ganado | | |



REPUBLICA DE HONDURAS

Secretaría de Turismo

Proyecto de Manejo Ambiental de Islas de la Bahía
Préstamo BID 93 WSP-HO



DATOS CARTOGRAFICOS

Proyección Cartográfica: Universal Transversa de Mercator
 Esferoide: Clarke 1866
 Dato Horizontal: Noroamericano 1927
 Dato Vertical: Nivel medio del Mar 1956
 Fotografía Aérea: 1:20000, Julio de 1999
 Ortorectificación Digital: PMAIB, Julio del 2000
 Clasificación de Campo: PMAIB, IGN

Producido por:

Consorcio SAFEGE-SG/REAH-
Mancada y Mancada

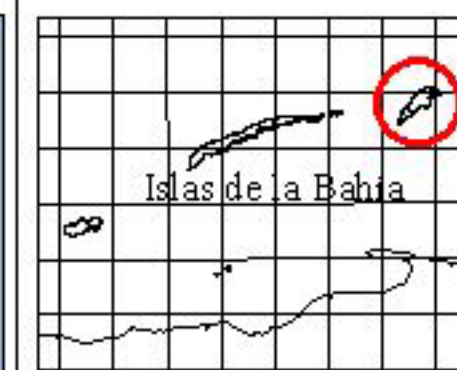
Revisión y Certificación:

PMAIB-Subprograma de
Recursos Naturales

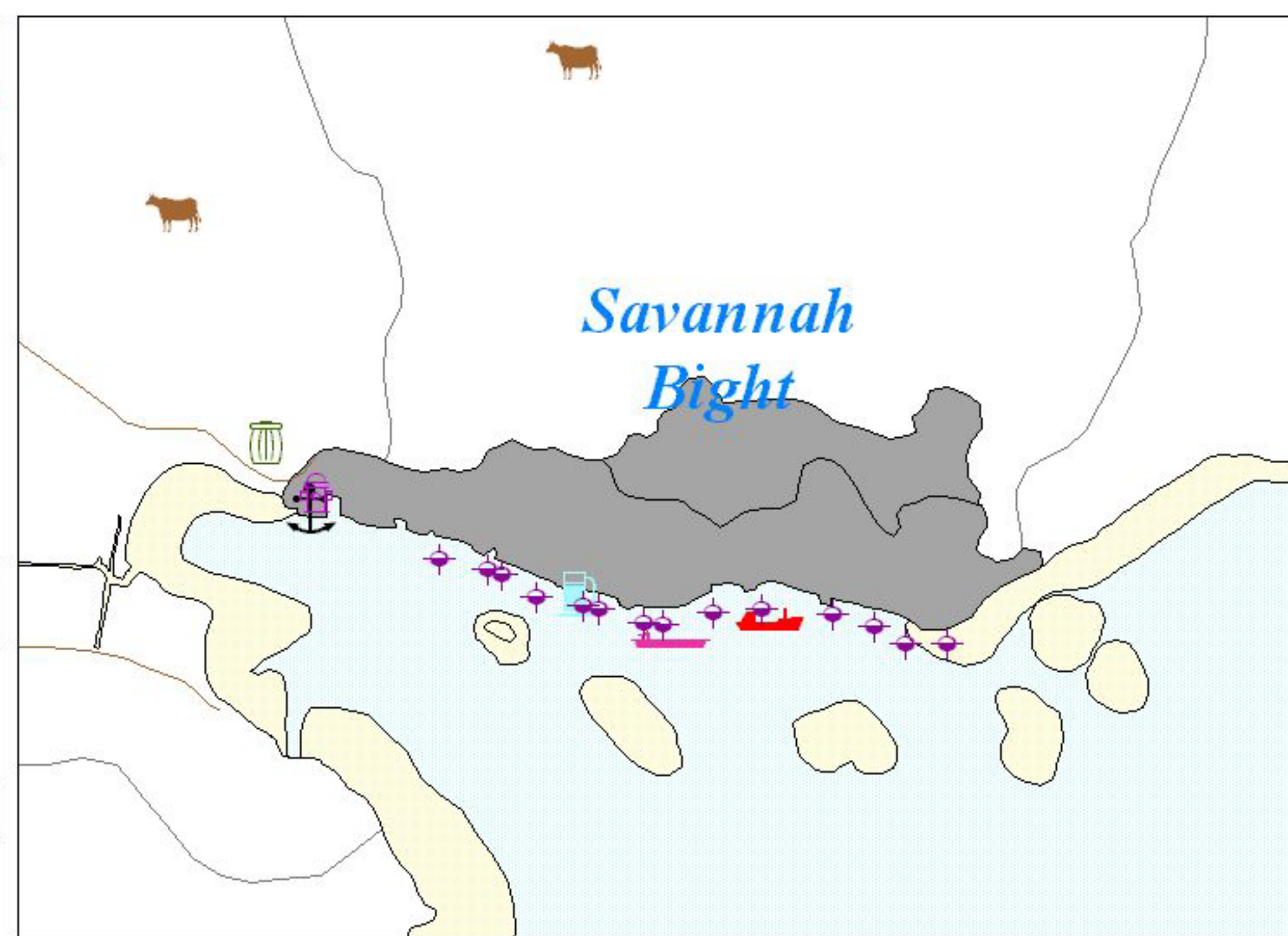
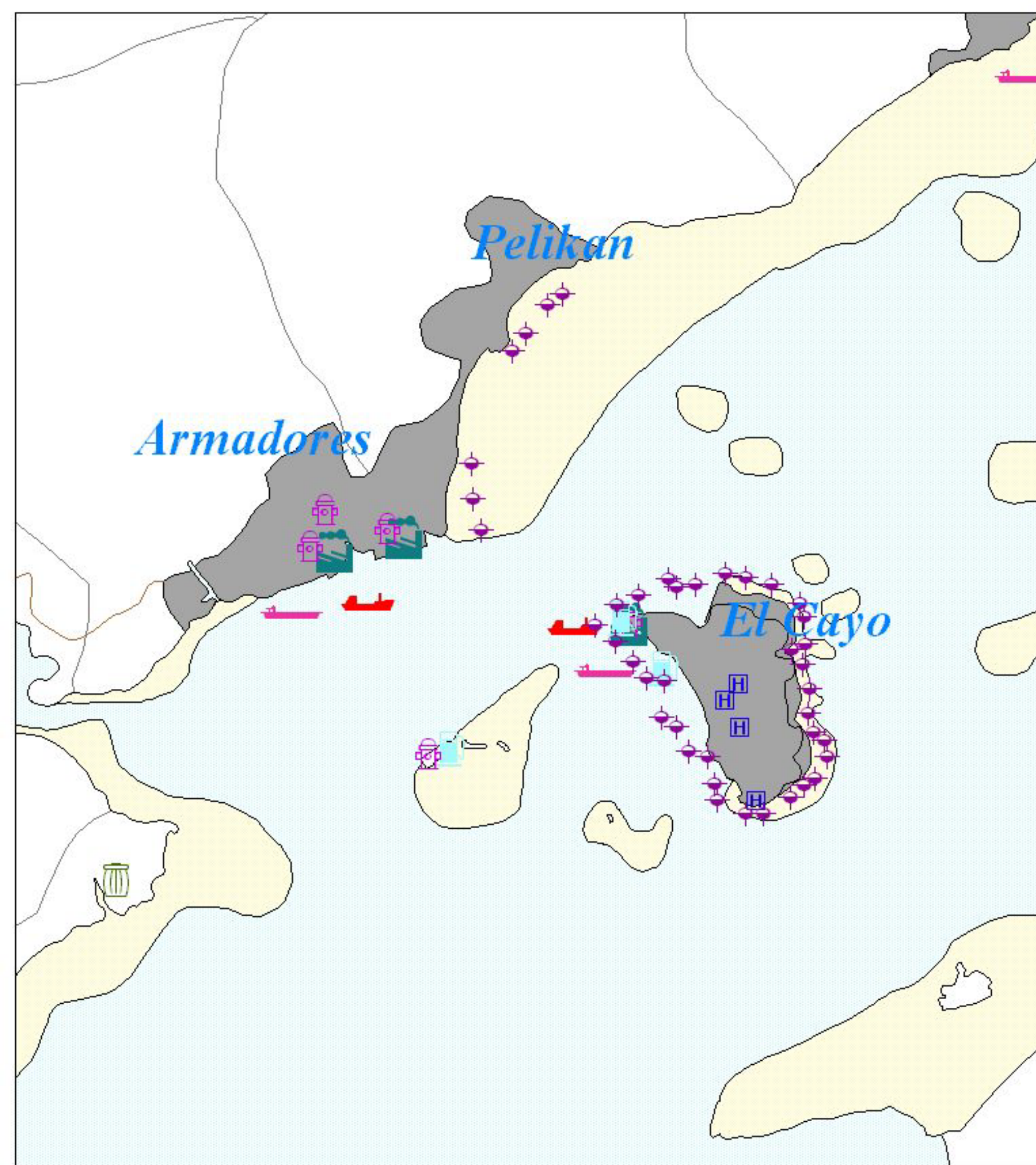
Escala 1: 100.000

0 1 2 3 Kilometers

**Ubicación de las fuentes
de contaminación del
Norte de Guanaja**



**Mapa
2.b/13**



REPUBLICA DE HONDURAS

Secretaría de Turismo
 Proyecto de Manejo Ambiental de Islas de la Bahía
 Préstamo BID 93 WSP-HO



DATOS CARTOGRAFICOS

Proyección Cartográfica: Universal Transversa de Mercator
 Esferoide: Clarke 1866
 Dato Horizontal: Norleamericano 1927
 Dato Vertical: Nivel medio del Mar 1956
 Fotografía Aérea: 1:20000, Julio de 1999
 Ortorectificación Digital: PMAIB, Julio del 2000
 Clasificación de Campo: PMAIB, IGN

Producido por:

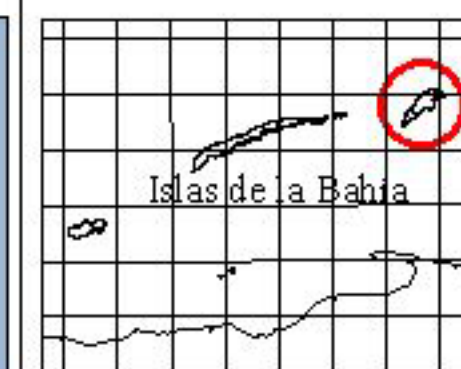
Consorcio SAFEGE-SGGREAH-
 Mancada y Mancada

Revisión y Certificación:

PMAIB-Subprograma de
 Recursos Naturales

Escala 1: 15.000
 0 0.25 0.5 Kilometers

**Ubicación de las fuentes
 de contaminación:
 El Cayo y Savannah Bight**



4

Diagnóstico de la calidad de las aguas

4.1 Metodología aplicada

4.1.1 Aguas dulces

4.1.1.1 Localización de los sitios de muestreo

El reconocimiento completo de la isla en abril de 1999 permitió identificar con precisión los ríos principales y secundarios.

Se destaca en particular que la mayoría de los 20 ríos inventariados en Guanaja son de carácter permanente. Dos razones principales pueden ser citadas para explicar esta diferencia.

- La superficie media de las cuencas de Guanaja es superior a la de las cuencas de Roatán;
- La pluviometría parece ser más regular y mayor en Guanaja que en Roatán.

Basándose en el reconocimiento de campo, se identificaron sitios con el fin de realizar análisis de calidad de agua y de estimar los caudales de los ríos. En ciertos ríos que atraviesan las principales comunidades se efectuaron muestreos en varios sitios, a manera de poder discernir el impacto de los vertidos contaminantes de los pueblos sobre estos ríos. El número de sitios de análisis en Guanaja era 27. Estos sitios fueron numerados de GD1 a GD27 y fueron seguidos a partir de mayo 1999.

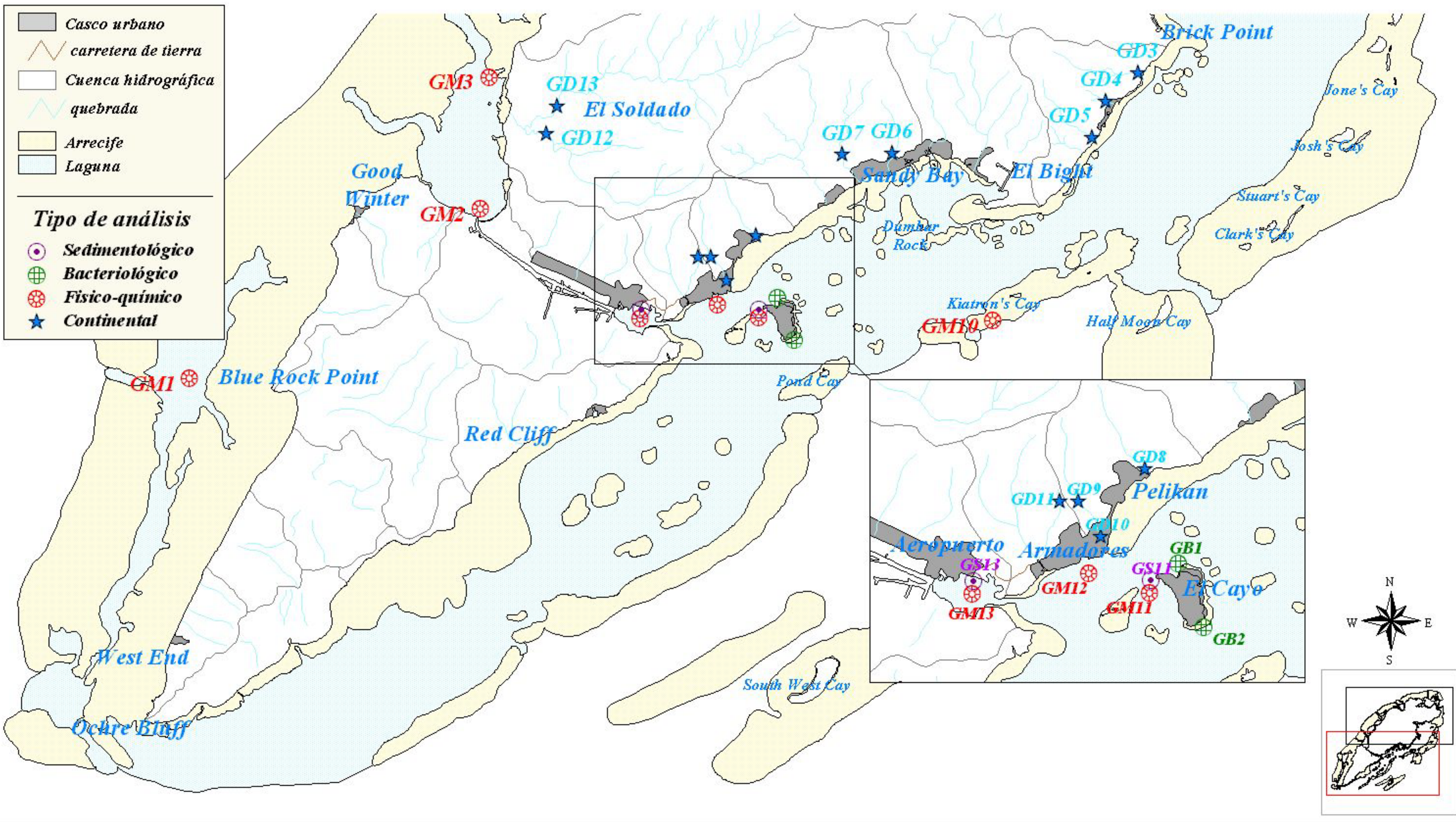
Por otra parte, las plantas empacadoras de mariscos debían también ser seguidas. Efectivamente, estas proceden a la limpieza y al acondicionamiento del pescado y

mariscos antes de la exportación (principalmente hacia los Estados Unidos). El agua utilizada para esta limpieza es directamente o indirectamente vertida al mar. Por lo tanto resultó necesario identificar la contaminación generada por estas plantas.

Tres plantas de acondicionamiento de productos de mar fueron inventariadas en Guanaja : dos en Armadores (Mariscos Isleños y Mariscos Armadores), y la tercera en Bonacca (Islander Fishery). Se tomaron muestras en estas plantas en el marco de la campaña de mediciones, salvo en el caso de la planta Islander Fishery, ya que el propietario nos negó el acceso con el pretexto de que la totalidad de los efluentes de su planta iban a una fosa séptica y por lo tanto no había ningún vertido al mar.

Se tomaron también muestras del agua de pozo que alimenta dichas plantas para distinguir las contaminaciones generadas por las plantas y las de su agua de proceso.

La ubicación de los diferentes sitios de medición de agua dulce aparece en los mapas 3a y 3b adjuntos.

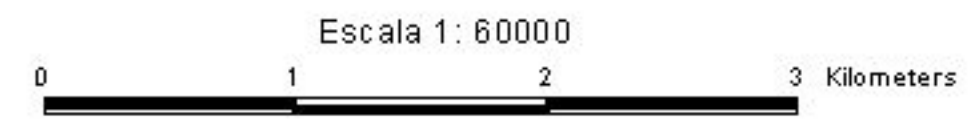


REPUBLICA DE HONDURAS
 Secretaría de Turismo
 Proyecto de Manejo Ambiental de Islas de la Bahía
 Préstamo BID 93 WSP-HO

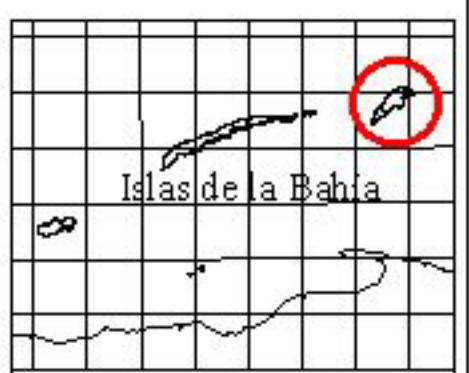
DATOS CARTOGRAFICOS

Proyección Cartográfica: Universal Transversa de Mercator
 Esferoide: Clarke 1866
 Dato Horizontal: Norleamericano 1927
 Dato Vertical: Nivel medio del Mar 1956
 Fotografía Aérea: 1:20000, Julio de 1999
 Ortorectificación Digital: PMAIB, Julio del 2000
 Clasificación de Campo: PMAIB, IGN

Producido por:
 Consorcio SAFEGE-SOGREAH-Moncada y Moncada
 Revisión y Certificación:
 PMAIB-Subprograma de Recursos Naturales



Ubicación de los sitios de muestreo de calidad de agua del Sur de Guanaja

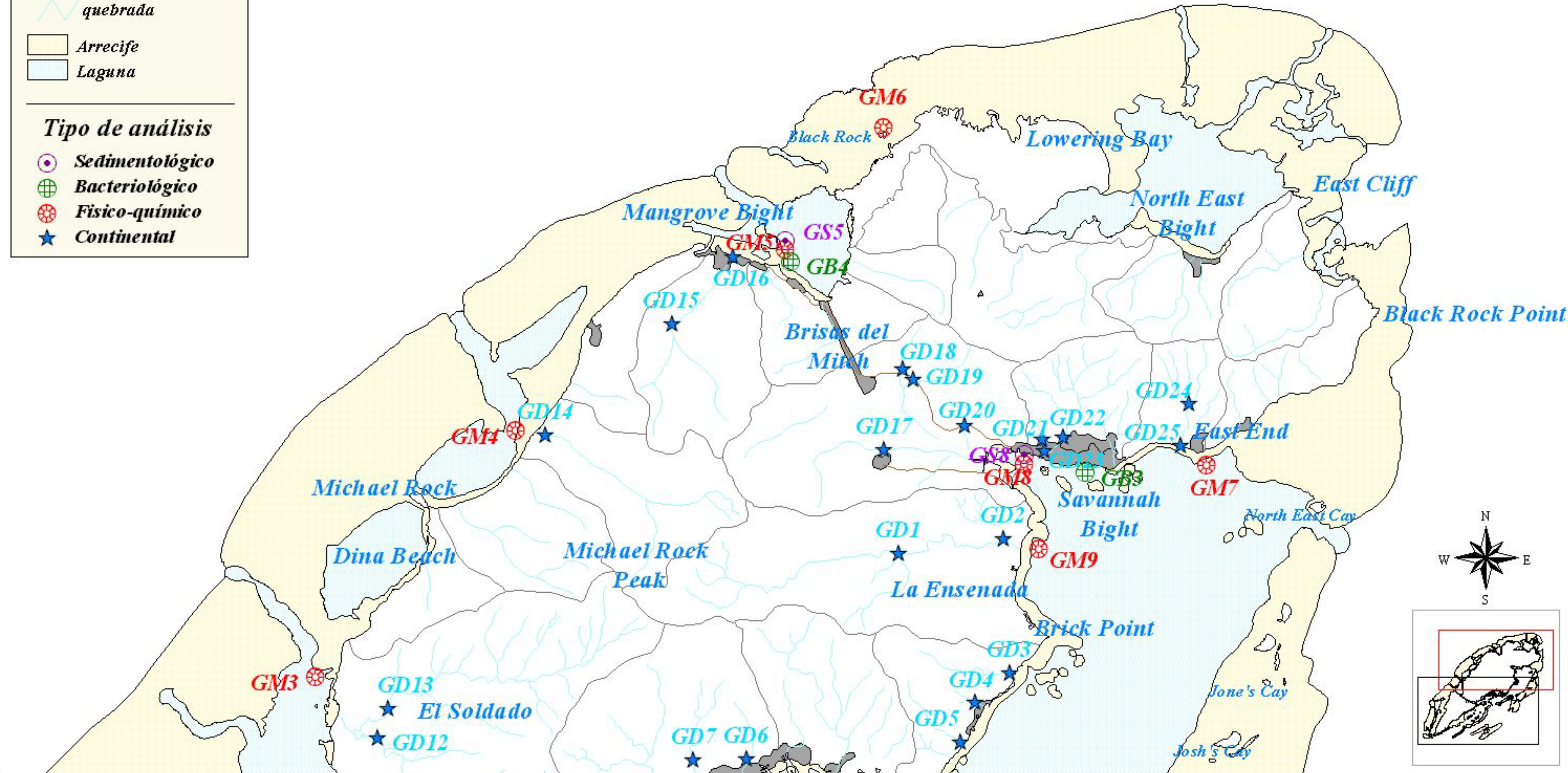


Legenda:

- Casco urbano
- carretera de tierra
- Cuenca hidrográfica
- quebrada
- Arrecife
- Laguna

Tipo de análisis:

- Sedimentológico
- Bacteriológico
- Físico-químico
- Continental



REPUBLICA DE HONDURAS
 Secretaría de Turismo
 Proyecto de Manejo Ambiental de Islas de la Bahía
 Préstamo BID 93 WSP-HO

DATOS CARTOGRAFICOS

Proyección Cartográfica: Universal Transversa de Mercator
 Esferoide: Clarke 1866
 Dato Horizontal: Noramericano 1927
 Dato Vertical: Nivel medio del Mar 1956
 Fotografía Aérea: 1:20000, Julio de 1999
 Ortorectificación Digital: PMAIB, Julio del 2000
 Clasificación de Campo: PMAIB, IGN

Producido por: Consorcio SAFEGE-SG GREAH-Moncada y Moncada

Revisión y Certificación: PMAIB-Subprograma de Recursos Naturales

Escala 1: 60000

Ubicación de los sitios de muestreo de calidad de agua del Norte de Guanaja

Mapa 3.b/13

4.1.1.2 Programa de mediciones

Se identificaron y se estudiaron un total de 20 ríos y canales en Guanaja en el marco del programa de mediciones mensuales (ó sea 27 sitios ver párrafo 4.1.1.1). Por supuesto, dicho seguimiento dependía de si el río tenía agua (muchos ríos no son permanentes), y se ajustaron los parámetros analizados en función del entorno de los ríos correspondientes (actividades en sus cuencas, transporte sólido, contaminación específica ...).

Los sitios de mediciones aparecen en los mapas 3a y 3b (ver párrafo 4.1.1.1).

La frecuencia del muestreo fue mensual durante todo el primer año de seguimiento con el fin de poner en relieve las fluctuaciones estacionarias de los caudales y de la calidad del agua. Generalmente, no se efectuaron los muestreos en los puntos de análisis cuando el caudal era nulo.

Empezó la campaña de mediciones en mayo de 1999 para los parámetros fisicoquímicos.

4.1.1.3 Muestreo y análisis en situ

Se realizaron los muestreos en frascos de plástico (se utilizaron frascos de vidrio durante los primeros meses de la campaña). Se tomó cada muestra por debajo del nivel de la superficie (cuando era posible) después de que el frasco fuera enjuagado varias veces con el agua de muestreo.

Se conservaron los frascos de las mediciones fisicoquímicas al abrigo de la luz y del calor. Se efectuaron los análisis al llegar al laboratorio de Roatán.

El muestreo para los análisis bacteriológicos se hizo con frascos de vidrio esterilizados y mantenidos al frío hasta su análisis.

Además del muestreo, se realizaron ciertos análisis in situ. Se trata de los parámetros siguientes:

- La temperatura;
- El oxígeno disuelto;
- El pH;
- La conductividad y, a veces, la salinidad;
- La turbidez.

Se evaluó también el caudal in situ.

Aparecen las características de los instrumentos de mediciones en el Cuadro 3.

Cuadro 3: Características de los instrumentos de mediciones in situ utilizados para las aguas dulces durante la campaña de mediciones

Parámetro	Instrumento	Sonda	Precisión
Temperatura	oxímetro Oxi 330 WTW	Sonda estándar	± 0,1 °C
pH	pH-metro pH330 WTW	electrodo pH Sentix 41	± 0,01 unidad pH
Oxígeno disuelto	oxímetro Oxi 330 WTW	Sonda CELLOX 325	± 0,01 mg/l; ± 0,1 %
Oxígeno disuelto	oxíméto HI 9142 Hanna Instruments	Sonda estándar	± 0,1 mg/l; ± 1,5 %
Salinidad	YSI 63	Sonda estándar	± 0,1 ppt ; ± 2 %
Conductividad	Conductímetro SPER scientific	Sonda estándar	± 1% de la lectura
Turbidez	Turbidímetro HI 93703 Hanna Instruments		± 0,01FTU ; ± 5 %
Caudal	micro-moulinet global flow probes		

4.1.1.4 Análisis realizados en laboratorio

Los análisis realizados en laboratorio son los siguientes :

- MES;
- NO3, NH4, PO4, Ptotal;
- Metales (Fe, Cd, Zn, Sn, Cu, Pb). Se analizaron estos parámetros principalmente en las muestras tomadas río abajo de los sectores fuertemente contaminados ;
- DBO5 y DQO. Se analizaron estos parámetros sobre las muestras tomadas río abajo de los sectores muy contaminados por materias orgánicas;
- Coliformes fecales y totales. Estos parámetros caracterizan la contaminación bacteriana, y la fracción patógena de estas bacterias. Se analizaron estos parámetros sobre las muestras tomadas río abajo de las descargas contaminantes importantes (zonas de fuerte concentración poblacional, plantas empacadoras de mariscos).

Para realizar estos análisis, se utilizó el equipo siguiente :

- 12 botellas oxytop IS 12 de WTW, para medir la DBO₅;
- Un incubador Oxytop box de WTW para la incubación a 20°C de las botellas oxytop;
- Una bomba de vacío y una unidad de filtración para filtrar los MES: los filtros utilizados tienen un bacio de malla de 0,45 µm;
- Un horno de 14 litros – 14L Memmert para secar los filtros MES;
- Una balanza de precisión estándar Ohaus, para pesar los filtros de MES;
- Un digester de 16 puestos de Bioblock utilizado para analizar la DQO;
- Un espectrofotómetro photolab spektral de WTW. Se utiliza para analizar los parámetros fisicoquímicos (nutrientes, DQO, metales pesados). Funciona entre 330 y 850 nm, y su pasabanda es de 8 nm. Este espectrofotómetro puede funcionar con una cuba (10 a 50 mm) o con tubos;
- Un fotómetro photolab S6 de WTW, para el análisis ocasional de los parámetros nutritivos. Funciona con 6 bandas espectrales preestablecidas para permitir el análisis de los parámetros. Funciona con tubos.

El hospital de Coxen Hole se encargó de los análisis bacteriológicos. Se utilizó el equipo específico instalado en nuestro laboratorio sólo hasta octubre de 1999 (incubador, lampara UV...). Este cambio está justificado por la gran variabilidad de los resultados obtenidos y por la complejidad de los conteos.

Para los parámetros nutritivos (NO₃, NH₄, PO₄, Ptotal) el hierro y los metales pesados (Cd, Cu, Sn, Pb, Zn), se evaluaron las concentraciones en colorimetría según el método indicado en Cuadro 4.

Con respecto a los metales pesados, cabe notar que :

- Se emite la mayor parte de las contaminaciones debido a los metales pesados mediante sectores urbanizados situados al orilla del mar, y entonces solamente una parte de esas contaminaciones metálicas pasa por los ríos;
- Había solamente un bajo número de mediciones de metales pesados realizado en las aguas dulces;
- Se encuentran estas contaminaciones esencialmente bajo la forma de partículas en la columna de agua marina donde sedimentan rápidamente. Entonces, había una posibilidad de que esta contaminación no fuera detectable en la columna de

agua marina (lo que fue confirmado por las mediciones realizadas a principio de la campaña de mediciones);

- Solo análisis precisos de metales pesados fueron previstos en los sedimentos marinos. Dichos análisis, son mucho más eficaces que los análisis efectuados en la columna de agua para evaluar el impacto de las contaminaciones ocasionadas por los metales pesados. En efecto, los sedimentos constituyen un sistema integrativo que almacena las contaminaciones a largo plazo. Desde este punto de vista, la ausencia de contaminación ocasionada por los metales pesados en la columna de agua no prueba que no exista una contaminación, mientras que un análisis de los sedimentos permita caracterizar dichas contaminaciones.

Por eso, se decidió analizar los metales pesados según un método colorimétrico, aunque no es totalmente idóneo para esta tarea. En efecto el análisis de los metales pesados se efectúa normalmente en absorción atómica. Este método necesita medios materiales y financieros así como una tecnicidad que no conforma con los objetivos de la presente campaña de mediciones.

Cuadro 4: Métodos de análisis colorimétrico utilizados para las aguas dulces

Elemento	Método
Nitratos	Nitrospectral
Amonio	Azul indofenol
Fósforo total	Fósforo azul de molibdeno
Ortofosfatos	Fósforo azul de molibdeno
DQO	Dichromate de potasium
Hierro	Hierrospectral y ácido ascórbico en polvera
Cadmio	Derivado cadion
Cobre	Cuprizone
Etano	Violeta pirocatequina
Plomo	Azerosorcine piridílico
Zinc	Azerosorcine piridílico

4.1.2 Aguas de mar

El control físico químico de las aguas marinas tiene un doble objetivo :

- Caracterizar los ecosistemas marinos con el fin de comprender sus desarrollos;
- Analizar las perturbaciones del medio a continuación de los vertidos antrópicos.

Diferentes parámetros fueron medidos con el fin de tener una visión lo más amplia posible de los fenómenos.

4.1.2.1 El programa de mediciones

El muestreo del medio marino se apoya sobre un cierto número de puntos de medición repartidos alrededor de la isla de Guanaja, con el fin de poner en evidencia las eventuales contaminaciones del ecosistema. Los elementos característicos de la elección de los diferentes sitios de mediciones son presentados en el Anexo 11 con los mapas de localización correspondientes. Esta elección tomó en cuenta en particular :

- La implantación de los sitios de mediciones de agua dulce;
- Las contaminaciones antrópicas que llegan al medio marino costero;
- Los diferentes tipos de medios ambientes (arrecifes, manglares, pastos).

Dichos sitios aparecen en los mapas 3a al 3b (ver párrafo 4.1.1.1).

Se efectuó un muestreo mensual en cada punto de medición en agua marina costera durante un año para poner en evidencia las fluctuaciones estacionarias de los diferentes parámetros.

4.1.2.2 Muestreo y análisis in situ

Todos los muestreos fueron realizados con una botella hidrológica o un frasco de acondicionamiento a una profundidad entre 0.5 y 1 metro.

Las muestras fueron acondicionadas en frascos de plástico y se conservaron al abrigo de la luz y del calor. Se efectuaron los análisis al retornar al laboratorio. Debido a los medios de transportes y de la lejanía de la isla de Guanaja al laboratorio de análisis situado a French Harbor (Roatán), una media de 12 a 24 horas fue necesaria entre la toma de la muestra y el análisis de esta. Las muestras fueron conservadas durante ese tiempo al frío en una hielera. No pareció necesario añadir un conservante (cloroformo o otro) a las muestras para estabilizarlas y además esto podía haber falsificado la medición (CNEXO, 1983).

Además de los muestreos de agua, se realizaron ciertos análisis in situ. Se trata de los parámetros siguientes :

- La temperatura;
- El pH;
- El oxígeno disuelto;
- La salinidad (y de la conductividad durante los primeros meses de la campaña de mediciones para garantizar la concordancia de los resultados obtenidos para ambos parámetros);
- De la transparencia mediante un disco de Secchi. Se decidió medir dicha transparencia sólo cuando el fondo no era visible. En efecto, es imposible medir la profundidad de desaparición del disco de Secchi si éste no desaparece. En casi todos los sitios ubicados entre el arrecife y la costa, el fondo quedó visible, incluso en periodo de lluvia, debido a la poca profundidad. Al contrario, la mayoría de las mediciones efectuadas por fuera de los arrecifes correspondían a valores superiores a la longitud de la cuerda (es decir 25 m). En estos casos, se indicó >29m en el cuadro de resultados.

Las características de los instrumentos de mediciones in situ aparecen en el Cuadro 5.

Cuadro 5 : Características de los instrumentos de mediciones in situ utilizados durante la campaña de mediciones en las aguas marinas costeras

Parámetro	Instrumento	Sonda	Precisión
Temperatura	pH-metro WTW 197-S	Sonda estándar	± 0,1 °C
pH	pH-metro WTW 197-S	electrodo pH estándar	± 0,01 unidad pH
Oxígeno disuelto	Oxímetro OXY340 WTW	sonda CELLOX 325	± 0,01 mg/l; ± 0,1 %
Salinidad	Conductímetro WTW LF340	Célula 4 polos Tetracon 325	± 0,5 % de la lectura
Conductividad	Conductímetro WTW LF340	Célula 4 polos Tetracon 325	± 0,5 % de la lectura
Transparencia	Disco de Secchi		

4.1.2.3 Análisis realizados en laboratorio

Los análisis realizados en el laboratorio con las muestras de agua marina son los siguientes : nitritos, nitratos, amonio, ortofosfatos.

Además, al inicio de la campaña de mediciones se realizaron algunos análisis sobre los metales pesados con el fin de identificar los sitios a seguir con respecto a estos parámetros. Dado que todas las mediciones efectuadas fueron inferiores a los umbrales de detección, se decidió parar los análisis de metales pesados en el agua del mar y más bien de buscarlos en los sedimentos en donde se almacenan por preferencia, para una mejor apreciación de las contaminaciones.

Para analizar el agua, se evaluaron todas las concentraciones en colometría mediante un espectrofotómetro WTW Photolab (gama espectral 330 - 850 nm / pasabanda 8 nm). Se realizaron los análisis mediante tubos con reactivos prepreparados, y a la primavera 2000, mediante cubas (10 a 50 mm) para mejorar la precisión de los resultados que juzgábamos insuficientes.

Por fin, paralelamente a las mediciones de Clorofila a (ver párrafo 4.1.5.), se hicieron análisis de las Materias Totales en Suspensión. Las diferentes explicaciones sobre el modo de muestreo y de análisis de este parámetro aparecen en el párrafo 4.1.5.

Cuadro 6: Métodos de análisis colorimétrico de los diferentes elementos

Elemento	Método
Nitratos	Fenol derivativa
Nitritos	Ácido sulfanílico
Amonio	Azul indofenol
Fósforo total	Fósforo azul de molibdeno
Ortofosfatos	Fósforo azul de molibdeno
Cadmio	Derivado cation
Cobre	Cuprizone
Etano	Violeta pirocatequina
Plomo	Azerosorcine piridílico
Zinc	Azerosorcine piridílico

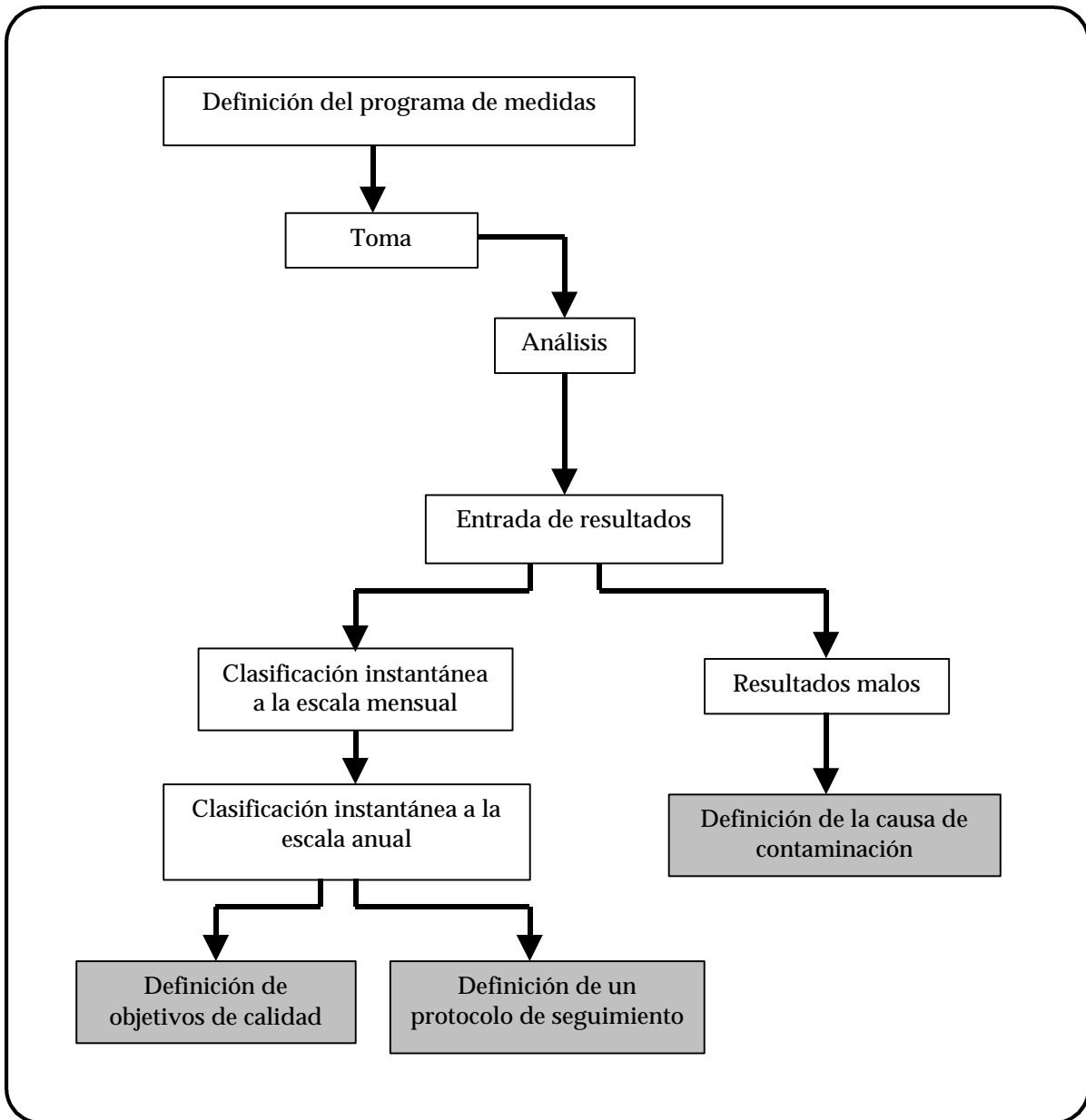
4.1.3 Bacteriología marina

El principio metodológico utilizado en el marco de los análisis bacteriológicos (Figura 1) se presenta a continuación.

La isla de Guanaja consta de 4 puntos de muestreo (mapas 3a y 3b & Anexo 12) distribuidos alrededor del litoral a manera de tomar en cuenta las diferentes fuentes de contaminación. El estudio bacteriológico de las aguas marinas de las Islas de la Bahía se basa sobre el análisis simultáneo de los coliformes totales y de una especie de coliformes fecales, *Escherichia Coli*, cuya correlación con enfermedades

gastrointestinales relacionadas con actividades balnearias es significativo (Cabelli & al, 1979). Esta bacteria generalmente no es patógena pero su presencia en el agua indica una contaminación de origen fecal más o menos fuerte en función de las concentraciones encontradas. Estos gérmenes indican la presencia simultánea de gérmenes patógenos peligrosos. Se realizaron los análisis hasta octubre de 1999 en el laboratorio interno del proyecto (metodología presentada en Anexo 13) y, después de esta fecha, se entregaron las muestras al laboratorio del hospital de Roatán para analizarlos. Se tomaron todas las muestras a 30 centímetros bajo la superficie en sectores donde la columna de agua tuvo un espesor de cerca de 1 metro. Se transportaron dichas muestras en frascos de vidrio esterilizados y mantenidos al frío hasta su análisis. Para evitar una evolución significativa de las concentraciones bacterianas, estas muestras se tomaban temprano en la mañana para que puedan ser analizadas al medio día en Roatán.

Figura 1 : Principios y objetivos del control bacteriológico de las aguas marinas



4.1.4 Sedimentos

4.1.4.1 Localización de los sitios de muestreo

El estudio de sedimentos de las Islas de la Bahía concierne estaciones definidas en función de los riesgos de contaminación. Desde este punto de vista, la isla más expuesta a las contaminaciones es Roatán donde se efectuó un estudio más detenido en términos de número de observaciones, pero la isla de Guanaja fue también estudiada como lo indica el Cuadro 7.

Cuadro 7: Número de estaciones de muestreo de sedimento

Isla	Número de estaciones	Muestras superficiales	Muestras de perforación
Roatán	13	9	4
Guanaja	4	3	1
Utila	4	4	0

El número de estaciones (Cuadro 7) es conforme a la oferta técnica para las islas de Guanaja y Utila, mientras que para Roatán se tomó una muestra suplementaria en la bahía de Oak Ridge con el fin de visualizar correctamente la contaminación de este punto.

La distribución de las estaciones (Mapas 3a y 3b) se definió a partir de los primeros elementos obtenidos durante la campaña de análisis de agua marina así como la localización de las actividades contaminantes (Cuadro 8). El número de los puntos de muestras de sedimentos es generalmente idéntico al de las muestras a nivel de la columna de agua marina. Pero para mayor claridad, los puntos marinos están indicados por un “M” y los puntos de sedimentos por un “S”.

Además de las muestras de sedimentos superficiales, algunas muestras de perforación de sedimentos fueron colectadas. Debido al carácter integrador del sedimento, el estudio de perforaciones sedimentarias permite, en efecto, dar una representación temporal de la evolución de las concentraciones de los diferentes contaminantes.

Cuatro muestras de perforación de 20 centímetros (recortadas en 4 capas de 5 centímetros) se tomaron en los sedimentos marinos de la isla de Guanaja. Los sitios fueron elegidos en función de los riesgos corridos debido a la presencia de actividades potencialmente contaminantes. Por esta razón, el sitio de Bonacca (Cayo) fue identificado como potencialmente el más contaminado y por lo tanto el más interesante.

4.1.4.2 El muestreo

Se efectuó la toma de sedimentos del 28 al 29 de enero 2000 en Guanaja.

Las condiciones climáticas fueron las siguientes :

- Tiempo soleado;
- Viento débil;
- Ningún oleaje o corriente.

Se realizó el muestreo en snorkeling desde una lancha. Dicha embarcación no se acercó a menos de 10 metros del sitio para evitar cualquier perturbación debida a la suspensión de los sedimentos por el movimiento de la propela o a la contaminación por los residuos de combustión del motor.

Se efectuó la muestra de perforación mediante una barrena sacamuestras constituida de un tubo de PVC de alta densidad, largo de 50 centímetros equipado en su extremidad superior por un tapón impermeable y a su extremidad inferior por una mariposa de retención que permite capturar el sedimento en el cilindro.

Una vez tomadas, se cortaron las muestras en capas de 5 centímetros (1 capa para las estaciones de superficie y 4 para las muestras de perforación). Después, se almacenaron en bolsas de plástico en una hielera. Al volver al laboratorio se congelaron las muestras a una temperatura de -20 °C con el fin de evitar toda reacción química en el sedimento entre el muestreo y el análisis de laboratorio.

Se transportaron las muestras congeladas al Laboratorio de Hidrología y de Molysmología Acuática (LHMA) de la Universidad del Mediterráneo en Marseilla (Francia) el 2 de febrero de 2000 para ser analizadas. Fueron entregadas al Profesor Rebouillon, director del LHMA (laboratorio certificado por el Ministerio del Medio Ambiente Francés). Se mantuvo el estado de congelación durante todo el viaje. El Profesor Rebouillon notó que la cadena de frío no fuese rota durante el transporte.

4.1.4.3 Los parámetros analizados

Se realizaron varias observaciones durante el muestreo. Es decir el color, la textura, y el estado de reducción del sedimento.

El objetivo de los análisis de sedimentos efectuados en laboratorio era el de cubrir el espectro completo de contaminaciones potenciales, es decir:

- Los parámetros acompañadores: hierro, granulometría, carbón orgánico, fracción acidosoluble;
- Los metales pesados: cadmio, cobre, mercurio, plomo, zinc;

- Los contaminantes orgánicos: polychlorobiphenyles (PCB), hidrocarburos totales, hidrocarburos poly-aromaticos (HPA);
- Nutrientes: nitrógeno total, fósforo total.

Dado el contexto de ciertos sitios y las muestras, se midieron los HPA (no previstos en la oferta técnica) en todos los sitios para completar el diagnóstico.

Cuadro 8: Localización de los sitios de muestreo de los sedimentos en la isla de Guanaja

Lugar ¹	Estación ²	Actividades litorales	Contaminantes potenciales	Observación
<i>Bonacca (El Cayo)</i>	GS11	Zona residencial	Sales nutritivas, materia orgánica, metales pesados, hidrocarburos	/
Aeropuerto	GS13	Actividades industriales y portuarias	metales pesados, hidrocarburos	/
Savannah Bight	GS8	Actividades aeroportuarias	Sales nutritivas, materia orgánica	/
Mangrove Bight	GS5	Zona residencial	Sales nutritivas, materia orgánica	/

¹ Los sitios de cursiva representan la colocación de muestras de perforación sedimentarias

² las referencias refieren a los mapas de localización de los puntos de mediciones de la calidad de las aguas marinas.

4.1.5 Biomasa planctónica

La biomasa planctónica se compone de fitoplancton y zooplancton. Con el fin de caracterizar estos dos compartimentos, se han estudiado los parámetros siguientes:

- Los pigmentos clorofílicos que caracterizan la biomasa fitoplanctónica;
- Los fitoplancton y zooplancton estudiados cualitativamente por muestreo con redes;
- Las materias totales en suspensión (MTS), que permiten de estudiar la fracción detrítica de los MES.
- Los otros parámetros físico químicos (y en particular el oxígeno disuelto, la temperatura, los elementos nutritivos).

El último punto se basa sobre los resultados obtenidos en el marco de la campaña de medición en la columna de agua marina costera (ver párrafo 4.1.2.). Los otros tres primeros puntos se tratan a continuación.

4.1.5.1 Pigmentos clorofilicos

La estimación de la biomasa planctónica vegetal, que flota en las aguas marinas, se hace mediante la medición de la cantidad de pigmentos clorofilicos activos y degradados. La estimación de la biomasa del fitoplancton, primer trozo esencial de la cadena trópica, permite tener una primera idea de la producción global de las aguas oceánicas. Los pigmentos clorofilicos constituyen un criterio muy útil en el marco de la interpretación de las contaminaciones y de sus efectos sobre el medio receptor.

Los sitios de muestreo son los mismos que los de las aguas marinas costeras. El protocolo para el muestreo y el acondicionamiento se presenta en anexo 14.

En cada caso, se efectuó una toma de 500 ml de agua bajo la superficie del agua, en un frasco de plástico, después de enjuagarlo dos veces con el agua de la muestra.

Se pusieron los frascos recogidos en una hielera y en la obscuridad inmediatamente después del muestreo y hasta la llegada al laboratorio.

Se filtraron las muestras desde su llegada al laboratorio. Se puso cada filtro en una microprobeta después de la filtración. Dicha microprobeta se puso en una bolsa de congelación en el congelador del laboratorio.

Se mandaron todas las muestras recogidas a fines de junio de 2000 al Laboratorio de Oceanografía Biológica de Arcachon en Francia donde fueron analizadas. Se efectuó el transporte en una hielera doble para mantener la integridad de la congelación. Una vez llegadas al Laboratorio de Oceanografía Biológica de Arcachon, se analizaron las muestras mediante un fluorímetro de laboratorio TD 700. Cabe notar que se realizaron los análisis mediante un fluorímetro aparato más adecuado que los espectrofotómetros para las débiles concentraciones encontradas en las aguas marinas tropicales en general.

Los parámetros analizados son los siguientes :

- Clorofila a: es el pigmento principal clorofilico;
- Pheopigmentos. Constituyen un producto de degradación de la clorofila . La tasa Clorofila a/Pheopigmentos es relevante y caracteriza el estado de senescencia de la biomasa fitoplanctónica. Esta fracción permite también comprobar que se conservó bien la muestra.

Cabe notar que debido a errores de manipulación y de problemas de material, los muestreos empezaron solamente a finales de noviembre de 1999. Por otra parte, ciertas muestras no pudieron ser analizadas, debido a una ruptura de la cadena del frío en el laboratorio de Roatán ocasionada por largos cortes de luz. Lo cual explica que ciertos resultados sean idéntificados con la nota “deteriorada”.

4.1.5.2 Estudio cualitativo y semi cuantitativo del plancton

La diversidad específica y la cantidad relativa del fitoplancton y del zooplancton se estudia observando las muestras tomadas con redes elegidas en función del tamaño de las especies planctónicas a tomar. Se trata de redes de 20 µm de luz de malla para el fitoplancton y de redes de 200 µm de luz de malla para el zooplancton.

Los protocolos de muestreo y de acondicionamiento de las muestras aparecen en el Anexo 15.

El muestreo en medio marino costero se efectuó solamente en algunos sitios de mediciones. Efectivamente, ciertos sitios no permitían el muestreo del plancton, por ejemplo a causa de la presencia de macizos coralinos susceptibles de romper las redes.

Aún tomando esas precauciones, numerosos problemas de muestreo aparecieron, principalmente debido a errores de manipulación. Resultó un desgaste prematuro de las redes, y su destrucción final a principios del verano 2000.

La mayoría de las muestras colectadas se mandaron por barco a la Universidad de Bordeaux, para que el Profesor Ricard pudiese proceder a un análisis cualitativo. Desgraciadamente este envío llegó a la Universidad muy recientemente. De hecho la interpretación de estos resultados no se presentara en este informe sino que se hará una nota por separado.

Al contrario de Roatán, no se pudo entregar ninguna lista preliminar del fitoplancton de Guanaja debido a un número insuficiente de muestras disponibles. A título indicativo, se presenta en Anexo 16 la lista preliminar de las Diatomeas de Roatán.

4.1.5.3 Las materias totales en Suspensión

La cuantificación de las materias totales en suspensión, junto a la estimación de la biomasa de fitoplancton y de zooplancton permite diferenciar con una relativa precisión entre las materias detriticas orgánicas no figuradas y minerales, por una parte, y las materias orgánicas figuradas (plancton) por otra parte.

Con este propósito, se necesita seguir una metodología muy estricta y efectuar mediciones muy precisas mediante una balanza al 1/10 mg.

Ya que no existía el equipo de pesada y de desecación adecuado en Roatán, resultó necesario prepesar filtros específicos en Francia y después mandarlos a Roatán para las filtraciones y por fin mandarlos de nuevo a Francia para efectuar la pesada. Se cambiará este procedimiento durante la fase de rutina para permitir un seguimiento de este parámetro en Honduras.

El protocolo de muestreo de las Materias Totales en Suspensión aparece en Anexo 17.

4.2 Análisis global de la calidad de las aguas dulces

4.2.1 Introducción

Los sitios de muestreo se presentan en los mapas n°3a y 3b para la isla de Guanaja. Los sitios de análisis en los ríos están numerados de GD1 a GD27.

A estos sitios de análisis de los ríos conviene añadir también las dos plantas empacadoras de mariscos a las cuales se ha podido dar seguimiento. Estas dos plantas se encuentran en Armadores. Se trata de:

- Mariscos Armadores: esta fabrica empaca esencialmente crustáceos para la exportación;
- Mariscos Isleños: esta fabrica empaca esencialmente crustáceos para la exportación.

La presente parte 4.2 corresponde a una interpretación global de la campaña de mediciones correspondientes a estos 29 sitios.

4.2.2 Contexto climático y geomorfológico

El clima de Guanaja es de tipo subtropical húmedo. La precipitación media en un año es de 2543 mm (promedio efectuado en el periodo estudiado 1951-1993). El año tiene una temporada más lluviosa que empieza en septiembre-octubre y que se termina en enero (ver Figura 2). El verano es generalmente más seca. Estas dos fases climáticas tienen un efecto notable sobre la hidrología de los ríos de Guanaja, aunque la mayor parte de los ríos de Guanaja sean permanentes.

La isla está bajo la influencia de la zona de convergencia de los vientos aliseos, lo cual influye sobre la dirección de los vientos dominantes.

Durante estos últimos cien años, catorce ciclones y ocho tormentas tropicales pasaron cerca de las Islas de la Bahía, siendo el huracán Fifi en septiembre del 1974 y más recientemente el huracán Mitch en Octubre del 1998 los que tuvieron los impactos más importantes.

La temperatura media anual es 27,6°C, con una media mensual que varía de 24,8°C a 30.6°C (ver Figura 2). La humedad media es de un 80 %.

Figura 2 : Evolución de las precipitaciones medias mensuales (serie estadística que cubre el periodo de 1990 a1997)

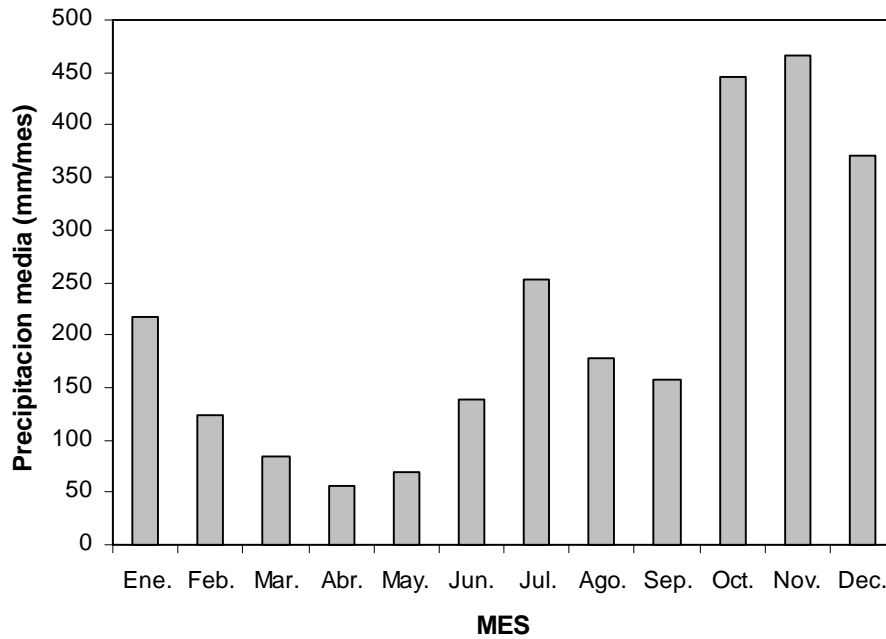
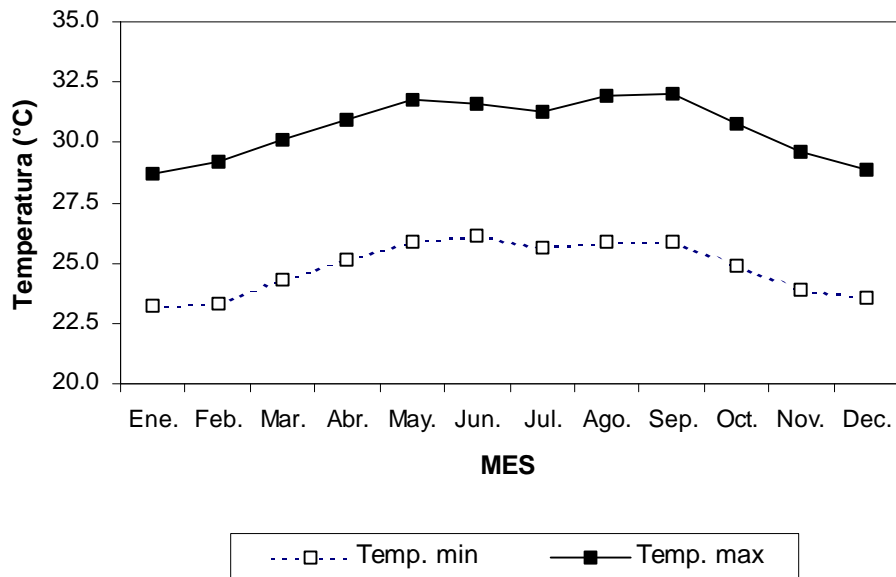


Figura 3 : Evolución de la temperatura media mensual (serie estadística que cubre el periodo 1951 hasta 1973)



El archipiélago de las Islas de la Bahía corresponde a los picos de una cordillera submarina, situada en el fondo de la depresión conocida bajo el nombre de Hondonada Barlett. La isla de Guanaja es una isla metamórfica, con fallas y estructuras anticlinales. El sustrato es, pues lógicamente un medio fisurado, lo cual acondiciona la estructura de los acuíferos de la isla.

Sin embargo, la forma de la isla es menos longitudinal de la de Roatán y la altitud máxima es superior con 415 m en Mickael's Rock Peak contra 220 m en el punto culminante de Roatán. De hecho, se puede suponer que hay una superficie mayor de las cuencas y pendientes fuertes.

4.2.3 Calidad de las aguas de los ríos.

Los resultados obtenidos entre mayo del 1999 y junio del 2000 están presentados en Anexo 18.

Los tres cuadros siguientes toman en cuenta las estadísticas del juego completo de datos de Guanaja entre mayo del 1999 y junio del 2000. Se han calculado el promedio, la desviación estándar, el mínimo y el máximo de cada parámetro.

Cuadro 9: Valores estadísticos de los parámetros fisicoquímicos de las aguas continentales de Guanaja

Parámetro	Caudal (l/s)	Temp. (°C)	pH	Conductividad (mS/cm)	Salinidad (ppt)	O2 (mg/l)	Turbidez (FTU)	MES (mg/l)
Número de mediciones	282	301	277	320	187	300	289	68
Media	20.2	27.7	7.3	1.43	1.21	5.9	6.2	17.1
Desviación estándar	44.2	2.7	0.6	5.5	4.5	2.6	11.6	20.3
Min.	0	22.8	5.7	0.0721	0	0	0	2
Max.	500	35.8	9.18	48.3	31.2	18.4	101	110

Cuadro 10 : Valores estadísticos de los parámetros nutritivos y bacteriológicos de las aguas continentales de Guanaja

Parámetro	NO3-N (mg/l)	NH4-N (mg/l)	PO4-P (mg/l)	Ptot (mg/l)	DBO5 (mg/l)	DQO (mg/l)	Col. Fecales (Nb/ml)	Col. Totales (Nb/ml)
Número de mediciones	117	102	151	127	124	16	103	103
Media	0.26	0.58	0.21	0.22	10.56	35.25	4.0E+04	4.5E+05
Desviación estándar	0.21	0.99	0.36	0.36	21.38	37.24	3.0E+05	3.0E+06
Min.	0.1	0.01	0.01	0.05	0	10	0.0E+00	0.0E+00
Max.	1.5	4.3	2.28	2.42	95	150	3.1E+06	2.8E+07

Cuadro 11 : Valores estadísticos de las concentraciones de metales pesados de las aguas continentales

Parámetro	Fe (mg/l)	Cd (mg/l)	Zn (mg/l)	Sn (mg/l)	Cu (mg/l)	Pb (mg/l)
Número de mediciones	9	3	8	8	7	6
Media	0.86	0.01	0.57	0.15	0.19	0.73
Desviación estándar	0.50	0.02	0.32	0.06	0.08	0.68
Min.	0.37	0	0.27	0.1	0.1	0.12
Max.	1.93	0.036	1.26	0.28	0.3	1.99

4.2.3.1 Hidrología e hidrogeología

La isla de Guanaja recibe un promedio de lluvia más importante que Roatán. Esto puede explicarse por el hecho de que Guanaja tiene a una altitud mayor que Roatán.

En lo que se refiere a las cuencas, por lo general, las cuencas de Guanaja son más grandes que las de Roatán: la superficie media de las cuencas de Guanaja es de 170 hectáreas mientras que la de Roatán tan sólo es de 120 hectáreas.

La unión de estos dos factores puede explicar porque la mayor parte de los ríos de Guanaja son permanentes. De los 20 ríos estudiados, 13 son permanentes mientras que tan sólo son 3 en Roatán.

Esta abundancia en agua superficial explica también por qué los sistemas de aducción de agua potable de las principales comunidades de Guanaja (Bonacca, Savannah Bight, Mangrove Bight y Armadores/ El Pelicano) estriban en una red de pequeñas presas y no en una red de pozos. De momento los recursos en agua superficial son suficientemente abundantes como para no pensar en utilizar, en un futuro cercano, los recursos subterráneos.

La campaña de análisis no permitió identificar los tiempos de subida y de decrecimiento de los picos de las crecidas así como su amplitud. Sin embargo, parece ser probable de que el tiempo entre las dos fases sea muy corto por dos razones:

- Los ríos de Guanaja tienen en general pendientes importantes;
- La vegetación sufrió daños importantes por el paso del huracán Mitch. Richard y Mathys (1999) han mostrado que el tiempo de subida de los picos de crecida y la amplitud de éstas se reducían de manera importante cuando la cuenca era cubierta por una vegetación abundante. En lo que se refiere a la isla de Guanaja, esta constatación es seguramente selectiva (todas las cuencas no fueron afectadas de la misma manera), pero globalmente sigue siendo exacta.

4.2.3.2 Temperatura

Salvo excepción, la temperatura del agua de los ríos se aproxima mucho a la de la temperatura del aire, por lo menos cuando los ríos presentan un caudal. Por una parte esta constatación pone en evidencia un tiempo de permanencia de las aguas corto y por otra parte la preponderancia de los aportes mediante escorrentía sobre los aportes que provienen de las capas freáticas.

4.2.3.3 Salinidad y conductividad

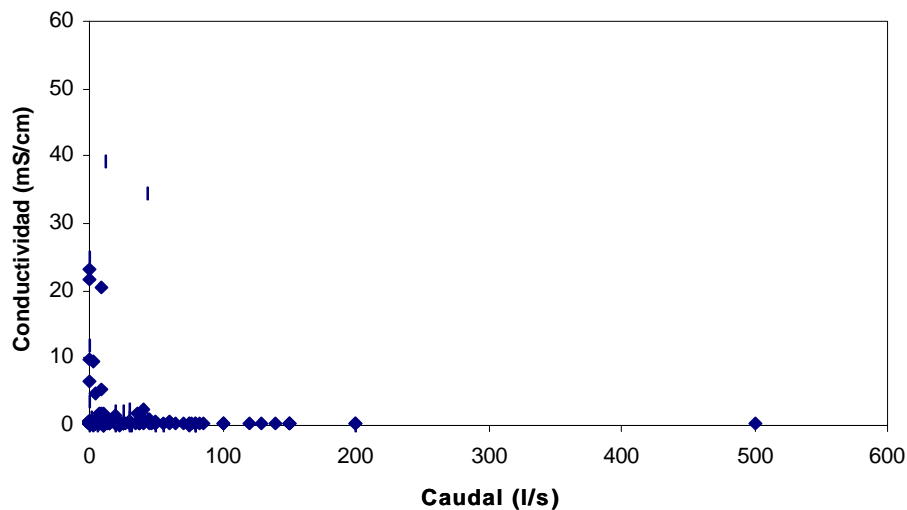
La salinidad y la conductividad están intrínsecamente vinculadas. De modo que después de haber averiguado que las mediciones tomadas con el salinómetro y con el conductímetro eran comparables, se decidió que tan sólo se analizaría la conductividad.

Se destaca que la conductividad, por lo general, sigue siendo moderada salvo mediciones hechas en la desembocadura de los ríos. En dicho caso, se mezclan de una manera más o menos importante las aguas dulces con el agua de mar, lo cual lleva artificialmente a valores de conductividad altos. Este problema se manifiesta cuando se trata de ríos que no corren pero que siguen estancados por el mero hecho de que su lecho está situado bajo el nivel del mar. Cuando ocurría semejante caso durante la campaña de mediciones, los análisis in situ se seguían haciendo a fin de ver cómo evolucionaba en el tiempo la calidad del agua. Se observa una repartición muy lógica de las conductividades según si el caudal es de nulo o superior a cero

como lo muestra la Figura 4. Dicha figura se fundamenta en los resultados de la campaña de mediciones efectuada entre mayo del 1999 y junio del 2000. Las fuertes conductividades se obtienen esencialmente cuando el caudal es nulo y en totalidad en la desembocadura de los ríos.

Los casos en que hay conductividad y caudales simultáneamente fuertes corresponden sin duda a algunos errores de muestreo (un muestreo hecho demasiado río abajo, por lo tanto en el agua de mar).

Figura 4: Correlaciones entre el caudal y la conductividad de los ríos de Guanaja



4.2.3.4 Oxígeno disuelto y pH

Aquí estos dos parámetros están juntos ya que ambos dependen de los equilibrios químicos en la columna de agua y más particularmente de las contaminaciones en materias orgánicas y de la producción primaria. Además estos parámetros son fundamentales porque condicionan la presencia bajo la forma iónica y en partículas de muchos compuestos, entre los cuales los nutrientes y los metales pesados.

Cuando los caudales son significativos, las concentraciones de oxígeno son poco diferentes de la saturación en un entorno no contaminado y generalmente más bien en subsaturación cuando hay presencia de materia orgánica.

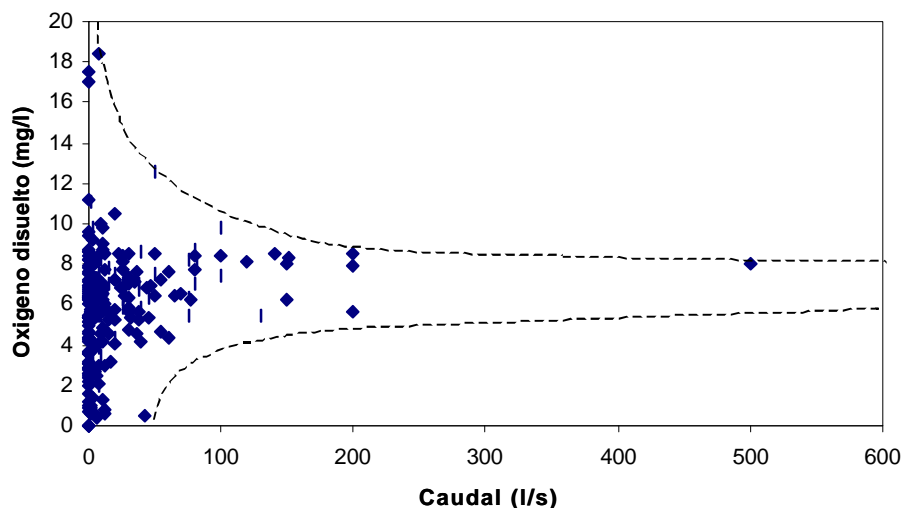
A veces los ríos no permanentes tienen agua aunque no corran. En este caso, la calidad del agua es a menudo muy variable por las condiciones meteorológicas, los desechos contaminantes que la afectan y por la producción primaria. Se nota más particularmente una gran variabilidad de las concentraciones de oxígeno disuelto y del pH. La Figura 5 muestra por ejemplo que las concentraciones más bajas de

oxígeno disuelto se alcanzan con un caudal débil o nulo. Este fenómeno se explica fácilmente por la acción conjunta:

- De una concentración más fuerte de contaminantes;
- De una extensión del tiempo de permanencia, idóneo para la descomposición de la materia orgánica;
- De una reoxigenación menor del agua dado el débil nivel de turbulencia.

Las concentraciones importantes de oxígeno disuelto también corresponden a débiles caudales. Este fenómeno está directamente vinculado a la producción primaria. Dicha producción primaria tan sólo puede ser significativa cuando el tiempo de permanencia de las aguas es suficientemente largo, entonces si el caudal es limitado. Así se puede observar picos de sobresaturación en oxígeno disuelto.

Figura 5: Correlación entre la concentración de oxígeno disuelto y el caudal en los ríos de Guanaja



Se puede considerar en un primer enfoque que existe una competición entre la producción de oxígeno disuelto por la biomasa algal y su consumo durante la oxidación de la materia orgánica (que sea de origen antrópico o directamente vinculada a la biomasa algal). En función de los casos y de las tasas de contaminantes, la concentración de oxígeno disuelto será inferior o superior al umbral de saturación. El porcentaje de saturación también depende de cuándo se realizó la medición. En efecto, la biomasa algal produce de manera más o menos importante oxígeno durante el día, y su respiración consume el oxígeno durante la noche.

Cabe notar que las concentraciones más débiles de oxígeno se encuentran cuando el caudal es nulo, lo cual limita los eventuales riesgos en lo que se refiere a la contaminación de las aguas marinas costeras. La instalación de la anoxia a la interfase agua /sedimento es particularmente perjudicial porque conduce a una liberación de compuestos reducidos tal y como los metales pesados y también permite la liberación de parte del fósforo.

Si se analiza la correlación que existe entre el caudal y el pH se puede considerar que de la misma manera que con el oxígeno disuelto, el pH es sobre todo variable con un caudal débil. Entonces se sitúa entre 5.7 y 9.2 (ver Figura 6), mientras que globalmente está incluido entre 6.5 y 8.25 cuando el caudal supera 10 l/s. La amplitud de las variaciones del pH caracteriza aguas media a débilmente alcalinas, lo cual es clásico para países tropicales.

Los valores más fuertes obtenidos con un caudal débil están probablemente vinculados a una actividad fotosintética importante en la columna de agua. En efecto estos valores se observan de manera concomitante con picos de concentración de oxígeno disuelto, que forman parte también de las características de una fuerte producción primaria (ver Figura 7).

Además los pH más débiles se obtienen con un caudal débil y corresponden probablemente a unas aguas contaminadas por aportes de materias orgánicas, puesto que se observan al mismo tiempo con fuertes bajo saturación de oxígeno disuelto (ver Figura 7).

Figura 6 : Correlación entre el pH y el caudal en los ríos de Guanaja

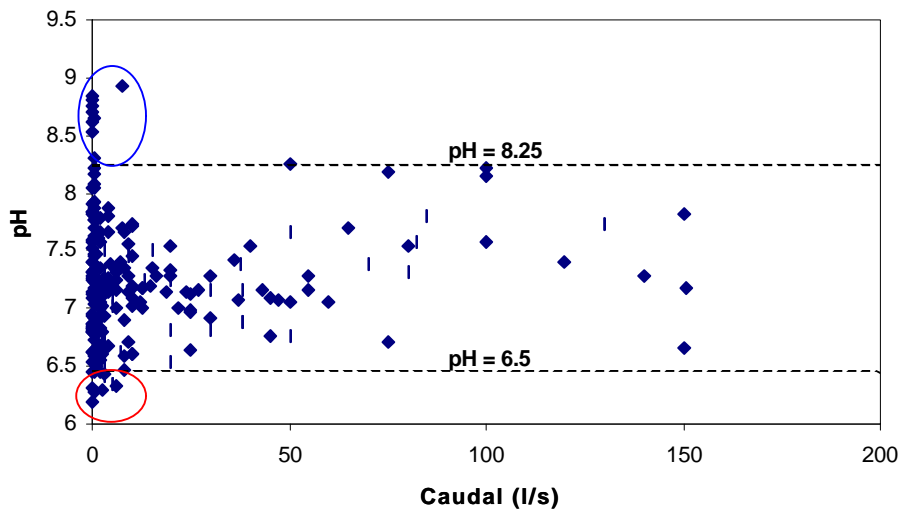
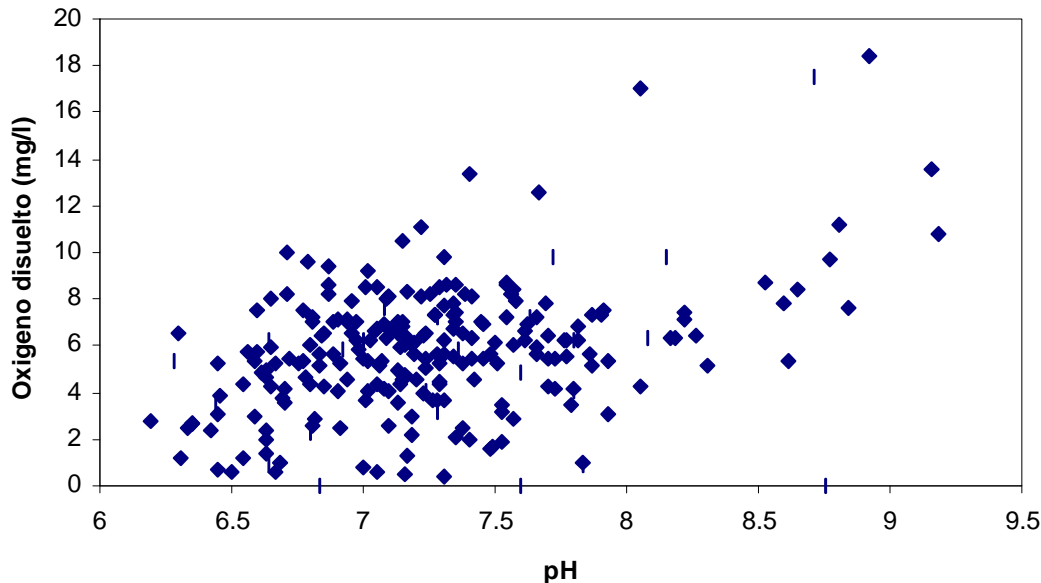


Figura 7: Correlación entre el pH y la concentración de oxígeno disuelto en los ríos de Guanaja



4.2.3.5 Turbidez y MES

La turbidez es un parámetro más integrativo que la concentración de Materia En Suspensión. En este sentido resulta más difícil de interpretar puesto que depende a la vez de las materias en suspensión, de las materias coloidales y de la coloración del agua.

La turbidez y los MES no parecen estar muy vinculados al caudal, ya que no se ha podido poner de relieve ninguna correlación sencilla. Ahora bien, si se puede suponer que la turbidez depende de los aportes contaminantes recibidos por los ríos y por lo tanto tan sólo dependería del caudal, se habría podido esperar tener picos de MES cuando el caudal es importante. Esto es tanto más cierto en cuanto que Guanaja posee todos los elementos idóneos para una fuerte erosión de los suelos. Si las cuencas poseen fuertes pendientes y si los suelos son desnudos debido a un uso sin control del suelo y debido también al paso del huracán Mitch a finales de octubre de 1998.

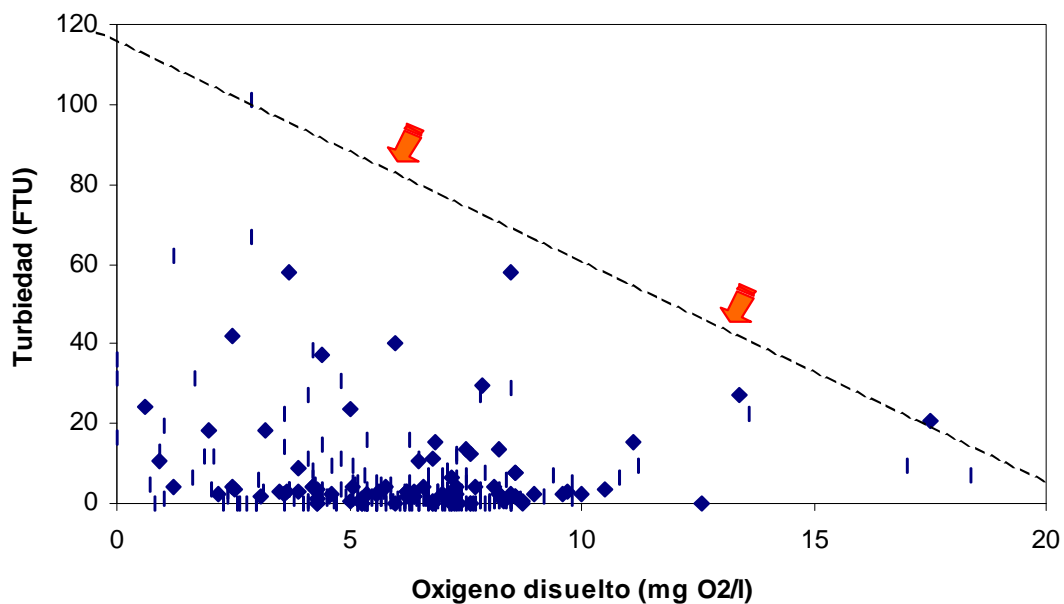
De hecho, la campaña, tal y como estaba prevista contractualmente, no permitía seguir con todos los pormenores todos los procesos de erosión y de transporte sólido y las misiones mensuales, por lo general, pasaron al lado de los episodios lluviosos más significativos. Ahora bien, era casi imposible completar los datos de la campaña de medición por seguimientos puntuales. En efecto, a diferencia de Roatán, no hay un equipo que se quede permanentemente en Guanaja. Además, allí las condiciones

de desplazamiento son mucho más difíciles que en Roatán por el mero hecho de que casi no se encuentran carreteras o pistas y que también el relieve es mucho más accidentado. Por fin, los ríos más caudalosos se sitúan en los sectores poco urbanizados, y no resultó posible apoyarse en los habitantes de la isla como para poder superar estos diferentes obstáculos.

Para paliar esta falta de datos, habrá que basarse en el balance de flujo de transporte sólido que vendrá presentado en el próximo informe sobre las recomendaciones de lucha contra las contaminaciones.

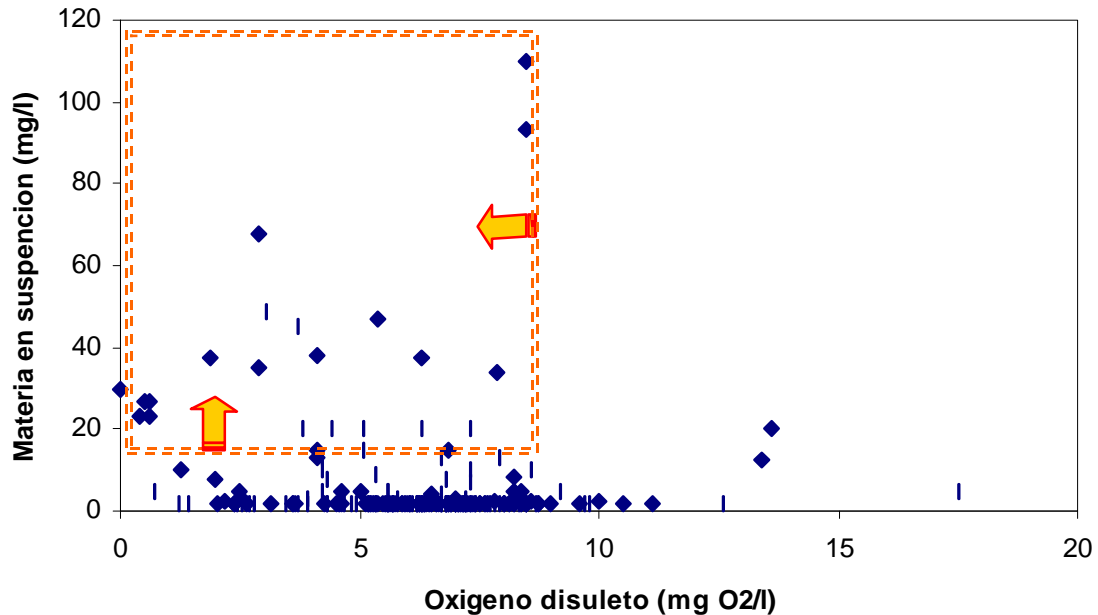
En lo que se refiere a la turbidez y a las MES, se pueden, no obstante, establecer algunas correlaciones. Se nota especialmente que las turbideces más fuertes se obtienen con concentraciones bajas de oxígeno disuelto, lo cual hace pensar que resulta de los aportes contaminantes recibidos (ver Figura 8).

Figura 8: Correlación entre la turbidez y las concentraciones de oxígeno disuelto en los ríos de Guanaja.



Además, los valores más fuertes obtenidos para las MES corresponden sensiblemente a concentraciones de oxígeno disuelto inferiores o iguales a la saturación (ver Figura 9). Este resultado es coherente en la medida en que las sobresaturaciones de oxígeno disuelto son, a priori, asociadas a una extensión del tiempo de permanencia y por lo tanto a un débil transporte sólido.

Figura 9 : Correlación entre la concentración de MES y la concentración de oxígeno disuelto en los ríos de Guanaja



4.2.3.6 Materia orgánica

Para estudiar las concentraciones de materia orgánica, se analizaron varios parámetros y primero la DQO. Esta caracteriza el conjunto de la demanda de oxígeno y por eso no integra únicamente las materias orgánicas. Por cierto la DBO5 que corresponde a la fracción biodegradable de la DQO es un indicador mucho mejor en cuanto a la carga en materia orgánica, por eso se le dio seguimiento.

En fin, la diferencia entre el fósforo total y los ortofosfatos corresponde sensiblemente a la fracción orgánica del fósforo. Se abordará este punto en el párrafo 4.2.3.7 que atañe a los nutrientes.

Si se consideran los resultados obtenidos para la DQO, destaca primero que salvo algunos sitios como en Savannah Bight, Armadores, o en Mangrove Bight los valores a menudo se aproximan o son inferiores al umbral de precisión del método de evaluación de este parámetro (10 mg/l para el método con el dicromato de potasio).

Esto podría inducirnos a creer que las concentraciones de materias orgánicas son más bien débiles en las aguas dulces.

Sin embargo, cabe ser prudente. En efecto el número de mediciones disponibles no es suficiente como para caracterizar un agua desde el punto de vista de un

parámetro no conservativo y variable en concentración como la DQO. No resulta, pues, posible caracterizar las aguas superficiales de Guanaja ateniéndose únicamente a los análisis de DQO realizados.

Los análisis de DBO5 son más importantes. Como para la DQO, fueron realizados en prioridad en los sitios que puedan recibir cargas importantes de materias orgánicas.

Se apunta que las concentraciones son más bien elevadas en los sitios localizados río abajo de las comunidades y de las zonas de ganadería y más bien débiles en los demás sitios.

Valores muy elevados se consiguen de esta forma a nivel de Armadores, Mangrove Bight y Savannah Bight. Estas concentraciones significativas se encuentran directamente vinculadas a los aportes contaminantes de las comunidades concernientes, debido a una tasa de depuración muy débil.

Como una parte importante de las contaminaciones provienen directamente del mar sin pasar por un río, la situación es, de hecho, aún más desfavorable de lo que se podría pensar refiriéndose a los datos.

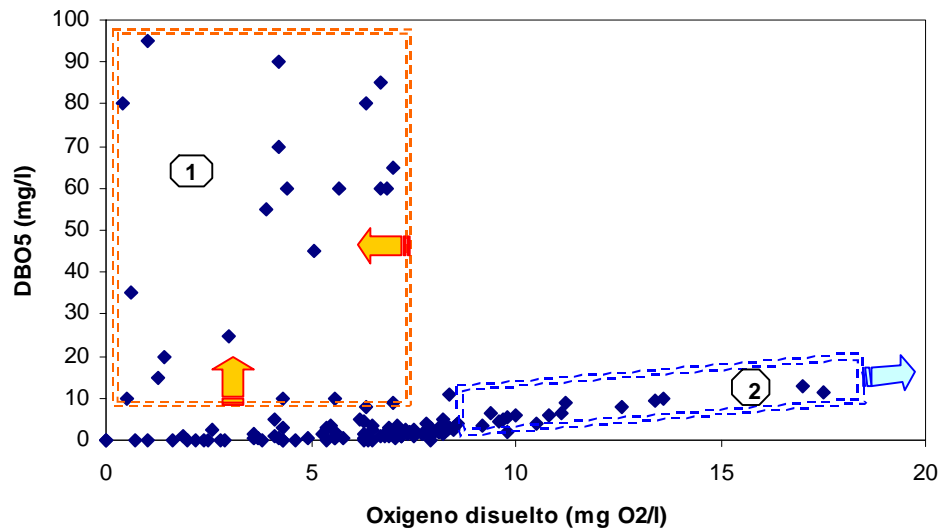
Es importante señalar que la DBO5 puede ser baja incluso en presencia de materia orgánica en concentración significativa. En efecto, la presencia, en gran cantidad, de compuestos tóxicos puede inhibir el desarrollo bacteriano y así hacer bajar artificialmente el resultado obtenido.

Por lo tanto las mediciones efectuadas no deben servir para cuantificar los flujos de materias orgánicas que llegan al medio marino.

Sólo un balance por cuenca permitirá dar una estimación sobre el flujo de materia orgánica que efectivamente llega al medio marino. Se presentará este trabajo en el próximo informe sobre las recomendaciones de lucha contra las contaminaciones.

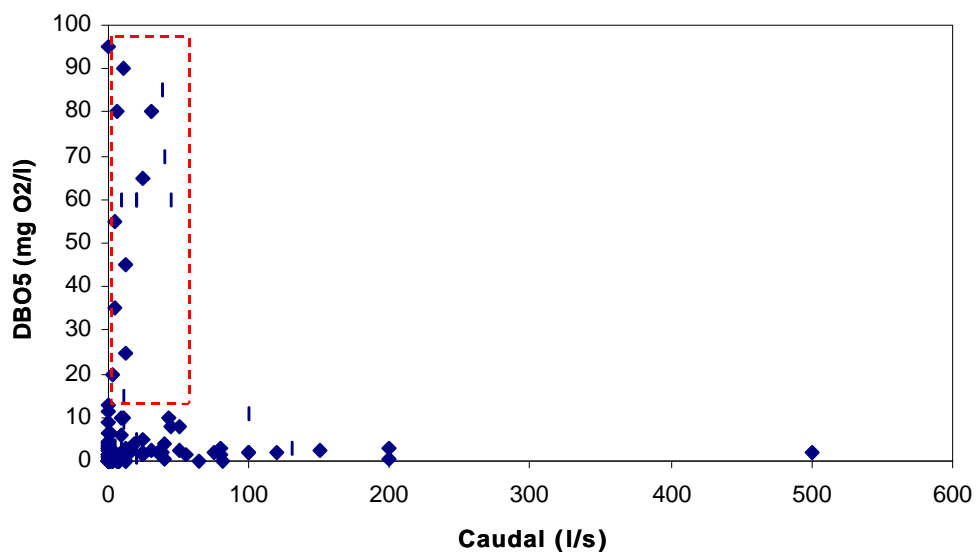
Se cruzaron las mediciones de DBO5 con las concentraciones de oxígeno disuelto (ver Figura 10). Se constata con bastante lógica que los valores más elevados en DBO5 corresponden a subsaturaciones de oxígeno disuelto (sector 1 de la Figura 10). En fin, las sobresaturaciones de oxígeno disuelto corresponden a DBO5 medias (sector 2 de la Figura 10). Esta DBO5 está probablemente vinculada a la biomasa algal que conduce a sobresaturaciones de oxígeno disuelto, mientras que la DBO5 del sector 1 está seguramente vinculada a los aportes contaminantes de los efluentes y de la ganadería.

Figura 10: Correlación entre la concentración de oxígeno disuelto y la de DBO5 en los ríos de Guanaja



La concentración de DBO5 aparece vinculada al caudal, tal y como lo muestra la Figura 11. Las concentraciones de DBO5 superiores a 15 mg/l se obtienen para un caudal inferior a 50 l/s. Más allá de este límite la DBO5 es cada vez más débil cuando el caudal aumenta, lo cual traduce un fenómeno de dilución (cuidado, se trata aquí de una tendencia global a la escala de Guanaja que no se puede transponer a un sitio particular). Esto confirma que la DBO5 es esencialmente de origen antrópico.

Figura 11 : Correlación entre la DBO5 y el caudal en los ríos de Guanaja



4.2.3.7 Nutrientes

Se trata esencialmente de los nutrientes que provocan el fenómeno que ahora se conoce muy bien: la eutroficación. Este ha sido demostrado experimentalmente por el profesor Schlinder a principios de los años 1970 (Schlinder, 1974).

Los parámetros analizados son los ortofosfatos y el fósforo total, los nitratos y el amonio.

1. **Fósforo**

Las concentraciones de ortofosfatos son a menudo importantes y son características de sistemas potencialmente eutróficos a hipereutróficos. Se obtienen los valores más elevados en los sitios contaminados por contaminaciones urbanas.

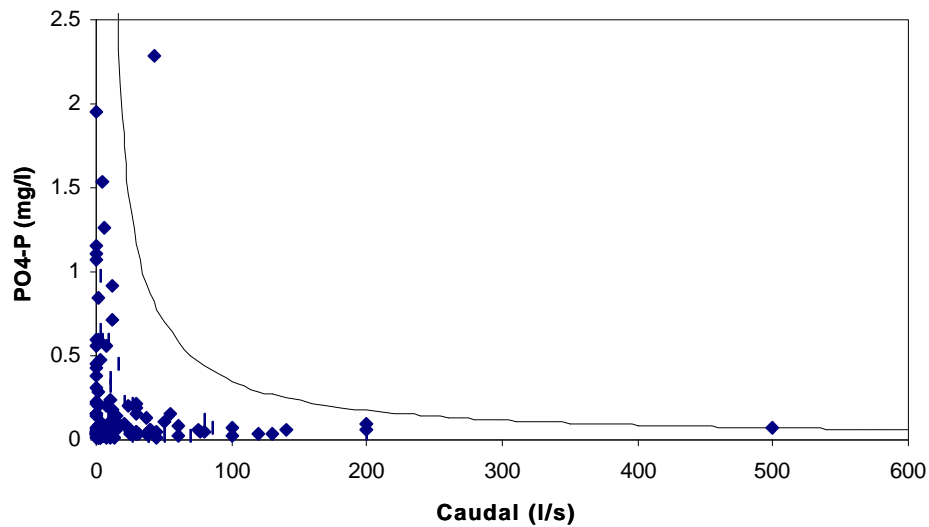
El promedio de los valores obtenidos en el muestreo de las aguas de Guanaja es de 107 $\mu\text{g PO}_4 \text{ P/l}$ cuando está ponderado por los caudales, ó sea alrededor de 10 veces el umbral más allá del cual se considera que existe un riesgo de eutroficación de las aguas dulces (este umbral depende por supuesto de otros parámetros como el tiempo de permanencia. Véase Lafforgue, 1990, para más información al respecto).

Esta media también es significativa si se la compara con las concentraciones características de las aguas de lagunas supuestamente contaminadas (50 $\mu\text{g total/l}$ según Sorokin, 1995), o con las concentraciones consideradas normales en el lugar de los arrecifes del Caribe (<6 $\mu\text{g P/l}$ según el modelo mexhab realizado por la Universidad James Cook en la zona Caribe). Desde luego, importantes concentraciones en las aguas dulces no significan un impacto significativo en el medio marino costero porque este impacto depende a la vez de los flujos transportados y de la dilución que intervendrá en el lugar del medio receptor (se estudiará el balance de los flujos de fósforo en el próximo informe sobre las recomendaciones de lucha contra las contaminaciones). Además parece ser que la mayor parte de los aportes de fósforo esté directamente vinculada a las actividades humanas y que, si la concentración media es casi tres veces inferior a la de Roatán, se puede explicar principalmente esta diferencia por una hidrología diferente y también por aportes diferentes en contaminantes. Se consiguen los valores más débiles en ortofosfatos (aunque sean elevados si se comparan con los criterios de eutroficación) en los ríos de mayor caudal (especialmente los ríos GD1, GD13 y GD14) porque la dilución es mucho mejor que en otros sitios pero también se obtienen en ríos en que la actividad antrópica es menor (ríos GD5, GD7 y GD8).

Dado el valor límite conseguido en ríos que se supone que no reciben contaminación humana o animal, se puede observar que las concentraciones de ortofosfatos son, en gran parte, de origen natural (lixiviación de los suelos) y la mayoría de ellas vinculadas a las contaminaciones domésticas y a la ganadería. Es difícil definir la fracción natural puesto que varía sin duda de un sitio de la isla a otro.

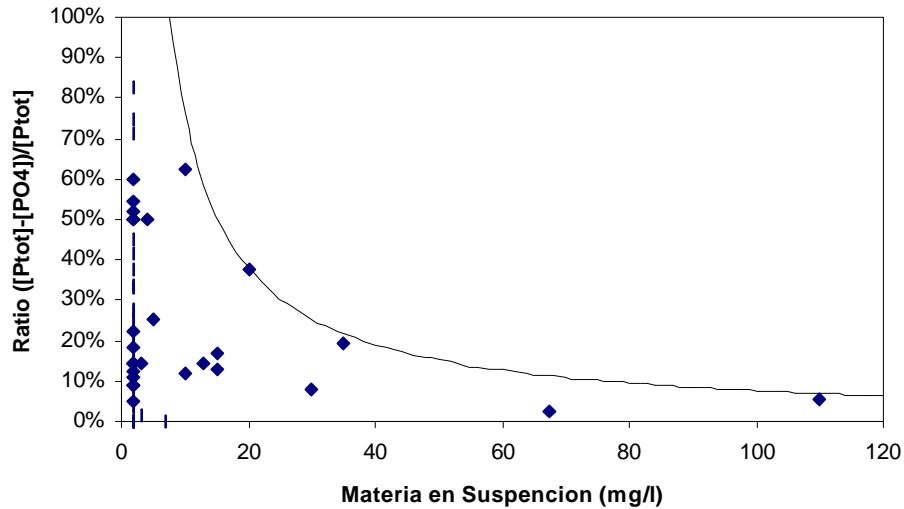
Las concentraciones de ortofosfatos aparecen globalmente vinculadas a los caudales como lo muestra la Figura 12 (la curva en punteado corresponde a una ley de dilución teórica indicativa). Esto confirma que la mayor parte de los ortofosfatos provienen de las actividades antrópicas. Si no fuera el caso, el conjunto de los valores bajaría menos rápidamente que una ley de dilución porque parte de los aportes estaría vinculada a la lixiviación de los suelos no urbanizados.

Figura 12 : Correlación entre la concentración de ortofosfatos y el caudal en los ríos de Guanaja.



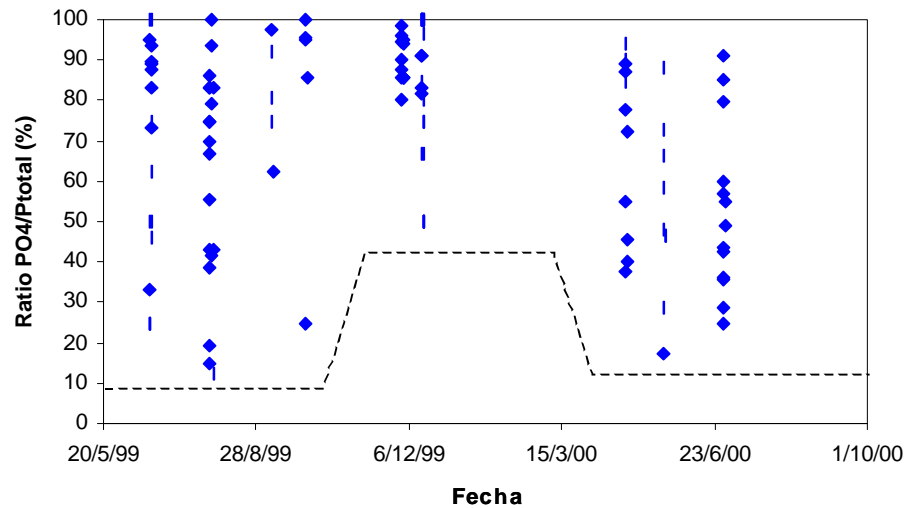
Se considerará que la diferencia entre el fósforo total y los ortofosfatos corresponde sensiblemente al fósforo orgánico. El porcentaje de fósforo orgánico aparece inversamente correlacionado a las concentraciones de MES (ver Figura 13), correspondiendo la curva en punteado a una ley de proporcionalidad inversa en 1/X. Dado que el fósforo es esencialmente de origen antrópico, esto tiende a mostrar que las MES están principalmente vinculadas a la lixiviación de los suelos sin urbanización.

Figura 13: Correlación entre el porcentaje de fósforo orgánico y las concentraciones de MES en los ríos de Guanaja



Además si se analiza la distribución temporal de las tasas PO₄/P total (ver Figura 14), destaca que esta fracción se sitúa entre un 50 y 100 % durante la temporada de lluvia mientras que varía entre un 10 y un 100 % durante la temporada seca.

Figura 14: Evolución temporal de la tasa PO₄/Ptotal en los ríos de Guanaja (menos los resultados conseguidos con un caudal nulo)



Semejante diferencia traduce primero el impacto importante de la dilución de las materias orgánicas de origen antrópico durante el periodo de lluvias. También muestra que hay diferenciación entre los ríos que reciben una contaminación

importante y las que no están contaminadas. Esta diferencia es mucho más importante con un caudal fuerte, lo cual resulta normal.

2. Nitrógeno

En la mayor parte de los casos, las concentraciones de nitratos siguen siendo débiles (con una media de 0,26 mg NO₃-N/l), lo cual resulta normal para hidrosistemas tropicales. En tal contexto, la única fuente potencialmente importante de nitratos está vinculada a las actividades humanas (agricultura, efluentes domésticos, contaminaciones animales...). Ahora bien, si se consideran las contaminaciones correspondientes en la isla de Guanaja, se puede constatar que:

- Se suelen utilizar muy poco los abonos en la isla;
- Las contaminaciones que provienen de los efluentes de la ganadería están localizadas en un pequeño número de cuencas de Guanaja;
- Las contaminaciones que provienen de los efluentes urbanos traen ante todo nitrógeno bajo forma orgánica y bajo forma de amonio. Las bacterias nitrificantes transforman parte del NH₄ en NO₃. Este proceso necesita un mínimo de tiempo para ser significativo. Ahora bien, las cuencas son más bien de pequeñas dimensiones y los sitios de contaminación están casi todos localizados cerca del mar. Entonces, la nitrificación tendría que ser baja río arriba de los puntos de medición.

Las concentraciones más bien débiles de nitratos que se consiguen en el conjunto de los sitios vienen a sustentar el razonamiento anteriormente citado.

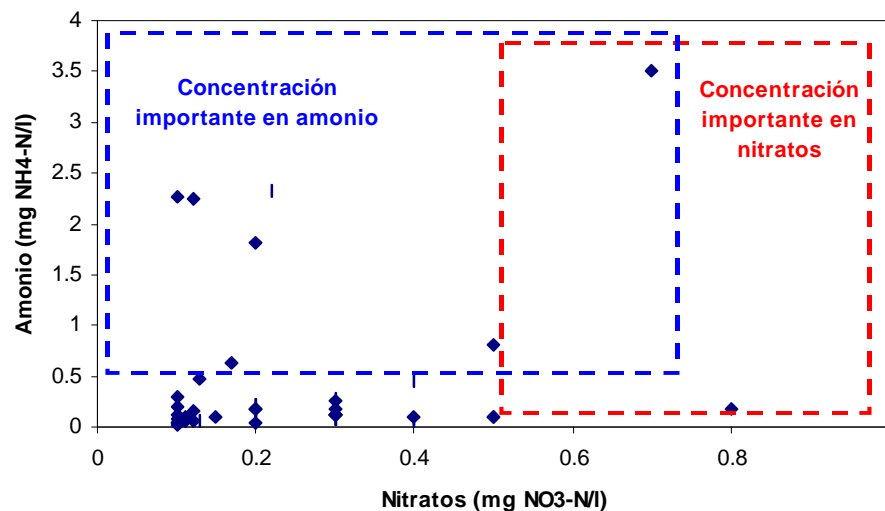
Las concentraciones de nitratos son en promedio inferiores en las aguas de Guanaja que en los ríos de Roatán. Se interpretará esta diferencia en el próximo informe sobre las recomendaciones para la reducción de las fuentes de contaminación.

Además, siendo débil el aumento de las concentraciones de nitratos en el lugar de los sitios localizados río abajo de comunidades urbanas, de ahí se puede deducir que la autodepuración es escasa en los ríos correspondientes, por lo menos cuando los ríos tienen un caudal. En dicho caso, la degradación de las materias orgánicas y la nitrificación del amonio se efectúan principalmente en el medio marino, lo cual plantea además algunos problemas cuando estos procesos intervienen en bahías de escasa recirculación de aguas.

Cabe notar, que a diferencia de Roatán, existe una buena concordancia entre los picos de concentración de amonio y las subsaturaciones de oxígeno disuelto (ver Figura 17). El tiempo de permanencia de las aguas sería, pues, insuficiente para que bajara la concentración de oxígeno disuelto, pero no suficiente para que el proceso de nitrificación fuese significativo.

Los resultados que se obtienen, si se cruzan las concentraciones de nitratos y de amonio, confirman también este diagnóstico (ver Figura 15). En efecto, sólo existe un caso de caudal no nulo que corresponda a la vez a concentraciones elevadas de nitratos y de amonio (superiores a 0,5 mg N/l). Se trata del sitio ubicado río abajo de Armadores que está muy cargado en aguas negras y del cual el caudal es muy débil. Eso explica que un principio de nitrificación haya podido ocurrir.

Figura 15 : Correlación entre las concentraciones de nitratos y de amonio en los ríos de Guanaja (menos los resultados obtenidos con un caudal nulo)



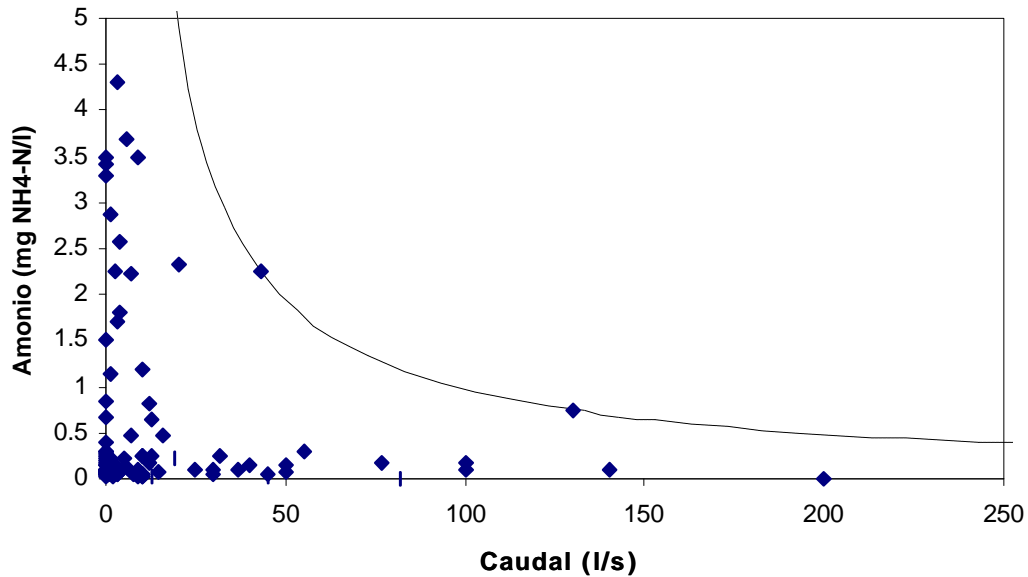
Se constata, pues, que casi nunca hay recubrimiento entre los picos observados en nitratos y en amonio, cuando fluyen los ríos.

Así cuando las concentraciones de amonio superan 1mg N/l (esencialmente en los sectores urbanizados como Savannah Bight o Armadores), la actividad de nitrificación sólo interviene durante un lapso de tiempo muy corto río arriba de la desembocadura de los ríos excepto con caudales muy débiles, y la tasa $[NH_4]/[NO_3]$ sigue siendo entonces significativamente superior a 1.

Se observa en la Figura 16 que los picos de concentración de amonio se encuentran principalmente con un caudal débil.

Indudablemente, hay dilución de los efluentes durante la temporada de lluvia porque los valores se reparten estadísticamente bajo la curva punteada, que corresponde a una ley de dilución teórica indicativa. Se trata por supuesto de una tendencia global indicativa que no se puede transponer a un caso en particular.

Figura 16: Correlación entre las concentraciones de amonio y los caudales en los ríos de Guanaja



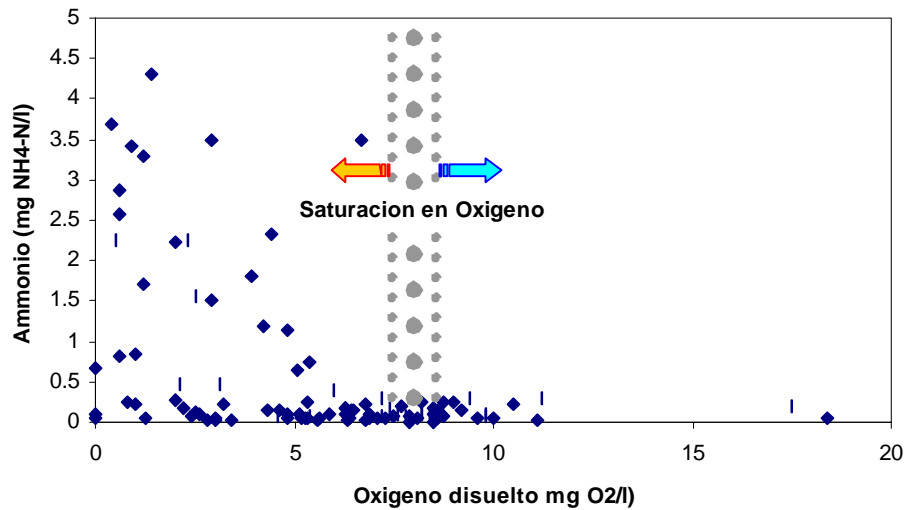
Las concentraciones de amonio pueden ser fuertes en las cuencas urbanizadas mientras que siguen siendo razonables en las cuencas poco antrópicas.

Por eso, existe una buena correlación entre los picos de concentración de amonio y las subsaturaciones de oxígeno disuelto, como lo prueba la Figura 17.

Esto traduce que los picos de amonio son concomitantes con aportes importantes en materias orgánicas de los efluentes urbanos.

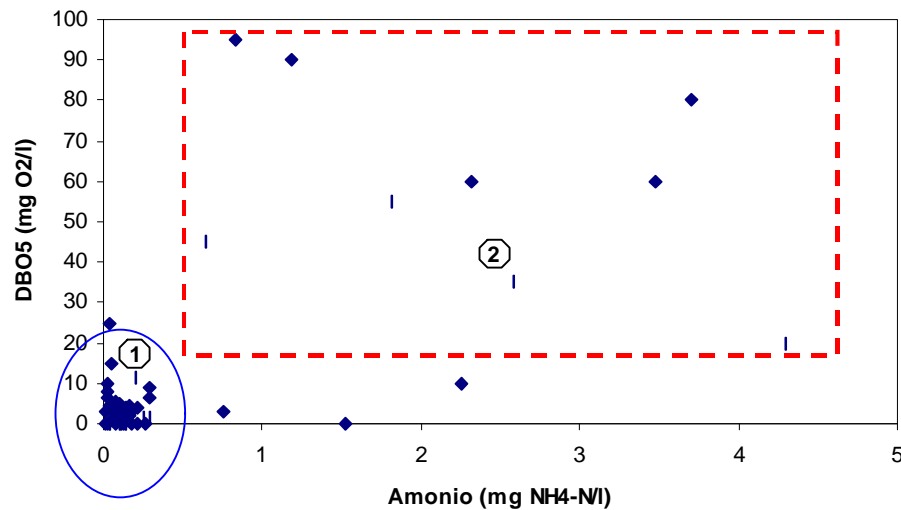
Estos aportes en materias orgánicas llevan un agua que carece de oxígeno como lo muestra la Figura 10. De hecho, las subsaturaciones en oxígeno disuelto son a la vez la consecuencia de la mezcla de las aguas de los ríos con las aguas anóxicas de los efluentes urbanos, pero también del consumo del oxígeno durante la mineralización de la materia orgánica (aunque esta oxidación sólo intervenga de manera parcial en los ríos).

Figura 17: Correlación entre las concentraciones de amonio y de oxígeno disuelto en los ríos de Guanaja



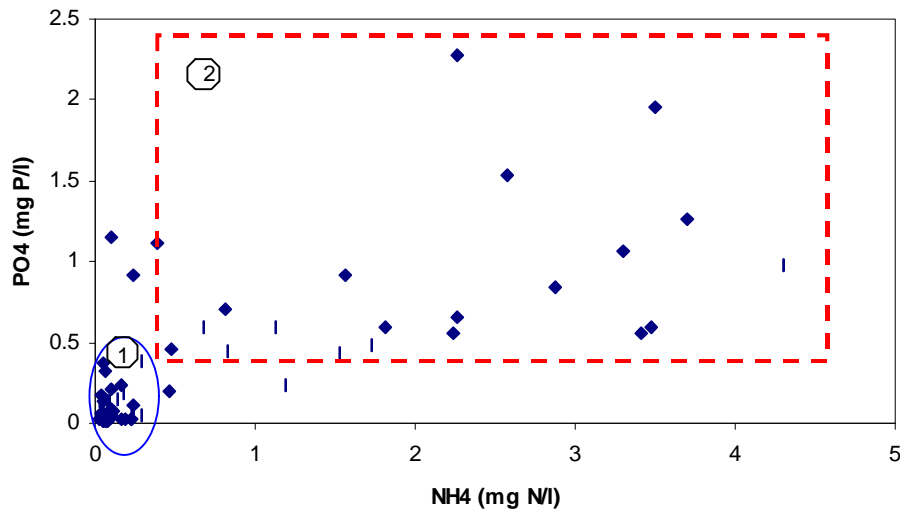
La figura 18 confirma que los picos de amonio están correlacionados con fuertes cargas de DBO5. Así, se pueden clasificar los datos correspondientes en dos grupos principales. El grupo 1 de la Figura 18 corresponde a sitios localizados río abajo de las cuencas poco o no antrópicas, presentando éstos a la vez débiles concentraciones de NH4 y de DBO5. Al contrario el grupo 2 corresponde a sitios antrópicos, principalmente caracterizados por residuos urbanos importantes, que se acompañan de fuertes concentraciones de amonio y de DBO5, y por una subsaturación de oxígeno disuelto.

Figura 18: Correlación entre la concentración de amonio y de DBO5 en los ríos de Guanaja



Es posible tener el mismo tipo de enfoque cuando se comparan las concentraciones de amonio y de ortofosfatos (Figura 19)

Figura 19: Correlación entre las concentraciones de amonio y de ortofosfatos en los ríos de Guanaja



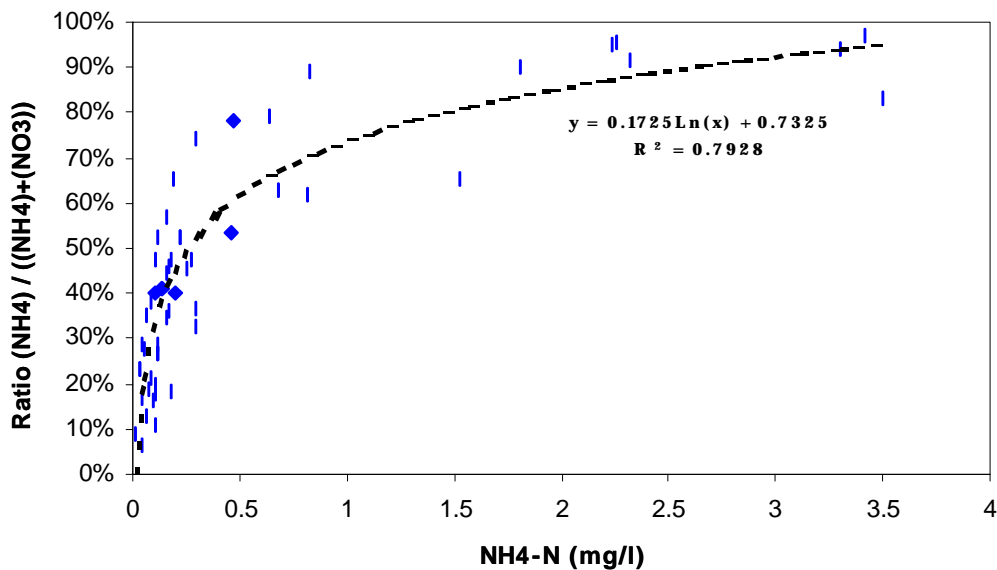
Los nitritos corresponden a un intermediario de reacción y normalmente no tienen que encontrarse en concentraciones importantes en las aguas superficiales. Entonces, se supondrá que la concentración de nitritos es por lo menos inferior a la de las otras formas de nitrógeno mineral (factor 10).

Así, si se suman los nitratos al amonio, se obtienen sensiblemente las concentraciones de nitrógeno mineral. Con esta hipótesis, se representa en la Figura 20 la proporción del amonio en el balance del nitrógeno así obtenido. La curva punteada corresponde a una curva ajustada a los datos.

La Figura 20 muestra que a diferencia de Roatán, son numerosos los casos para los cuales hay una proporción más importante de amonio que de nitratos. Esta constatación es a la vez la consecuencia:

- De una concentración globalmente más débil en nitratos en las aguas dulces de Guanaja que en las de Roatán;
- De que una mayor proporción de los sitios de análisis está localizada río abajo de las cuencas antrópicas en Guanaja que en Roatán. Esto no implica que las contaminaciones tengan un impacto más importante en el medio receptor en Guanaja que en Roatán porque la mayor parte de las contaminaciones llegan directamente al medio marino. Se abordará este punto en el marco de los balances de las contaminaciones.

Figura 20: Fracción del nitrógeno mineral bajo forma de amonio en los ríos de Guanaja



4.2.3.8 Fracción N/P

Es interesante estudiar esta fracción ya que determina el elemento nutritivo limitante para la producción primaria. Si se basa en la relación estequiométrica establecida por Redfield (1934) a partir de biomasa planctónica oceánica, la fracción N/P debería de ser de 16 (en mol).

Esta fracción es teórica. Desde entonces se ha probado que fluctuaba en función de las especies fitoplanctónicas y de las condiciones del entorno (Goldman *et al* 1979). Así mismo, Atkinson *et al.* (1983) han mostrado que la fracción C/N/P establecido por Redfield no se podía directamente aplicar a los macrófitos de las lagunas arrecifales. Sigue siendo interesante comparar esta fracción estequiométrica teórica con los que se obtuvieron a nivel de los ríos de Guanaja. No se puede determinar los datos correspondientes utilizando nitrógeno global y el fósforo total puesto que no disponemos de las concentraciones de nitrógeno global.

Por lo tanto, los siguientes resultados fueron obtenidos en la base de la fracción molar $([NO_3]+[NH_4])/[PO_4]$ que corresponde más o menos a la proporción nitrógeno mineral / fósforo mineral. Además, se han sustituido las mediciones que eran inferiores al umbral de precisión por este umbral para alcanzar un número de datos suficientes para calcular fracciones. Este procedimiento introduce un ligero error en este cálculo que habrá que integrar en la interpretación de los resultados.

Se indican los resultados medios en los diferentes sitios en el Cuadro 13.

En cada caso se indica si la cuenca se sitúa río arriba o no de una gran comunidad urbana (Savannah Bight, Mangrove Bight, Armadores).

La última línea menciona por una parte la media general de la fracción N/P y por otra parte las medias de esta fracción obtenida en los sitios localizados cerca o lejos de las principales comunidades.

Cuadro 12 : Fracción molar entre el nitrógeno mineral y los ortofosfatos

Número del sitio	Nombre del sitio	Fracción	Sitios más bajo de las comunidades	Otros sitios
GD1	La ensenada vivero	18.66		18.66
GD2	La ensenada embocadura	49.91		49.91
GD3	Este hotel Posada	58.68		58.68
GD4	Hotel Posada	37.64		37.64
GD5	Oeste hotel Posada	-		-
GD6	Sandy Bay Jim	22.63		22.63
GD7	Sandy Bay Nautilus	18.16		18.16
GD8	Bahia Resort	-		-
GD9	Armadores río arriba	53.75		53.75
GD10	Armadores río abajo	8.85	8.85	
GD11	Armadores después de la planta empacadora	17.52		17.52
GD12	El Soldado 1	39.84		39.84
GD13	El Soldado 2	21.93		21.93
GD14	Michael rock	12.51		12.51
GD15	Mangrove Bight río arriba	21.53		21.53
GD16	Mangrove Bight río abajo	17.85	17.85	
GD17	Mitch Oeste	-		-
GD18	Mitch Este 1	35.06		35.06
GD19	Mitch Este 2	32.11		32.11
GD20	Mitch Este 3	23.62		23.62
GD21	Savannah Bight 1	3.70	3.70	
GD22	Savannah Bight río arriba	5.48		5.48
GD23	Savannah Bight río abajo	5.38	5.38	
GD24	East End río arriba	6.95		6.95
GD25	East End río abajo	14.20	14.20	
Promedio		21.0	10.0	23.8

De estos resultados se destaca que :

- Las fracciones N/P son generalmente superiores a las fracciones de Redfield;
- Si se reagrupan los sitios localizados río abajo de las grandes comunidades, se constata que, en promedio, tienen una fracción dos a tres veces superior a la de los sitios alejados de las grandes comunidades (10 contra unos 24);
- Se nota que las fracciones obtenidas para las zonas urbanas son sensiblemente iguales en Roatán y en Guanaja. La situación es muy diferente para las fracciones obtenidas fuera de los sectores urbanizados.

En conclusión, la fracción N/P es generalmente fuerte, siendo estos resultados opuestos a los que se obtuvieron en Roatán. Entonces se puede concluir que, globalmente, si el nitrógeno es el elemento nutritivo limitante en los ríos de Roatán, sería el fósforo el elemento nutritivo el que limitaría la producción primaria en los ríos de Guanaja. Antes de deducir de esto un eventual impacto sobre el impacto marino costero, habrá que esperar la evaluación del balance de los flujos de nutrientes que llegan al mar porque estos flujos dependen en gran parte de los aportes antrópicos directos, especialmente a nivel de las principales comunidades de la isla. Se abordará este punto en el informe sobre las recomendaciones de lucha contra las contaminaciones.

Para concluir, algunas pistas parecen esbozarse para explicar las causas de estas diferencias entre Roatán y Guanaja pero tendrán que ser afinadas antes de ser presentadas. Es en particular primordial sacar los balances sobre los flujos nutritivos. Se presentará, el resultado de esta reflexión en el informe sobre las recomendaciones de lucha contra las contaminaciones.

4.2.3.9 Metales

Los metales analizados son el cadmio, el plomo, el zinc, el cobre, el hierro y el estaño. Salvo el hierro todos presentan una toxicidad más o menos importante para el entorno (Gaujous, 1995; Landis and Yu, 1999; Alzieu, 1999).

Se examinaron en los sitios potencialmente contaminados (en Savannah Bight, Armadores y Mangroves Bight), lo que hace más difícil en comparación a los otros parámetros, un enfoque global a escala de la isla. No se puede hablar sino de tendencias. Además, el número de resultados sigue siendo limitado para que se pueda tener un enfoque estadístico. En fin, el método de análisis utilizado (espectrofotometría) no es muy preciso para medir las concentraciones de metales pesados pero esta elección está justificada en el párrafo 4.1.1.4.

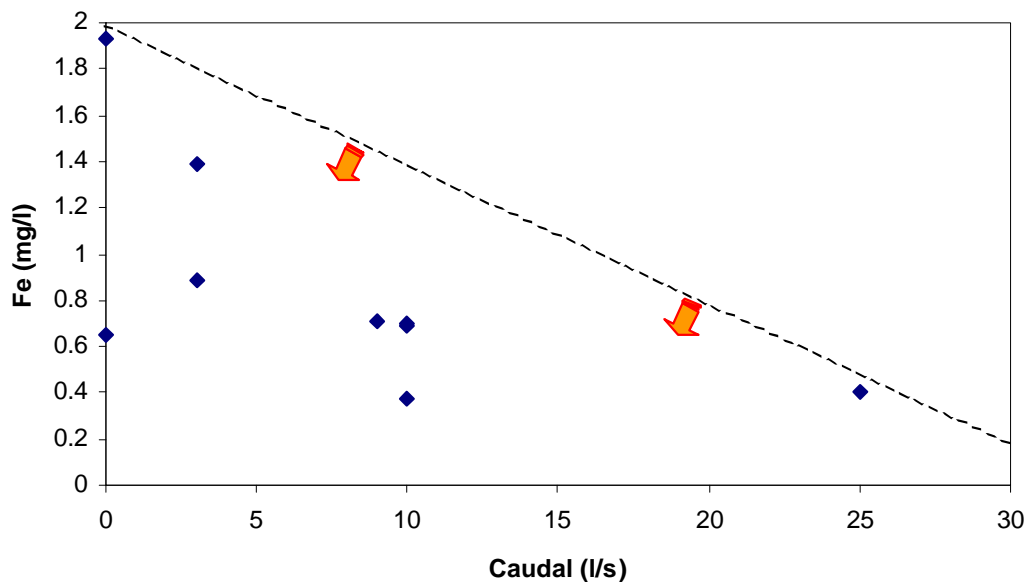
Sin embargo se pueden deducir algunas informaciones.

1. El hierro

Las concentraciones de hierro son más bien importantes, lo cual es a menudo el caso en los países tropicales. Los valores más elevados se acercan a los 2 mg/l.

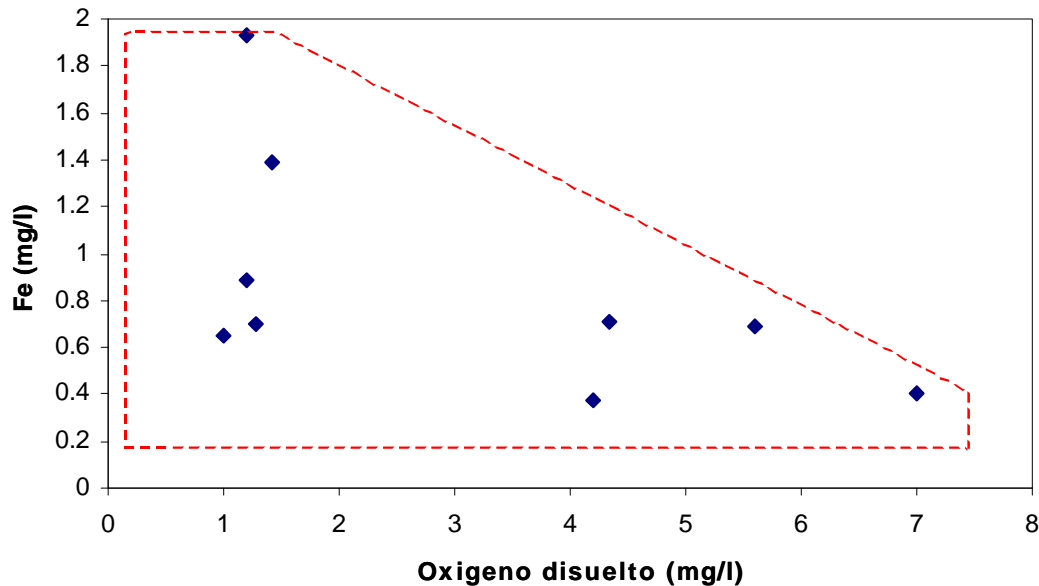
Las concentraciones de hierro tienden globalmente a decrecer cuando el caudal aumenta, como lo muestra la Figura 21. Dado que los sitios en los que se analizan los metales pesados están localizados río abajo de los sectores urbanizados, es probable que esta reducción de las concentraciones de hierro resulte de una dilución de las contaminaciones urbanas, lo cual daría crédito a la hipótesis según la cual se trataría en su mayoría de hierro que proviene de las actividades antrópicas.

Figura 21 : Correlación entre las concentraciones de hierro total y el caudal en los ríos de Guanaja.



Si se estudia en la Figura 22 la correlación entre las concentraciones de hierro y las de oxígeno disuelto, aparece que todos los valores corresponden a un agua subsaturada, lo cual se debe, sin duda, a los aportes en efluentes urbanos. Además, se nota que las concentraciones máximas de hierro corresponden a las subsaturaciones más marcadas, lo cual tendría a dar crédito a la existencia de liberación a partir de los sedimentos anóxicos o al contrario la ausencia de precipitación y fijación del hierro en los sedimentos. No obstante, resulta difícil llegar a una conclusión, porque ninguna medición corresponde a aguas en equilibrio o en sobresaturación de oxígeno disuelto que hubiesen podido servir como referencia.

Figura 22 : Correlación entre las concentraciones de hierro total y de oxígeno disuelto en los ríos de Guanaja



Parece ser que se asocian los valores más elevados de hierro con bajas concentraciones de MES, lo cual confirmaría que el hierro así considerado provendría principalmente de las contaminaciones antrópicas antes que de la lixiviación de los suelos. De esto no se puede deducir la ausencia de lixiviación de los suelos, pero únicamente en los sectores urbanizados, la dilución de las contaminaciones urbanas sobresale sobre la lixiviación de los suelos.

En fin cualesquiera que sean las concentraciones de oxígeno disuelto, el hierro puede estar presente en concentraciones que aproximen los 0,3 mg/l. En efecto, se realizan los análisis sobre muestras sin filtrar. De hecho, el hierro residual así encontrado podría ser hierro particular que proviene de la lixiviación de los suelos, y aportes antrópicos.

2. El zinc

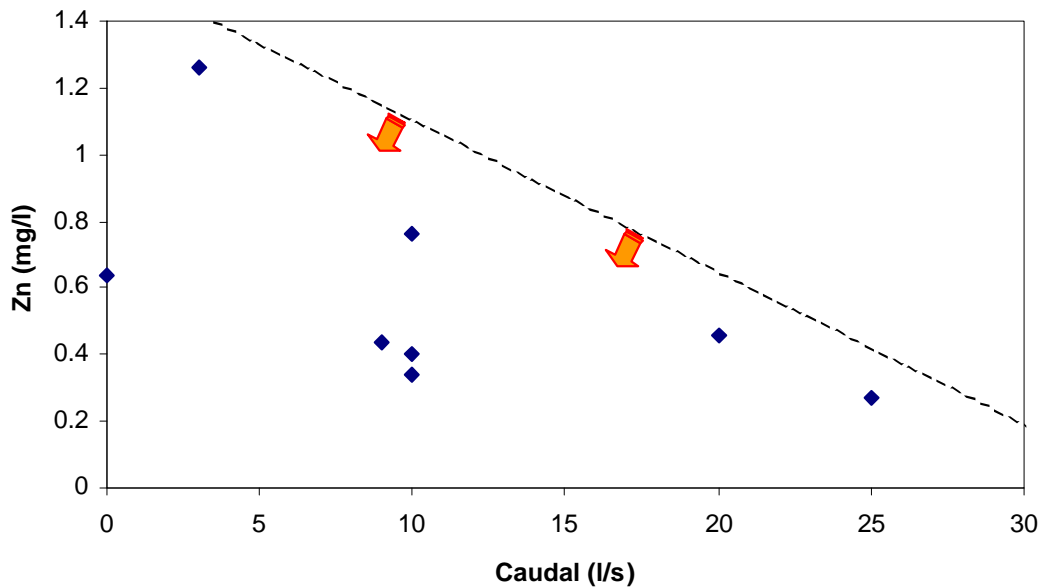
Se analiza el zinc así como el cadmio, el cobre, el plomo y el estaño con un espectrofotómetro. Esto condiciona la precisión de los resultados obtenidos como se mostrará para el plomo.

En el caso del zinc, aparece claramente que los valores medidos son generalmente elevados. Están incluidos entre 0.3 y 1,3 mg/l, lo cual corresponde sensiblemente a la misma gama de valor que la que se ha obtenido en Roatán. Es posible que se sobrestimen estos valores, aunque a diferencia del plomo y del cadmio, el zinc así

como el cobre puedan provenir de la lixiviación de un suelo no urbanizado. Especialmente es un producto de la combustión de la madera.

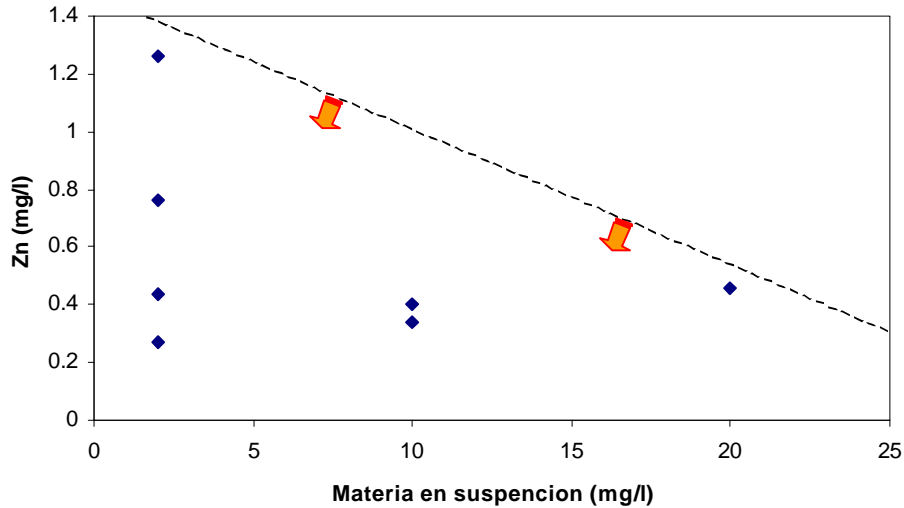
La concentración de zinc presentaría una relación inversamente proporcional al caudal, lo cual traduce un fenómeno de dilución. Esto confirma el origen antrópico del zinc analizado (Figura 23).

Figura 23: Correlación entre la concentración de zinc y el caudal en los ríos de Guanaja



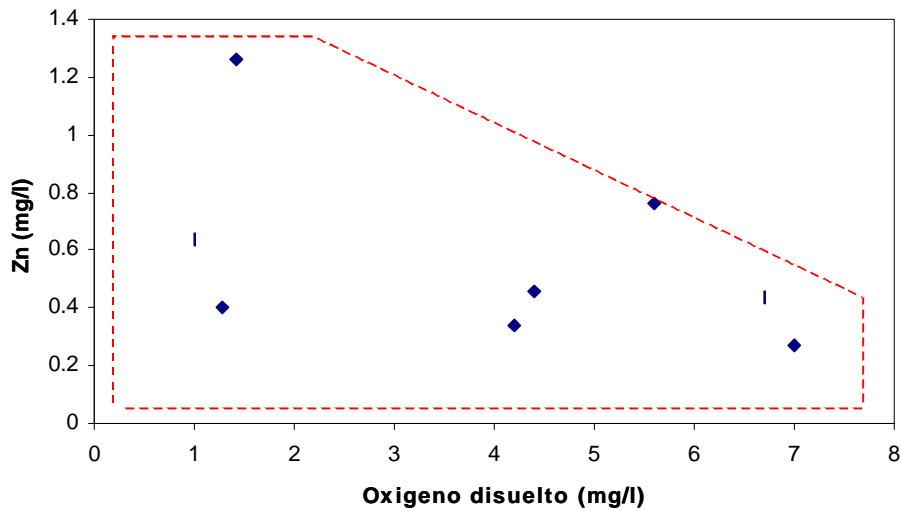
Se encuentran las concentraciones más fuertes de zinc a débiles concentraciones de MES. Se aplica aquí la misma hipótesis que para el hierro a saber que el zinc proviene esencialmente de los efluentes urbanos mientras que las MES provienen en gran parte de la lixiviación de los suelos. Entonces, por un efecto de dilución las concentraciones de zinc disminuye cuando el caudal aumenta, lo cual no ocurre con las MES (figura 24).

Figura 24 : Correlación entre las concentraciones de zinc y de MES en los ríos de Guanaja



En fin, el zinc parece correlacionado con las concentraciones de oxígeno disuelto (Figura 25). Al igual que el hierro, todas las mediciones corresponden a subsaturaciones en oxígeno, lo cual es una consecuencia directa de la naturaleza de las muestras analizadas. Sin embargo, se obtuvieron los valores más elevados cuando la subsaturación en oxígeno es la más marcada, lo cual podría sugerir que hay liberación a partir de los sedimentos o a contrario que hay fijación del zinc en los sedimentos en dichas ocasiones. El bajo número de mediciones no permite sacar una conclusión definitiva.

Figura 25 : Correlación entre las concentraciones de zinc y de oxígeno disuelto en los ríos de Guanaja



3. El cadmio

El cadmio es un tóxico potente cuyos umbrales de toxicidad son desgraciadamente inferiores al umbral de precisión de las mediciones efectuadas. Sin embargo, estas mediciones tienen por lo menos el mérito de mostrar que no hay contaminación mayor para este parámetro, por lo menos en las aguas superficiales (que no se han de confundir con las aguas marinas superficiales que pueden ser directamente contaminadas, especialmente a partir de zonas urbanas y de los basureros).

Todas las mediciones efectuadas son inferiores a 25 $\mu\text{g Cd/l}$, salvo un análisis para el cual se obtuvo una concentración de 40 $\mu\text{g Cd/l}$. Si no se puede sacar una conclusión definitiva en el caso de los valores inferiores a 25 $\mu\text{g Cd/l}$, queda claro que el máximo observado es característico de una fuerte contaminación. Se obtuvo este valor con una muestra tomada el 21 de mayo del 2000 en el sitio GD10 " Armadores río abajo" que recibe efluentes urbanos. Éste está sin duda vinculado a dichas actividades.

4. El cobre

El cobre es un tóxico potente para las formas de vida acuática, sobre todo para los productores primarios, de los cuales disminuye la actividad fotosintética.

Las mediciones efectuadas son características de sistemas medianamente contaminados. Se notará que el umbral de mediciones es 100 $\mu\text{g Cu/l}$, lo cual no es suficiente para separar las aguas débil o medianamente contaminadas. Sin embargo, esta precisión es suficiente para diferenciar las contaminaciones medias a fuertes, lo cual es, de mucho, lo más importante.

Las mediciones efectuadas son características de sistemas medio contaminados. En efecto, las concentraciones están incluidas entre 100 y 300 $\mu\text{g Cu/l}$.

Aunque se obtuvieron los valores máximos con un caudal nulo, parece que no hay relación significativa entre las concentraciones de cobre y el caudal, pero el bajo número de mediciones no permite sacar una conclusión definitiva. Las concentraciones de cobre tampoco parecen correlacionadas con el pH ni con el oxígeno disuelto. Otra vez el bajo número de mediciones no permite sacar conclusiones definitivas. Se apunta que las concentraciones más fuertes corresponden a aguas casi anóxicas. Pero se obtienen con caudal nulo y podrían resultar de una simple acumulación de los residuos. En resumidas cuentas no se puede sacar ninguna conclusión al respecto.

5. El plomo

Las concentraciones de plomo aparecen excesivamente altas entre 120 y 2000 $\mu\text{g Pb/l}$, y esto cualquiera que sea el punto de medición seguido para este parámetro. Resulta normal tener una contaminación con plomo en estos sitios

porque se trata únicamente de sectores urbanizados, pero la amplitud de las concentraciones es sorprendente como era el caso en Roatán.

Es probable que se hayan sobrestimado las mediciones, lo cual hace difícil y hasta imposible, la interpretación. Se recomienda que se tomen con reserva las pistas que están indicadas a continuación, sobre todo cuando el número de resultados es limitado.

Parece ser que se obtuvieron las concentraciones más débiles con caudal y concentración de MES débiles, lo cual confirmaría que el plomo es en parte el fruto de la lixiviación de los suelos.

No se ha podido poner en evidencia ninguna correlación entre el plomo y el oxígeno disuelto. No obstante, las concentraciones de plomo parecen aumentar con el pH. Estos resultados parecen, a priori, contrarios a los que se han obtenidos en Roatán, pero no es el caso. En efecto las gamas de pH consideradas no son las mismas. Este aumento de la concentración de plomo con el pH traduce únicamente que hay incremento del pH cuando el caudal aumenta (por efecto de dilución de las contaminaciones urbanas). En estas ocasiones, la lixiviación de los suelos aumenta y provoca un incremento de los flujos de plomo. En este caso preciso, el aumento de las concentraciones no proviene del aumento del pH. Al contrario, este incremento del pH no es suficiente para que induzca una cinética de precipitación del plomo (Cossa *et al.*, 1993).

6. El estaño

El estaño es más tóxico bajo forma de tributilestaño. Se encuentra principalmente esta forma en las zonas portuarias debido al hecho de su empleo en las pinturas anti-fooling de los barcos. No se mide en las aguas dulces.

No se considera generalmente el estaño como muy tóxico en las aguas dulces.

El estaño no parece presentar correlación con el caudal, con el pH, con las MES o con el oxígeno disuelto. El bajo número de mediciones no permite sacar conclusiones definitivas al respecto.

4.2.3.10 Bacteriología

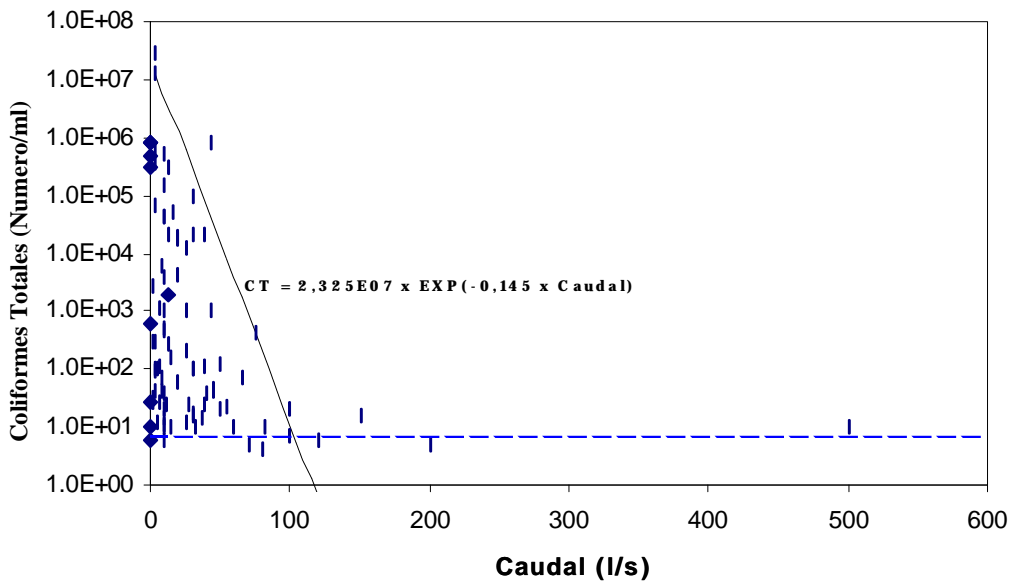
Los análisis efectuados permiten formular varias conclusiones. Destaca primero que los valores obtenidos son generalmente fuertes a muy fuertes. Los sitios más contaminados son los sitios que reciben las contaminaciones urbanas. Los valores que se miden allí son considerables, alcanzado el valor máximo 2,8 millones de coliformes totales por 100 ml.

A diferencia de Roatán, parece que hay una reducción importante del número de coliformes (fecales o totales) cuando llovía y esto hasta una planicie que corresponde sensiblemente a 10 coliformes totales por ml, es decir 1000 coliformes totales/100 ml.

Esta reducción es muy superior a lo que se obtendría por simple dilución. En efecto, el número de coliformes totales (ver Figura 26) se distribuye estadísticamente debajo de la línea en punteado negro que corresponde a una ley de decrecimiento teórico en ley de decrecimiento exponencial decreciente. Se trata por supuesto de una tendencia global que no se puede transponer a un caso en particular.

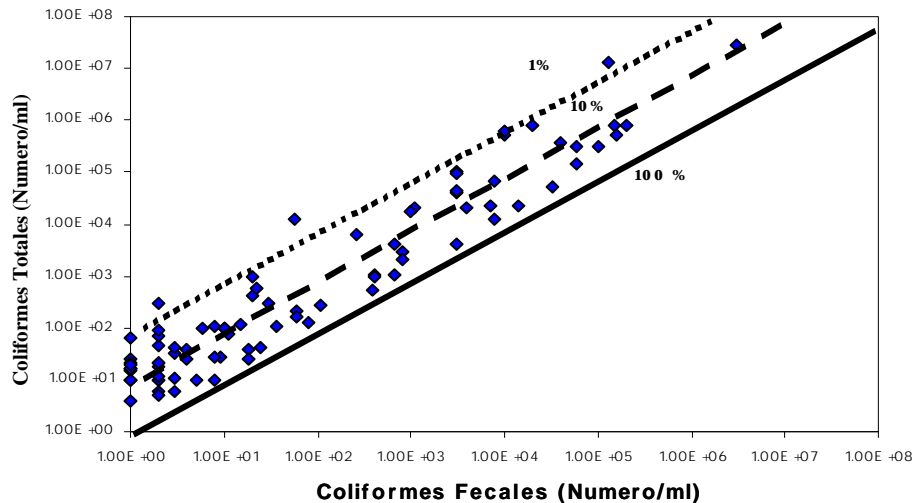
Se puede suponer que los débiles caudales se acompañan del desarrollo de una fuerte biomasa bacteriana, desarrollo que sería limitado durante episodios lluviosos, bajo el efecto conjunto de un tiempo de permanencia reducido y de una temperatura más débil. Se volverá a abordar este punto en el marco del balance de flujos.

Figura 26: Correlación entre el número de coliformes totales y el caudal en los ríos de Guanaja



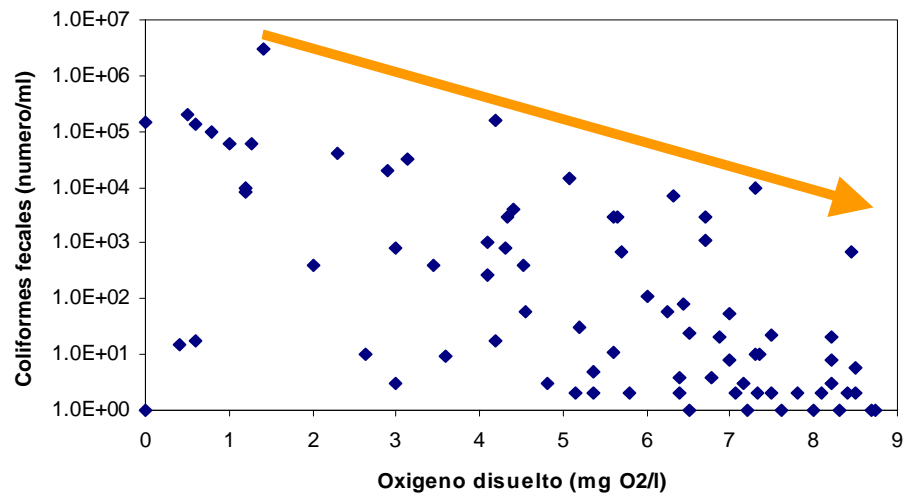
La Figura 27 muestra que en la mayor parte de los casos, los coliformes fecales representan una parte no despreciable del número de coliformes totales. Tal resultado muestra bien que estos coliformes provienen esencialmente de las contaminaciones antrópicas (principalmente urbanas).

Figura 27: Correlación entre el número de coliformes fecales y totales en los ríos de Guanaja (las líneas diagonales corresponden a los porcentajes de coliformes fecales)



El número de coliformes fecales parece parcialmente correlacionado a la concentración de oxígeno disuelto como lo muestra la Figura 28. En efecto se obtuvieron los valores máximos de número de coliformes fecales cuando la concentración de oxígeno disuelto es mínima. Tal resultado es normal puesto que traduce la importancia de los aportes contaminantes (esencialmente en efluentes urbanos). Cuanto más significativos sean estos aportes tanto más importante será el número de los gérmenes patógenos y tanto más las aguas serán débilmente oxigenadas. Se trata, pues, de una relación indirecta.

Figura 28: Correlación entre el número de coliformes totales y la concentración de oxígeno disuelto en los ríos de Guanaja



Además, si no existe una clara correlación entre el número de coliformes totales y las tasas de MES, se obtienen generalmente los mínimos de coliformes fecales con una débil carga de MES. Esto significa que en cuanto hay una lixiviación de los suelos urbanizados, lixiviación que se acompaña de un aumento de las MES, también hay un aumento de las contaminaciones fecales y por lo tanto del número de gérmenes potencialmente patógenos.

Se percibe la misma tendencia para los elementos nutritivos (amonio, ortofosfatos). No existe ninguna correlación entre estos dos parámetros y el número de coliformes fecales pero los mínimos de número de coliformes fecales corresponden generalmente a débiles concentraciones de amonio y ortofosfatos. Parece que se pueden clasificar los sitios en función de su carga en contaminaciones. Los sitios que reciben pocos efluentes urbanos son los que corresponden a las bajas concentraciones de nutrientes y en que el número de coliformes fecales es el más bajo (lo que concuerda con los resultados obtenidos en el párrafo 4.2.3.7.).

4.2.3.11 Conclusiones

En conclusión se puede establecer el balance sintético siguiente:

- Los ríos de Guanaja tienen un régimen hidrológico más sostenido que los de los ríos de Roatán. La mayor parte de los ríos de Guanaja son permanentes;
- Se pueden clasificar estos ríos en dos grupos muy distintos. Los ríos poco antrópicos y los ríos que reciben concentraciones importantes de efluentes urbanos. Estos dos grupos son muy diferentes por la calidad de sus aguas;
- Los ríos poco antrópicos están caracterizados por concentraciones medias a fuertes de fósforo y débiles de nitrógeno mineral, por una carga débil en materia orgánica, por tasas de MES variables en función de los acontecimientos meteorológicos y por un número limitado de coliformes totales;
- Los ríos antrópicos son principalmente los que atraviesan los sectores urbanizados de Savannah Bight, Armadores y Mangrove Bight y esto a pesar de que una parte de las contaminaciones urbanas llegan directamente al medio marino costero. De hecho en la mayor parte de los casos la depuración es muy reducida, lo cual explica que la calidad de las aguas está afectada;
- Los ríos muy contaminados por los efluentes urbanos están caracterizados por concentraciones muy fuertes de materia orgánica, de fósforo y de nitrógeno (esencialmente bajo la forma de NTK), por concentraciones medias a fuertes de MES, por contaminaciones muy fuertes de coliformes fecales y totales y por contaminaciones más o menos importantes en metales pesados.

4.2.4 Clasificación de la calidad de las aguas de los ríos

4.2.4.1 Metodología

En la base de los resultados de la campaña de mediciones, se pueden clasificar los ríos en función de 6 principales criterios o alteraciones:

- Un criterio materia en suspensión;
- Un criterio materia orgánica. Permite jerarquizar la carga en materia orgánica en los ríos de Guanaja;
- Dos criterios nutritivos: el fósforo y el nitrógeno. Estos dos nutrientes están separados para diferenciar las fuentes de contaminación de estos dos parámetros muy sensibles para el medio receptor;
- Un criterio metales;
- Un criterio bacteriológico.

Cuadro 13: Lista de los parámetros asociados a los criterios

CRITERIO	PARÁMETRO ASOCIADO
Criterio MES	MES
Criterio materia orgánica	DQO, DBO5, Oxígeno disuelto pH
Criterio fósforo	Ortofosfatos, fósforo total
Criterio nitrógeno	Nitratos, Amonio
Criterio metales	Hierro, Zinc, Cobre, Cadmio
Criterio bacteriológico	Coliformes totales, Coliformes fecales

Para clasificar los sitios para cada criterio, se actúa en la base del principio del factor “declasificante”. Para esto, se actúa de la manera siguiente.

Para cada sitio y para cada parámetro, en un principio, se comparan individualmente los valores obtenidos con una tabla de valores umbrales. En el caso de las aguas dulces, esta tabla tiene 4 categorías:

- Categoría 1: muy buena calidad;
- Categoría 2: buena calidad;
- Categoría 3: calidad media;
- Categoría 4: calidad mala.

Así se obtiene para cada sitio y para cada parámetro una serie de categorías incluidas entre 1 y 4. El principio del factor “declasificante” consiste en guardar la peor categoría de cada serie.

Una vez estas categorías obtenidas para cada criterio, se elige la categoría “declasificante” (la peor) de los diferentes parámetros considerados.

Por ejemplo, si se considera un sitio para el cual la DQO está clasificada en categoría 2 (valor declasificante de la serie de medición de este parámetro en el sitio), la DBO5 en categoría 2 y el oxígeno disuelto en categoría 3, se clasificará el criterio materia orgánica en categoría 3 para este sitio.

Se aplica este procedimiento a todos los parámetros, a todos los criterios y a todos los sitios de mediciones a nivel de los ríos.

La tabla utilizada para aplicar este procedimiento se presenta en el Cuadro 14.

Esta tabla se inspira en los valores guías Franceses para la evaluación de la calidad de las aguas de los ríos (AELB, 1988), y de las normas guías Alemanas (Tomar, 1999) enmendadas en la base de la sensibilidad del medio receptor considerado.

Es diferente de la que se había adoptado para Roatán en lo que se refiere a la gama de valores del pH. Se baja el mínimo de 6,5 a 6 dada la acidez natural más marcada para las aguas de Guanaja. Como el pH forma parte del grupo de parámetros que sirven para determinar la clasificación con respecto a las materias orgánicas, era necesario este reajuste para evitar declasificar algunos sitios mientras que tenían aguas poco contaminadas.

Cuadro 14 : Tabla de clasificación de las aguas de los ríos de Guanaja

CLASE DE CALIDAD	1	2	3	4
Materias en suspensión (mg/l)	<25	<70	<150	> 150
pH	6.5 - 8.5	6.0 - 8.5	6.0 - 9	< 6.0 o > 9
Oxígeno disuelto (mg/l)	>7	>5	>3	<3
DBO5 (mg/l)	<3	<5	<10	>10
DQO (mg/l)	<20	<25	<40	>40
Nitratos (mg N/l)	<0.35	<0.7	<2.25	>2.25
Amonio (mg/l N)	<0.1	<0.4	<1.5	>1.5
PO4 (mg P/l)	<0.07	<0.16	<0.33	>0.33
Fósforo Total (mg P/l)	<0.1	<0.25	<0.5	>0.5
Hierro (mg Fe/l)	<0.5	<1	<1.5	>1.5
Plomo (mg Pb/l)	<0.05	<0.05	<0.05	>0.05
Cadmio (mg Cd/l)	<0.005	<0.005	<0.005	>0.005
Zinc (mg Zn/l)	<0.3	<0.3	<1	>1
Cobre (mg Cu/l)	< 0.005	<0.05	<1	>1
Coliformes totales (Número/100 ml)	<50	<5000	<50000	>50000
Coliformes fecales (número/100 ml)	<20	<2000	<20000	>20000

4.2.4.2 Clasificación de las aguas de los ríos de Guanaja con respecto a las MES


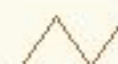
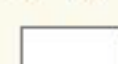
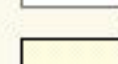

Este parámetro es interesante puesto que da una indicación sobre los sectores de fuerte erosión o bajo la fuerte influencia de los residuos urbanos y donde los ríos están cargados en partículas (que sean de origen antrópico o natural).





En toda lógica, la clasificación de este parámetro sólo hubiera tenido que tomar en cuenta las muestras sacadas fuera de los episodios lluviosos, como lo sugiere la metodología aplicada por las agencias francesas del agua. Esto permitiría en efecto evitar los casos de fuertes erosiones generadas por los acontecimientos climáticos excepcionales. Sin embargo, tanto por razones de uniformidad con el método aplicado en Roatán como para aprovecharse de una serie estadísticamente significativa, se ha tenido que guardar todas las mediciones para establecer esta clasificación. No obstante, como se ha explicado en el párrafo 1.1.2.5., esta clasificación no es representativa del comportamiento de los ríos de Guanaja con respecto al transporte sólido ya que se realizó la mayor parte de los análisis fuera de los acontecimientos lluviosos mayores.

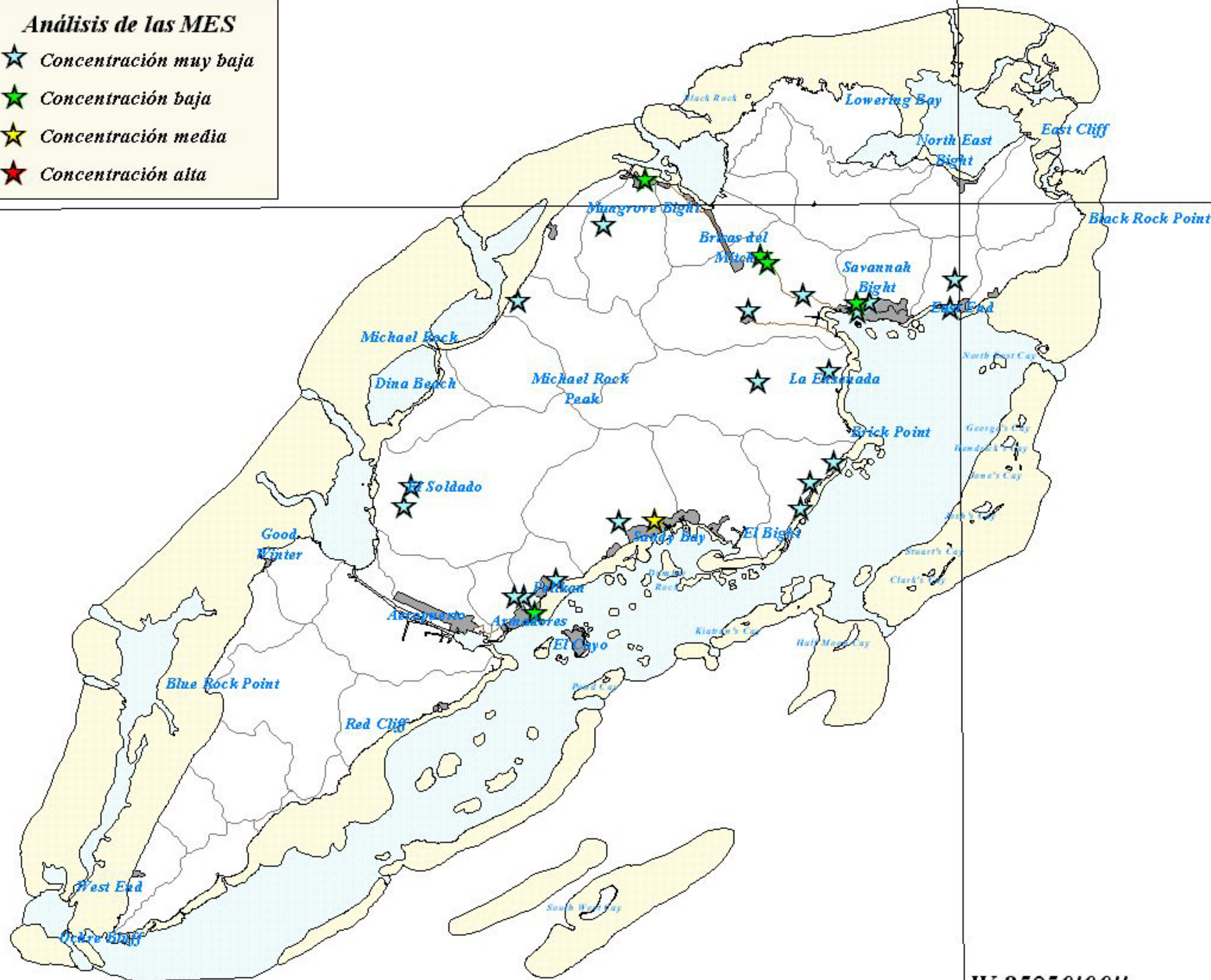
El mapa 4 presenta el resultado de esta clasificación de los ríos de Guanaja con respecto a las MES.

Según esta clasificación, aparece que en periodo seco todos los ríos de Guanaja que se siguieron serían de clase muy buena a buena, salvo el río GD6 situado en Sandy Bay que sería de clase media. Por lo que se refiere al río GD6, no parece aberrante este resultado ya que en Sandy Bay se desarrolla una lotificación. Estas construcciones se combinan a una fuerte erosión vinculada a la deforestación de la cuenca a consecuencia del paso del huracán Mitch.

Sin embargo, es probable que series de resultados más completas conducirían a aumentar el número de cuencas con fuertes tasas de MES y a reducir el de las cuencas con débiles tasas de MES. Se volverá a abordar este punto bajo el ángulo del transporte sólido en el marco del informe sobre las recomendaciones para la reducción de las fuentes de contaminación.

-  Casco urbano
-  Carretera de tierra
-  Cuenca hidrográfica
-  Arrecife
-  Laguna

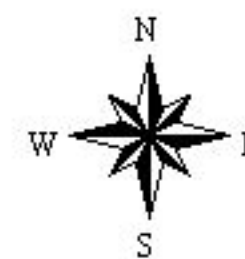
- Análisis de las MES**
-  Concentración muy baja
 -  Concentración baja
 -  Concentración media
 -  Concentración alta



N 16°30'00"

W 86°00'00"

W 85°50'00"



REPUBLICA DE HONDURAS

Secretaría de Turismo
 Proyecto de Manejo Ambiental de Islas de la Bahía
 Préstamo BID 938/SF-HO



DATOS CARTOGRAFICOS

Proyección Cartográfica: Universal Transversa de Mercator
 Esferoide: Clarke 1866
 Dato Horizontal: Noroamericano 1927
 Dato Vertical: Nivel medio del Mar 1956
 Fotografía Aérea: 1:20000, Julio de 1999
 Ortorectificación Digital: PMAIB, Julio del 2000
 Clasificación de Campo: PMAIB, IGN

Producido por:

Consorcio SAFEGE-SG/REAH-
 Mancada y Mancada

Revisión y Certificación:

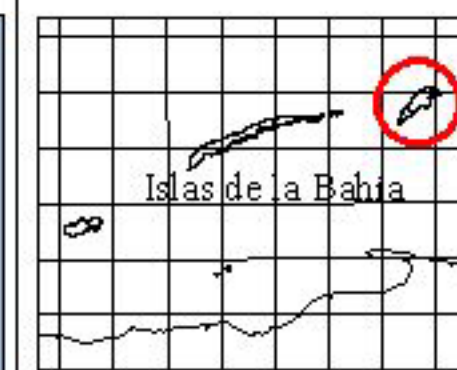
PMAIB-Subprograma de
 Recursos Naturales

Escala 1:100.000

0 2 4 Kilometers



**Clasificación de las aguas
 continentales con respecto
 a las MES**



Mapa
 4/13


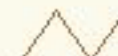


4.2.4.3 Clasificación de las aguas de los ríos con respecto a las materias orgánicas

Los parámetros considerados en el presente balance son:





- La DQO;
- La DBO5;
- El oxígeno disuelto. Este parámetro depende en efecto de la presencia de materia orgánica y una concentración inferior a muy inferior a la saturación traduce la presencia de un fuerte consumo de oxígeno;
- El pH. Este parámetro evoluciona en función del equilibrio calco-carbónico del agua. Depende, de la alcalinidad y de la dureza del agua pero también de la actividad de los productores primarios y de las bacterias. Se trata sobre todo de un indicador indirecto que, aunque sea secundario, merece ser añadido a la lista de los parámetros que caracterizan la materia orgánica.

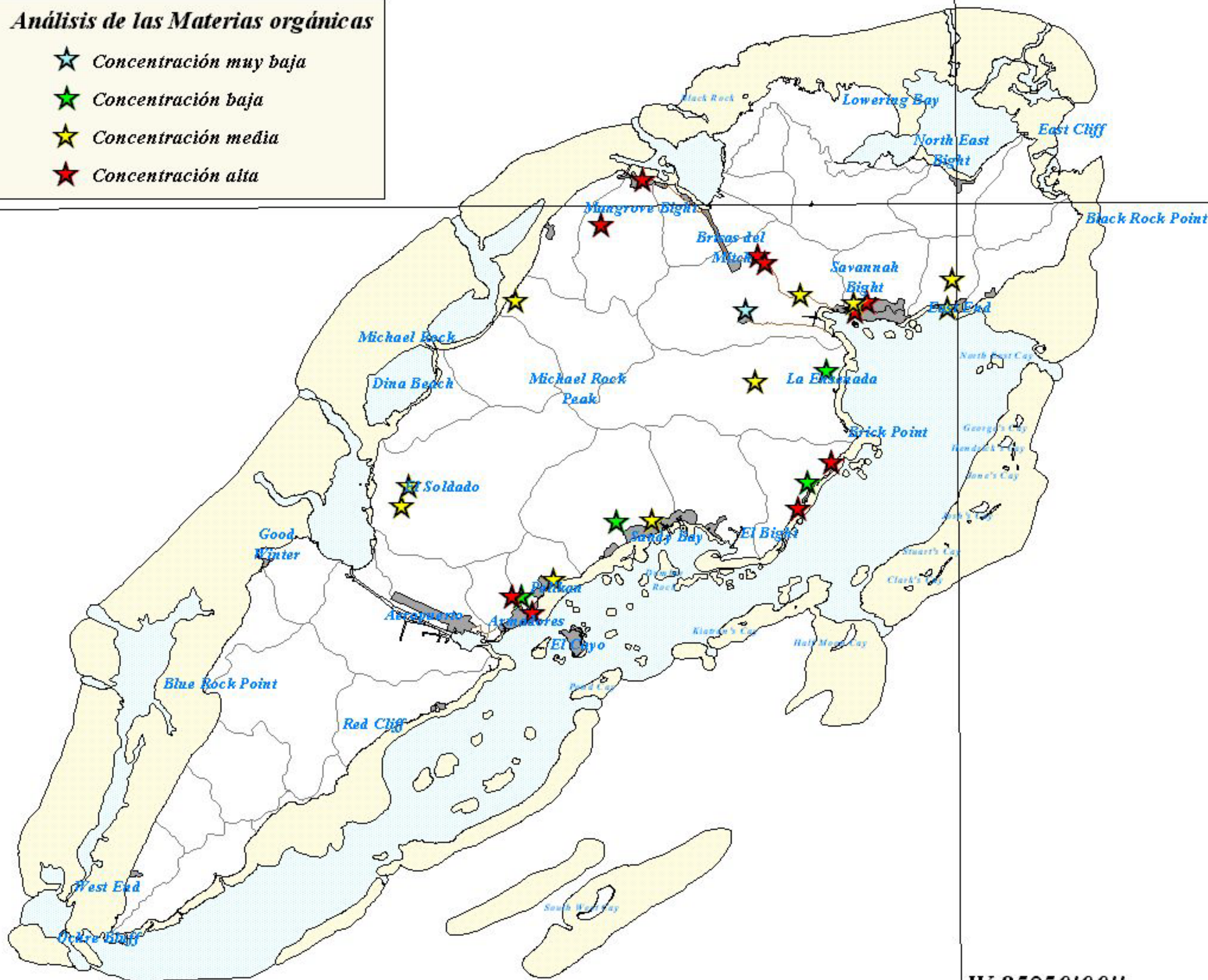
Los resultados obtenidos se presentan en el mapa 5 adjunto. Se pueden hacer las observaciones siguientes:

- La mayor parte de los puntos analizados corresponden a una clasificación media a mala. Los sitios que presentan las peores clasificaciones son los sectores fuertemente urbanizados, como Savannah Bight, Armadores y Mangrove Bight, pero también en menor medida sectores que concentran cabezas de ganado (Playa del Soldado, La Ensenada y East End);
- Los ríos que presentan una buena a muy buena calidad con respecto a las materias orgánicas corresponden a sectores débilmente antrópicos y sin presencia de ganadería. Es en particular el caso del punto GD7 que corresponde al río que sirve de abastecimiento de agua potable a Sandy Bay, Armadores y Bonacca.

-  Casco urbano
-  Carretera de tierra
-  Cuenca hidrográfica
-  Arrecife
-  Laguna

Análisis de las Materias orgánicas

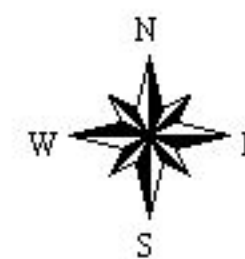
-  Concentración muy baja
-  Concentración baja
-  Concentración media
-  Concentración alta



N 16°30'00"

W 86°00'00"

W 85°50'00"



REPUBLICA DE HONDURAS

Secretaría de Turismo
 Proyecto de Manejo Ambiental de Islas de la Bahía
 Préstamo BID 938/SF-HO



DATOS CARTOGRAFICOS

Proyección Cartográfica: Universal Transversa de Mercator
 Esferoide: Clarke 1866
 Dato Horizontal: Noramericano 1927
 Dato Vertical: Nivel medio del Mar 1956
 Fotografía Aérea: 1:20000, Julio de 1999
 Ortorectificación Digital: PMAIB, Julio del 2000
 Clasificación de Campo: PMAIB, IGN

Producido por:

Consorcio SAFEGE-SG GREAH-
 Mancada y Mancada

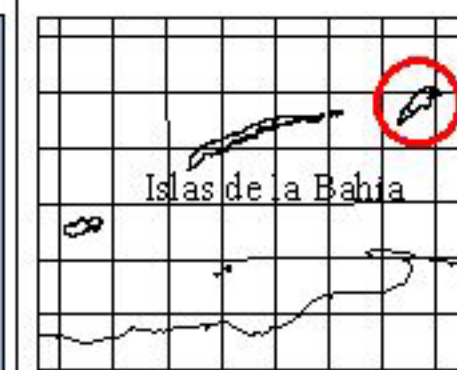
Revisión y Certificación:

PMAIB-Subprograma de
 Recursos Naturales

Escala 1:100.000

0 2 4 Kilometers

Clasificación de las aguas continentales con respecto a las materias orgánicas



Mapa
 5/13

4.2.4.4 Clasificación de las aguas de los ríos con respecto al fósforo

Los parámetros considerados en el presente balance son:

- Los ortofosfatos;
- El fósforo total.

Se presentan los resultados en el mapa 6. Se pueden hacer las contestaciones siguientes:

- La totalidad de las clases de calidad están presentes. Esto muestra que existen diferencias significativas entre los diferentes sectores de la isla;
- La mayor parte de los sectores antrópicos (Savannah Bight y Armadores) están clasificados en la categoría “mala”. Esta mala clasificación procede de la fuerte concentración de las contaminaciones urbanas y antrópicas debido al caudal más bien reducido de los ríos. Desde este punto de vista, los resultados obtenidos con los ortofosfatos son más bien similares a los que se consiguieron con el fósforo total. Además, la calidad de los ríos disminuye de río arriba a río abajo, lo cual confirma el impacto significativo de las contaminaciones urbanas.


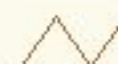
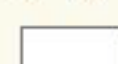
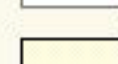

4.2.4.5 Clasificación de las aguas de los ríos con respecto al nitrógeno

Los parámetros considerados son los siguientes:





- Los nitratos;
- El amonio.

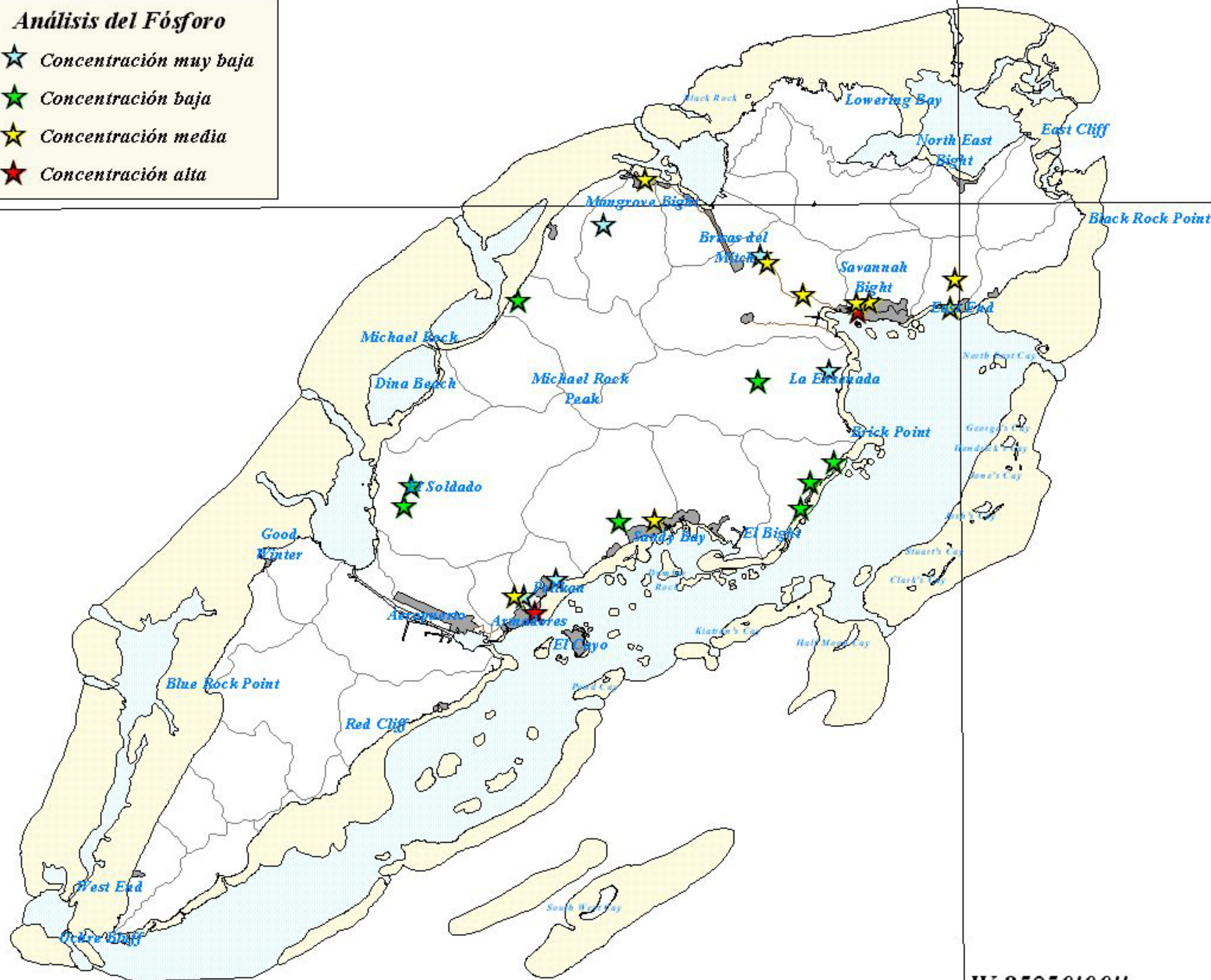
Se presentan los resultados obtenidos en el Cuadro 7. De ello se puede deducir que:

- La totalidad de las clases de calidad está representada. Esto muestra que diferencias significativas existen entre los distintos sectores de la isla. Sin embargo, la mayor parte de los ríos está clasificada en categoría 2 (buena calidad) y “Armadores río abajo” es el único a clasificarse en categoría 4 (mala calidad).
- La mayor parte de las contaminaciones con nitrógeno son la consecuencia de las contaminaciones urbanas. En lo que se refiere a las zonas fuertemente urbanizadas, el criterio “declasificante” es en la mayoría de los casos el amonio, lo cual es muy lógico.

-  Casco urbano
-  Carretera de tierra
-  Cuenca hidrográfica
-  Arrecife
-  Laguna

Análisis del Fósforo

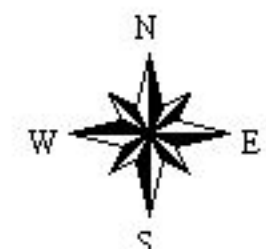
-  Concentración muy baja
-  Concentración baja
-  Concentración media
-  Concentración alta



N 16°30'00"

W 86°00'00"

W 85°50'00"



REPUBLICA DE HONDURAS

Secretaría de Turismo
 Proyecto de Manejo Ambiental de Islas de la Bahía
 Préstamo BID 938/SF-HO



DATOS CARTOGRAFICOS

Proyección Cartográfica: Universal Transversa de Mercator
 Esferoide: Clarke 1866
 Dato Horizontal: Noroamericano 1927
 Dato Vertical: Nivel medio del Mar 1956
 Fotografía Aérea: 1:20000, Julio de 1999
 Ortorectificación Digital: PMAIB, Julio del 2000
 Clasificación de Campo: PMAIB, IGN

Producido por:

Consorcio SAFEGE-SG/REAH-
 Mancada y Mancada

Revisión y Certificación:

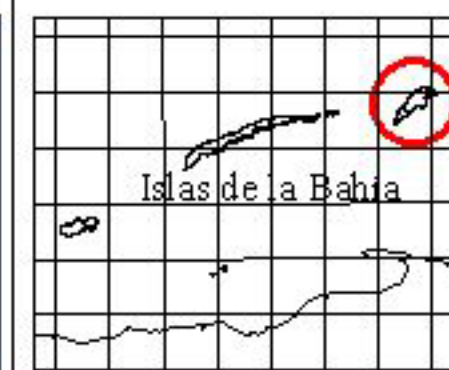
PMAIB-Subprograma de
 Recursos Naturales

Escala 1:100.000


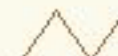


0 2 4 Kilometers







**Clasificación de las aguas
 continentales con respecto
 al fósforo**

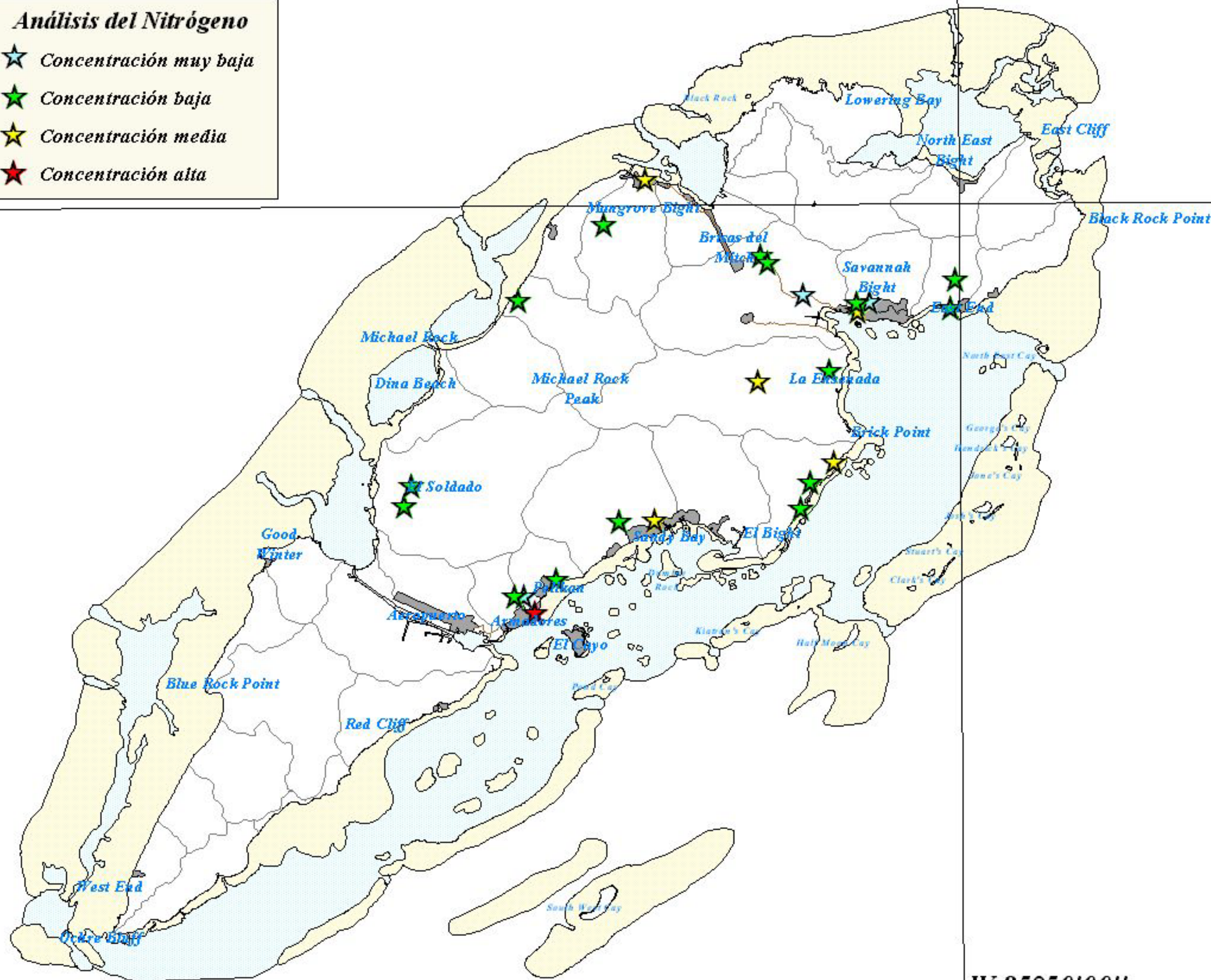


**Mapa
 6/13**

-  Casco urbano
-  Carretera de tierra
-  Cuenca hidrográfica
-  Arrecife
-  Laguna

Análisis del Nitrógeno

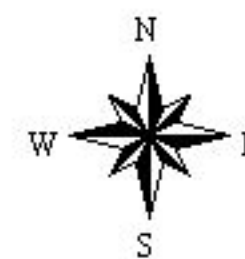
-  Concentración muy baja
-  Concentración baja
-  Concentración media
-  Concentración alta



N 16°30'00"

W 86°00'00"

W 85°50'00"



REPUBLICA DE HONDURAS

Secretaría de Turismo
 Proyecto de Manejo Ambiental de Islas de la Bahía
 Préstamo BID 938/SF-HO



DATOS CARTOGRAFICOS

Proyección Cartográfica: Universal Transversa de Mercator
 Esferoide: Clarke 1866
 Dato Horizontal: Noroamericano 1927
 Dato Vertical: Nivel medio del Mar 1956
 Fotografía Aérea: 1:20000, Julio de 1999
 Ortorectificación Digital: PMAIB, Julio del 2000
 Clasificación de Campo: PMAIB, IGN

Producido por:

Consorcio SAFEGE-SOGREAH-
 Mancada y Mancada

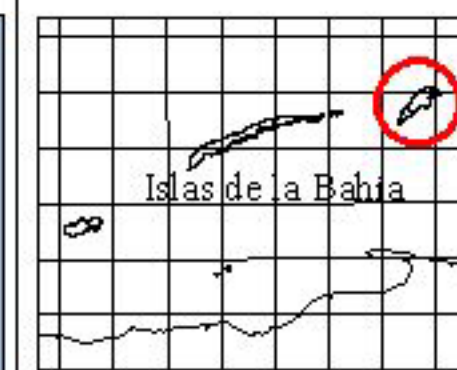
Revisión y Certificación:

PMAIB-Subprograma de
 Recursos Naturales

Escala 1:100.000

0 2 4 Kilometers

**Clasificación de las aguas
 continentales con respecto
 al nitrógeno**



Mapa
 7/13

4.2.4.6 Clasificación de las aguas de los ríos con respecto a los metales





Los parámetros considerados son los siguientes:

- El hierro;
- El zinc;
- El cobre;
- El cadmio.





Debido a la incertidumbre que existe en cuanto a la validez de los resultados obtenidos con el plomo, no se ha considerado este parámetro en la presente clasificación. Además, el estaño tampoco está integrado en esta clasificación. En efecto, este parámetro se considera raramente como potencialmente tóxico para las aguas dulces y, por lo general, no está integrado en las tablas de evaluación de la calidad de las aguas dulces superficiales.

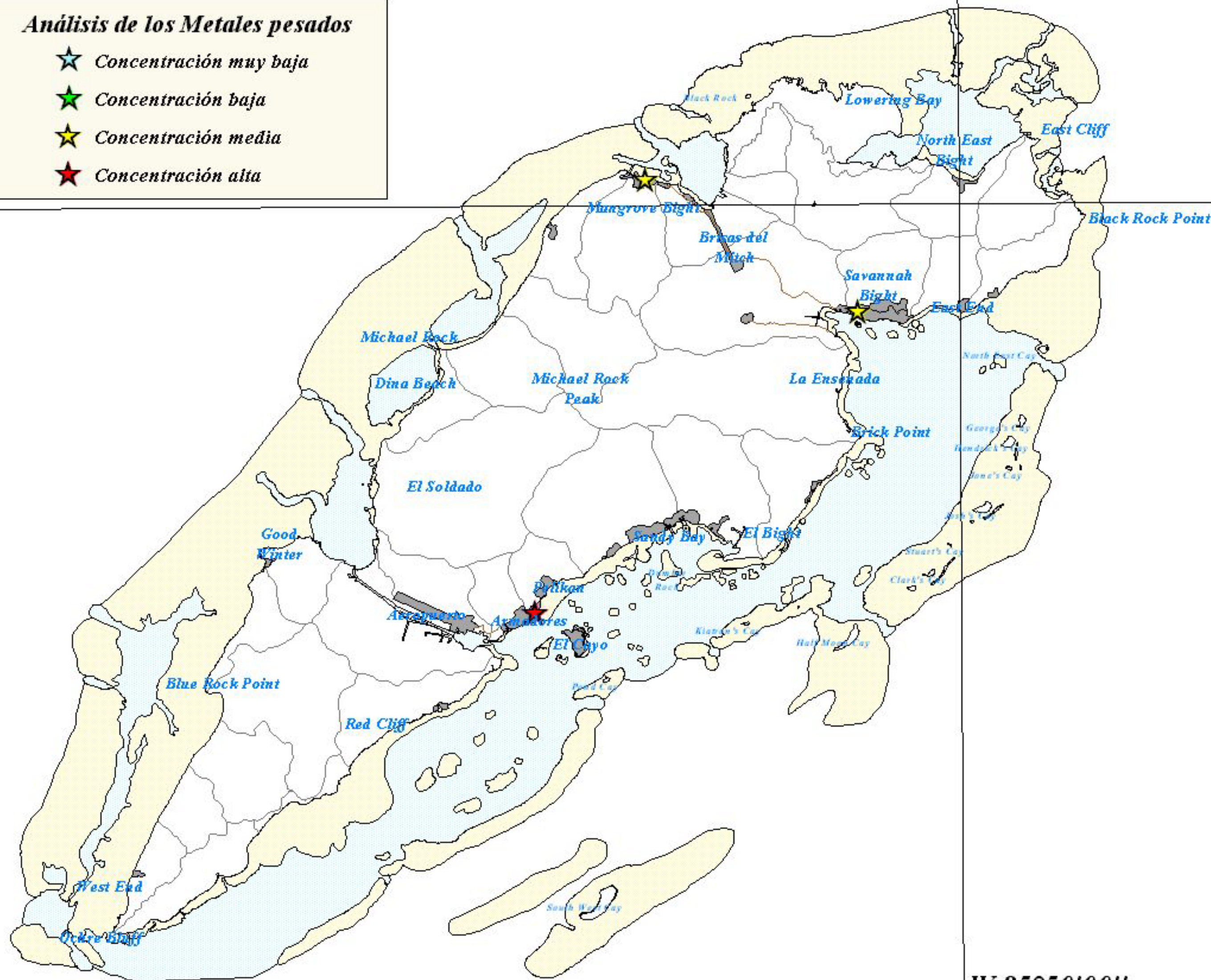
Los resultados obtenidos se presentan en el mapa 8.

Se analizaron los metales pesados en los 3 sitios potencialmente contaminados (a saber Savannah Bight, Armadores y Mangrove Bight), lo cual hace más difícil que para los demás parámetros una clasificación global a escala de la isla. Sólo se puede hablar de tendencias para los sectores urbanizados. Según esta clasificación aparece que hay contaminación con metales pesados en los sectores urbanizados de la isla y más particularmente en Armadores. Desde este punto de vista y, aunque subsista una duda por lo que a la validez de los resultados de metales pesados en los ríos, estos resultados confirman los que se han conseguido en los sedimentos marinos, lo cual asegura una coherencia de conjunto con respecto a estos parámetros.

-  Casco urbano
-  Carretera de tierra
-  Cuenca hidrográfica
-  Arrecife
-  Laguna

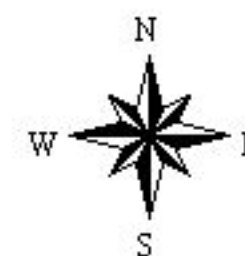
Análisis de los Metales pesados

-  Concentración muy baja
-  Concentración baja
-  Concentración media
-  Concentración alta



W 86°00'00"

W 85°50'00"



REPUBLICA DE HONDURAS

Secretaría de Turismo
 Proyecto de Manejo Ambiental de Islas de la Bahía
 Préstamo BID 938/SF-HO



DATOS CARTOGRAFICOS

Proyección Cartográfica: Universal Transversa de Mercator
 Esferoide: Clarke 1866
 Dato Horizontal: Noroamericano 1927
 Dato Vertical: Nivel medio del Mar 1956
 Fotografía Aérea: 1:20000, Julio de 1999
 Ortorectificación Digital: PMAIB, Julio del 2000
 Clasificación de Campo: PMAIB, IGN

Producido por:

Consorcio SAFEGE-SG GREAH-
 Mancada y Mancada

Revisión y Certificación:

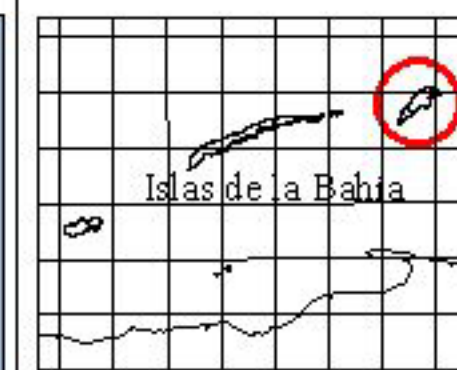
PMAIB-Subprograma de
 Recursos Naturales

Escala 1:100.000

0 2 4 Kilometers



Clasificación de las aguas continentales con respecto a los metales pesados



Mapa
 8/13

4.2.4.7 Clasificación de las aguas de los ríos con respecto a la bacteriología

Los parámetros considerados son los siguientes:

- Los coliformes totales;
- Los coliformes fecales.

Los resultados se presentan en el mapa 9.

Según esta clasificación:

- Los sitios que presentan una calidad mala desde el punto de vista de este criterio son los que están situados en los sectores fuertemente urbanizados (Mangrove Bight, Savannah Bight, Armadores). En la medida en que una fracción importante de la población no está conectada a un sistema de saneamiento colectivo ni tampoco a una fosa séptica funcional aportes significativos en gérmenes (una parte de ellas patógenos) son vertidos en el medio ambiente, lo cual explica los resultados que se obtuvieron. Además, los caudales de los ríos concernientes siguen siendo débiles, lo que excluye generalmente una buena dilución de los efluentes y por lo tanto de la biomasa bacteriana;
- Los sitios que presentan una calidad media corresponden a los sectores los en que se encuentra ganado río arriba de los puntos de mediciones. Se trata en particular de los puntos de East End (puntos GD24 y GD25) y de los puntos de la Playa El Soldado (puntos GD12 y GD13);
- Los otros sitios, es decir los que no poseen una población o ganado en cantidad importante (y donde no se hicieron análisis bacteriológicos), son probablemente todos clasificados en buena calidad bacteriológica.

Dadas las temperaturas especialmente altas y por la presencia de cantidad más o menos importante de materia orgánica, no hay que esperar una reducción significativa de la cantidad de gérmenes patógenos en los ríos. Inclusive la biomasa bacteriana podría desarrollarse.

Todo conduce a un número muy importante de gérmenes patógenos presentes en las aguas dulces, en cuanto hay contaminación por los efluentes urbanos o por el ganado.

Desde este punto de vista, las clasificaciones obtenidas son muy lógicas y confirman que hay un grave problema de salubridad pública. Se volverá a abordar este punto en el marco del informe sobre las recomendaciones de lucha contra las contaminaciones.


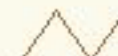


4.2.4.8 Síntesis de las clasificaciones de las aguas de los ríos de Guanaja

El Cuadro 15 sintetiza los valores obtenidos en los ríos para los 6 criterios estudiados.





Cuadro 15 : Síntesis de las clasificaciones de los ríos de Guanaja

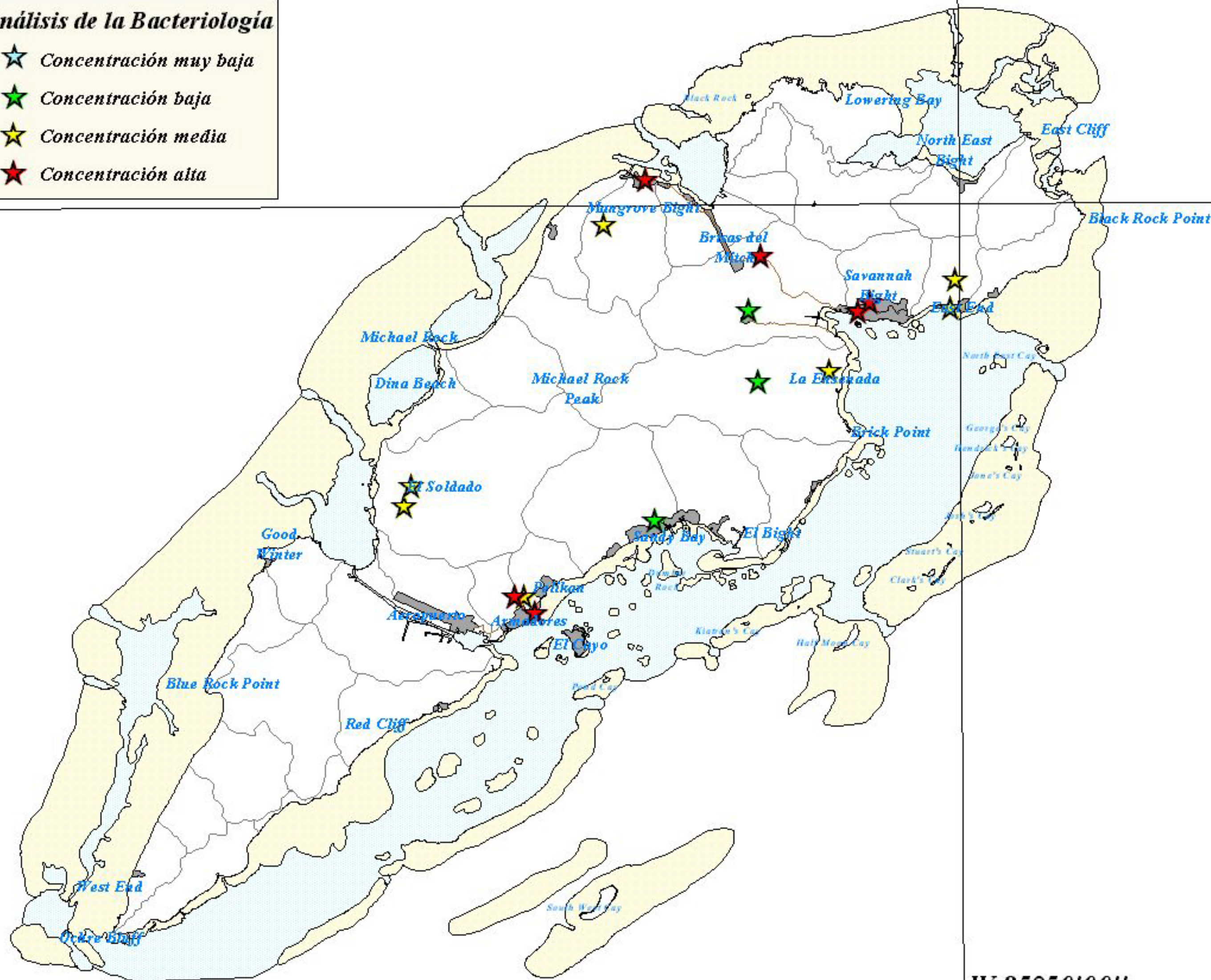
	MES	Materias orgánicas	Fósforo	Azote	Metales	Bacteriología
GD1						
GD2						
GD3						
GD4						
GD5						
GD6						
GD7						
GD8						
GD9						
GD10						
GD11						
GD12						
GD13						
GD14						
GD15						
GD16						
GD17						
GD18						
GD19						
GD20						
GD21						
GD22						
GD23						
GD24						
GD25						

	Muy bueno
	bueno
	mediano
	malo
	Sin valor

-  Casco urbano
-  Carretera de tierra
-  Cuenca hidrográfica
-  Arrecife
-  Laguna

Análisis de la Bacteriología

-  Concentración muy baja
-  Concentración baja
-  Concentración media
-  Concentración alta



N 16°30'00"

W 86°00'00"

W 85°50'00"



REPUBLICA DE HONDURAS

Secretaría de Turismo
 Proyecto de Manejo Ambiental de Islas de la Bahía
 Préstamo BID 938/SF-HO



DATOS CARTOGRAFICOS

Proyección Cartográfica: Universal Transversa de Mercator
 Esferoide: Clarke 1866
 Dato Horizontal: Noroamericano 1927
 Dato Vertical: Nivel medio del Mar 1956
 Fotografía Aérea: 1:20000, Julio de 1999
 Ortorectificación Digital: PMAIB, Julio del 2000
 Clasificación de Campo: PMAIB, IGN

Producido por:

Consorcio SAFEGE-SG/REAH-
 Mancada y Mancada

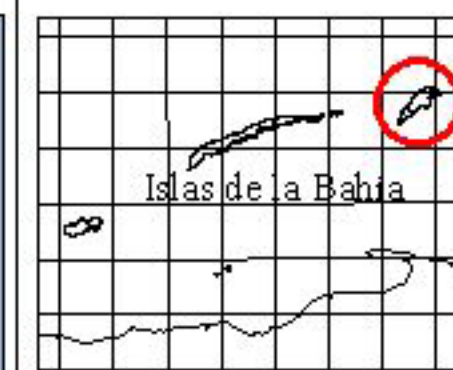
Revisión y Certificación:

PMAIB-Subprograma de
 Recursos Naturales

Escala 1:100.000

0 2 4 Kilometers

**Clasificación de las aguas
 continentales con respecto
 a la bacteriología**



**Mapa
 9/13**

4.2.5 Plantas empacadoras de mariscos

Tres plantas empacadoras de mariscos fueron inventariadas (ver capítulo 3). Están localizadas en Armadores (Mariscos Armadores y Mariscos Isleños), y en el Cayo (Islander Fishery). Las plantas de Armadores son las únicas que fueron seguidas mensualmente ya que el dueño de la planta Islander Fishery le negó el acceso al equipo que estaba encargado del muestreo. Las dos plantas donde se tomaron muestras comercializan esencialmente langostas, camarones y caracoles.

Estas diferentes plantas se abastecen de agua directamente a la red pública. Se trata de recursos en aguas superficiales.

Las aguas servidas de estas dos plantas presentan las características siguientes (ver Anexo 18 para los resultados):

- Los pH se acercan a la neutralidad y son generalmente poco diferentes de los de las aguas brutas, exceptuando un punto para el cual hay un aumento del pH;
- Si la conductividad de las aguas es débil y estable, no ocurre lo mismo con la conductividad de los efluentes. Esto fluctúa de manera más o menos importante para Mariscos Isleños. Para las dos plantas se apunta un aumento de la conductividad con respecto a las aguas brutas y por lo tanto de la concentración en sustancias disueltas. Dichas sustancias disueltas podrían provenir por una parte de la utilización de los preservantes utilizados en la cadena de empacamiento de los crustáceos.
- Las concentraciones de oxígeno disuelto de las aguas brutas son variables pero sin que haya hipoxia (por lo menos a nivel de los análisis realizados). También se puede constatar esta variabilidad en los efluentes. En el caso de la planta “Mariscos Isleños”, esta fluctuación es esencialmente debida a las aguas brutas. Sin embargo, en el caso de la planta “Mariscos Armadores”, la concentración de oxígeno disuelto en los efluentes parece ser mucho más débil que la de las aguas brutas. El bajo número de mediciones no permite sacar conclusiones.
- La turbidez de los efluentes industriales es muy variable. Puede ser medianamente fuerte (sin que valores excesivos sean obtenidos) mientras que la turbidez de las aguas brutas es más bien limitada. La turbidez de los efluentes varía en función del tipo de proceso y del producto que se acondiciona.
- Se pueden obtener valores muy fuertes para las MES, siendo de 1999 mg/l el máximo medido. Estas MES provienen directamente de las fábricas puesto que no hay MES en las aguas brutas. Las concentraciones de MES fluctúan sin ninguna coherencia con la turbidez.

- Las concentraciones de compuestos nitrogenados son significativas si se comparan con las aguas brutas. Las concentraciones de nitratos están generalmente incluidas entre 0 y 1,2 mg N/l. Las concentraciones de amonio se parecen sensiblemente a las concentraciones de nitratos (entre 0 y 1 mg N/l) pero se pueden observar picos que alcanzan 3,66 mg NH₄-N/l. Se obtienen las medias más fuertes en términos de nitratos y de amonio en la planta “Mariscos Isleños”. En fin, es probable que una fracción del nitrógeno se encuentre bajo forma orgánica.
- Las concentraciones de compuestos fosfóricos son muy variables pero a menudo muy elevados. Se encuentra generalmente el fósforo bajo forma de ortofosfatos pero es probable que la fracción orgánica del fósforo sea ocasionalmente importante. Los valores están incluidos entre menos de 1mg P/l y más de 25 mg P/l.
- Las concentraciones de materias orgánicas son variables pero a menudo muy importantes y esto en cualquiera de las dos plantas. Los valores de DBO₅ están incluidos entre 50 y 540 mg O₂/l. Esta variabilidad en concentración de materias orgánicas es como para las MES, función del tipo de proceso utilizado y del tipo de producto empacado. Las concentraciones varían así durante el día como se observó en Roatán (ver informe correspondiente). Se puede poner en evidencia el mismo tipo de constatación con la DQO. Tan sólo se han realizado 2 mediciones pero cada vez con concentraciones muy altas (se obtuvo una DQO superior a 1500 mg O₂/l).
- Las aguas brutas de las dos fábricas no parecen presentar contaminación por los coliformes totales. Además el número de coliformes totales es muy variable en los efluentes y puede ser muy importante. Parte de estos coliformes parece ser de origen fecal aunque el número de coliformes fecales siga siendo muy inferior al de los coliformes totales. Esto podría significar un control malo de las condiciones sanitarias en algunas plantas. La variabilidad de los resultados y el bajo número de mediciones no permite sacar conclusiones definitivas. Además, dada la fuerte concentración de materia orgánica, una contaminación de las muestras durante el muestreo podría conducir a un resultado erróneo. Desde este punto de vista, destaca que se obtienen los valores más fuertes en Mariscos Isleños. En lo que se refiere a la contaminación de las aguas litorales, el impacto de esas plantas parece limitado en comparación con las contaminaciones fecales muy importantes que provienen de los pueblos a la cercanía de esas plantas.

A modo de conclusión parece que las plantas producen esencialmente contaminaciones en nutrientes (y en particular en fósforo), en MES y en materias orgánicas.

4.3 Análisis global de las aguas marinas costeras

4.3.1 Introducción

Los objetivos perseguidos en el marco del seguimiento de las aguas marinas son los siguientes:

- Caracterizar el entorno fisicoquímico de las aguas marinas;
- Poner de relieve los sitios contaminados.

Para conseguir esta meta, se realizaron mediciones fisicoquímicas y bacteriológicas de las aguas marinas desde el mes de diciembre del 1999.

4.3.2 Estado bacteriológico de las aguas marinas de la isla de Guanaja

4.3.2.1 Introducción

Tan sólo tiene utilidad el control bacteriológico de las aguas marinas si tienen una actividad (ocios acuáticos) o a un uso (consumo de productos del mar). La presencia de gérmenes en las aguas marinas se vuelve un parámetro limitante de numerosas actividades de ocio en cuanto se produce un contacto entre el individuo y el agua.

En este sentido, bañarse en el mar es la actividad más sometida a una calidad bacteriológica optimal de las aguas marinas. Constituye una de las actividades recreativas que le gusta más a la gente tanto por los turistas como por los isleños. En esta ocasión, la espera de un entorno preservado de cualquier contaminación es cada vez más clara en la elección del lugar de residencia de los turistas (CEE, 1997). La calidad de las aguas marinas costeras debe considerarse como un indicador del entorno marino pero también como un elemento importante del desarrollo turístico.

El párrafo 4.3.2 se dedica a caracterizar el entorno bacteriológico de la isla de Guanaja.

4.3.2.2 Resultados de los análisis bacteriológicos de la isla de Guanaja

Como mencionado anteriormente, se localizaron los cuatro puntos de análisis en los sectores de las viviendas. Dada su importancia, se localizaron dos puntos alrededor del Cayo (comunidad de Bonacca) respectivamente al Norte y al Sur. Los otros dos puntos están localizados en otros dos principales centros de población: Savannah Bight y Mangrovre Bight. El conjunto de los resultados bacteriológicos y los gráficos correspondientes se encuentran en el Anexo 19.

Primero, cabe llamar la atención en dos series de análisis que conciernen Savannah Bight. Se excluyeron los resultados de diciembre del 1999 en este sitio en la medición en que la concentración de *Escherichia Coli* es superior a la de los coliformes totales: prueba de un error en el análisis realizado. En efecto hay que recordar que los *Escherichia Coli* forman parte de los coliformes fecales, rama de los coliformes totales y por lo tanto su concentración en ningún caso puede ser superior. Por otra parte las concentraciones obtenidas en este sitio durante el mes de agosto del 2000 han de ser utilizadas con precaución. Si la contaminación bacteriológica se manifiesta, el valor obtenido parece sujeto a caución puesto que es realmente muy superior a las otras mediciones.

Los resultados obtenidos traducen una fuerte disparidad tanto espacial como temporal. Se distinguirá por una parte los dos sitios situados a la orilla del Cayo y por otra parte los sitios localizados a lo largo del litoral de la isla.

Los dos sitios del Cayo presentan concentraciones bacterianas relativamente similares. Sin embargo se notan concentraciones ligeramente superiores al norte del Cayo (lado de la isla) con respecto al sitio ubicado al sur (lado del mar). Las concentraciones de *Escherichia Coli* son relativamente débiles con respecto a lo que hubiera podido suponer a consecuencia de los vertidos importantes de aguas negras no tratadas inducidos por la fuerte concentración de población. Salvo durante el mes de junio en el sitio Sur del Cayo (800 gérmenes / 100 ml) las concentraciones de *Escherichia Coli* no superan 200 gérmenes / 100 ml. Así mismo las concentraciones de coliformes no presentan valores excesivamente fuertes. La correlación significativa entre las concentraciones de *Escherichia Coli* y de coliformes totales indica un origen humano de los contaminantes. Las mediciones de diciembre del 1999 para el Sur Cayo y de abril del 2000 para el Norte Cayo son las únicas en mostrar concentraciones importantes de coliformes totales sin que *Escherichia Coli* puedan ser descubiertas. Esto se puede explicar por vertidos de efluentes de las plantas empacadoras de mariscos o por vertidos de agua de residuales de la limpieza de los barcos pesqueros. Las débiles concentraciones bacterianas apuntadas no traducen la ausencia de aportes procedentes del Cayo pero más bien una buena dilución de estos efluentes en el medio marino. La situación del Cayo en el medio de una laguna abierta de gran tamaño sometida a unos vientos importantes favorece la dispersión y la dilución de los efluentes.

Los sitios localizados a lo largo del litoral presentan concentraciones más importantes de gérmenes bacterianos de los del Cayo. El sitio de Savannah Bight presenta los peores resultados en términos de contaminación bacteriana. De las 12 tomas, 9 presentan concentraciones de *Escherichia Coli* que superan la norma guía de 100 gérmenes / 100 ml con valores que suelen superar los 500 gérmenes / 100 ml. Las concentraciones de coliformes totales siguen la misma lógica que las de en *Escherichia Coli*. Estas constataciones implican aportes importantes en contaminantes bacterianos de origen humano. La localización del sitio de muestreo en el fondo de una bahía induce un hidrodinamismo débil y limita la renovación de las aguas y por

extensión la dispersión de los efluentes cargados. Esta situación se encuentra en una menor medida en el sitio de Mangrove Bight al Noreste de la isla. Como en Savannah Bight, se apuntan concentraciones de *Escherichia Coli* y de coliformes totales que pueden ser altas.

El origen humano de los gérmenes está marcado.

En complemento de estos sitios de estudio, se realizaron 2 muestreos frente a las plantas emparadoras de mariscos de Armadores. Estas muestras se tomaron en septiembre y octubre de 1999 y muestran una ausencia de *Escherichia Coli* y concentraciones de coliformes totales débiles a medias.

4.3.2.3 Clasificación de las aguas marinas con respecto a la bacteriología

Los resultados bacteriológicos de las aguas marinas obtenidos durante la campaña de mediciones se clasificaron según una clasificación instantánea basada en la noción de no-superación de un umbral. Para cada parámetro, se han definido dos umbrales:

- Un número guía que indica el límite entre un medio de buena calidad y un medio de calidad media;
- Un número imperativo que indica la concentración máxima de bacterias más allá de la cual bañarse puede presentar un riesgo sanitario importante.

Los umbrales que se han tomado en cuenta (Cuadro 16) son los que se han definido por la directiva CEE n°76/160 del 8/12/1975 aplicable en las islas francesas del Caribe (Guadalupe, Martinica, San Martín).

Cuadro 16: Umbrales de calidad bacteriana de las aguas balnearias

Parámetro	Coliformes totales	<i>Escherichia Coli</i>	Interpretación del análisis	Indice
Número guía	< 500 / 100 ml	< 100 / 100 ml	Bueno	1
Número imperativo	< 10 000 / 100 ml	< 2 000 / 100 ml	Medio	2
	> 10 000 / 100 ml	> 2 000 / 100 ml	Malo	3

A partir de los índices atribuidos a cada uno de los dos parámetros (Anexo 20), se pudo establecer un cuadro recapitulativo (Cuadro 17) conservando el índice más “declasificante” para la calidad del medio. Se aplica en esto el mismo método para la clasificación de las aguas dulces, lo cual ofrece la ventaja de asegurar la homogeneidad de los protocolos.

Cuadro 17 : Índices instantáneos de calidad bacteriológica de las aguas marinas de Guanaja

	9/99	10/99	12/99	1/00	2/00	3/00	4/00	5/00	6/00	7/00	8/00	9/00
Norte Cayo	2	2	1	2	2	1	2	1	2	1	1	1
Sur Cayo	2	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1	1
Savannah Bight	2	1	x	1	2	1	2	2	2	2	3	2
Mangrove Bight	1	2	1	2	2	2	1	2	3	1	1	1
Mariscos	1	2										

	bueno
	mediano
	malo
	Sin valor

Los resultados contenidos en el cuadro situado a continuación confirman las observaciones hechas previamente.

Así se constata que la calidad bacteriana de las aguas alrededor del Cayo es buena a media con una ligera diferencia entre el norte y el sur (9 muestras sobre 12 con buena calidad contra 6 para el Norte).

Los dos sitios costeros presentan variaciones más importantes en términos de calidad bacteriana de las aguas ya que los resultados están clasificados de buena a mala calidad. Si la calidad de las aguas es generalmente de calidad media, se pueden observar episódicamente fuertes concentraciones, lo cual traduce aportes ocasionales importantes en bacterias y una degradación menos rápida de estas bacterias en el medio marino. Se refuerzan estas constataciones por el hecho de que se han realizado los muestreos durante la temporada seca, situación que provoca una degradación más rápida de las bacterias y menores aportes en gérmenes que en periodo de lluvia.

Se completa este análisis por un enfoque sintético que consiste en conservar sólo el valor más “desclasificante” como índice global de la calidad bacteriológica de las aguas de cada sitio. Para esto, se utilizan los resultados obtenidos en un sitio durante un año para valorar la calidad global del sitio de muestreo. Se ha efectuado esta clasificación anual en base a los once últimos muestreos a fin de cubrir todo un año

(el mes de septiembre del 1999 es redundante con el del año 2000). De la misma manera que para la clasificación instantánea, se reparten los sitios en 3 clases (bueno, medio, malo) que constituyen un indicador de la calidad del sitio. Para no confundir con el índice instantáneo, se representan las clases de calidad con letras (A: calidad buena; B: calidad media; C: calidad mala). Delante del índice está el número de muestras realizadas durante el año considerado. Así, el índice “10C” corresponde a un sitio de mala calidad a nivel bacteriológico y que fue analizado 10 veces durante el año. Se presentan los resultados obtenidos en el Cuadro 18.

Este cuadro confirma que las aguas tienen una calidad media alrededor del Cayo y una calidad bacteriológica media en los dos puntos de análisis situados a lo largo del litoral de la isla de Guanaja. Estos resultados ponen en evidencia el impacto de los centros urbanos sobre el medio receptor, impacto amplificado o reducido en función de las condiciones hidrodinámicas.

La mala calidad de las aguas en los sitios de Savannah Bight y de Mangrove Bight puede generar un riesgo serio para la salud humana, sea por el hecho de bañarse en el mar (para personas deficientes desde un punto de vista inmunitario) o por un consumo de productos del mar que presenta concentraciones bacterianas altas a consecuencia de un proceso de bioacumulación.

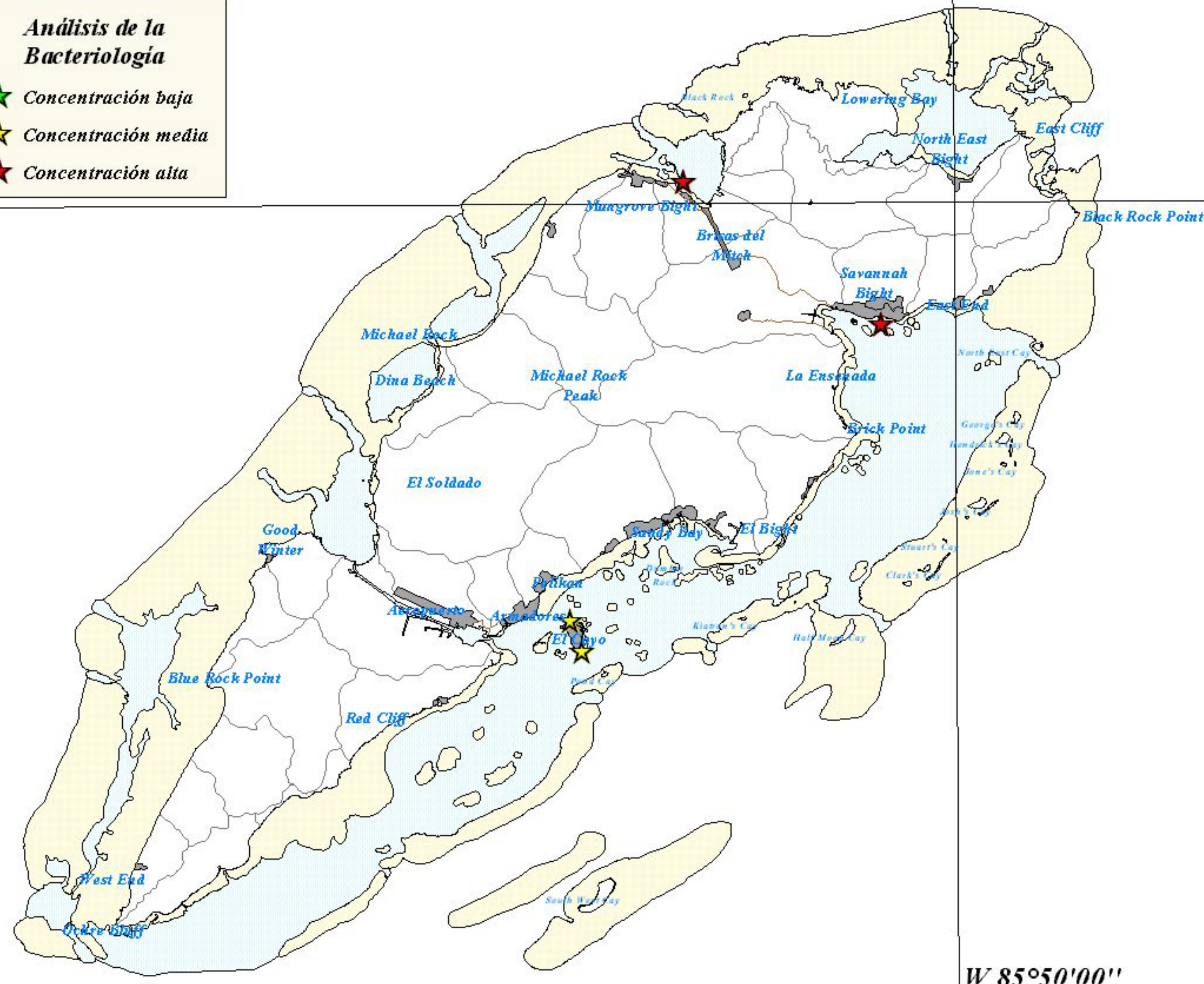
Cuadro 18: Índice anual de calidad bacteriológica de la calidad de las aguas marinas de Guanaja

Sitio	Índice anual
Norte Cayo	11 B
Sur Cayo	11 B
Savannah Bight	10 C
Mangrove Bight	11 C
Mariscos	X ¹

	bueno
	mediano
	malo
	Sin valor

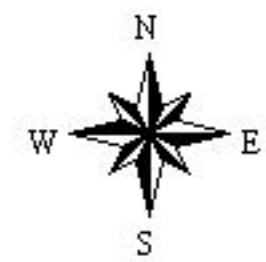
¹ No se ha calculado el índice para este sitio en la medida en que tan sólo 2 muestras se tomaron durante los últimos doce meses.

	Casco urbano	Análisis de la Bacteriología
	Carretera de tierra	
	Cuenca hidrográfica	
	Arrecife	
	Laguna	
	Concentración baja	
	Concentración media	
	Concentración alta	



W 86°00'00"

W 85°50'00"

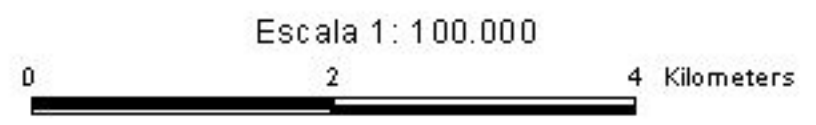


REPUBLICA DE HONDURAS
 Secretaría de Turismo
 Proyecto de Manejo Ambiental de Islas de la Bahía
 Préstamo BID 938/SF-HO

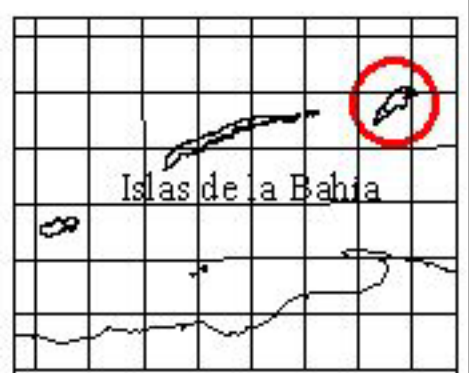
DATOS CARTOGRAFICOS

Proyección Cartográfica: Universal Transversa de Mercator
 Esferoide: Clarke 1866
 Dato Horizontal: Noroamericano 1927
 Dato Vertical: Nivel medio del Mar 1956
 Fotografía Aérea: 1:20000, Julio de 1999
 Ortorectificación Digital: PMAIB, Julio del 2000
 Clasificación de Campo: PMAIB, IGN

Producido por:
 Consorcio SAFEGE-SGGREAH-Moncada y Moncada
 Revisión y Certificación:
 PMAIB-Subprograma de Recursos Naturales



Clasificación de las aguas balnearias con respecto a la bacteriología



Mapa 10/13

4.3.3 Estado fisicoquímico de las aguas marinas de la isla de Guanaja

El objetivo del control fisicoquímico de las aguas marinas de la isla de Guanaja es doble:

- Caracterizar los ecosistemas marinos con fin de comprender su desarrollo;
- Analizar las perturbaciones del ambiente tras descargas antrópicas.

Se midieron varios parámetros con fin de obtener una visión lo más amplia posible de los fenómenos. El muestreo del medio marino de Guanaja consta de 13 puntos de análisis (Anexo 11) repartidos alrededor de la isla. Todos los valores aparecen en Anexo 21.

Los dos cuadros siguientes (Cuadro 19 & Cuadro 20) recapitulan las estadísticas de todos los datos de Guanaja entre abril de 1999 y mayo del 2000. Se estudiaron para cada parámetro la media, la desviación estándar, la mediana, lo mínimo y lo máximo.

Cuadro 19: valores estadísticos de los parámetros fisicoquímicos de las aguas marinas de Guanaja

Parámetro	pH	Temperatura	[O2]	salinidad
Unidad		°C	mg/l	‰
Número mediciones	127	140	140	88
Media	8,3	28,0	8,0	35,4
Desviación estándar	0,1	1,0	1,5	0,4
Mediana	8,2	27,8	7,9	35,5
Mínimo	8,0	26,3	4,9	34,1
Máximo	8,5	30,7	13,0	36,1

Cuadro 20: valores estadísticos de los nutrientes de las aguas marinas de Guanaja

Parámetro	Nitratos	Nitritos	Amonio	Ortofosfatos	Fósforo total
Unidad	mg NO3-N/l	mg NO2-N/l	mg NH4-N/l	mg HPO4-P /l	mg P/l
Número mediciones	110	136	136	110	110
Mínimo	0,02	0,001	< 0,01	<0,01	0,03
Máximo	0,35	0,042	0,29	0,11	0,51

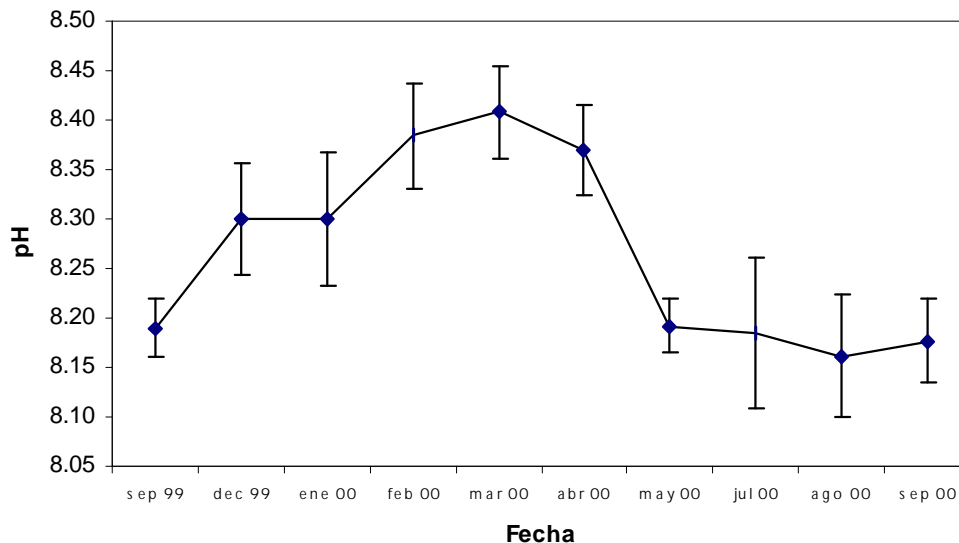
4.3.3.1 El pH

El pH es estable en el conjunto de los sitios y no experimenta ninguna variación significativa de un sitio a otro.

Las variaciones temporales sobre un año son débiles (al máximo de 0,4 unidades pH) y no traducen fenómenos distróficos.

Los valores se sitúan en una gama normal para el agua marina. Sin embargo se observa un ciclo anual que se destaca del análisis de los valores mensuales (Figura 29).

Figura 29 : Medias y desviaciones estándares mensuales del pH de las aguas marinas de Guanaja



El pH varía comúnmente con la temperatura y la salinidad en lo que se refiere a los parámetros del medio. En el presente caso, las variaciones registradas no están relacionadas con uno o otro de estos parámetros. Por otra parte, las variaciones significativas del pH son generalmente relacionadas a un vertido contaminante o a la actividad fotosintética del fitoplancton.

En el presente caso, debido a la homogeneidad de los valores a nivel espacial, no se puede tratar del efecto de un vertido. Sin embargo, la curva registrada sigue clásicamente la evolución mensual de las concentraciones fitoplanctónicas con un aumento a finales del invierno y al principio de la primavera y una disminución al final de la primavera.

En conclusión, las débiles variaciones registradas manifiestan probablemente la evolución de las concentraciones fitoplanctónicas en las aguas marinas de Guanaja.

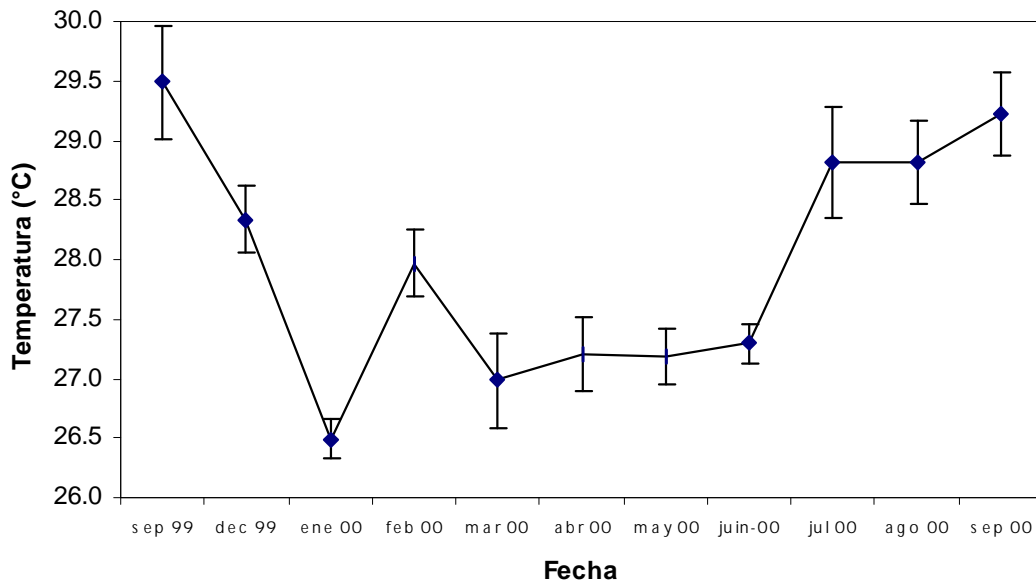
Debido a la débil amplitud de variaciones del pH, se trata de un ciclo de evolución normal y no de una crisis distrófica sobrevenida en primavera 2000.

4.3.3.2 La temperatura

Las temperaturas mensuales recogidas siguen un ciclo anual con variaciones anuales de amplitud débil (3°C sobre el año contra aproximadamente 6,5°C en Roatán). El máximo se obtiene en el mes de septiembre y el mínimo durante el mes de enero.

Más allá de estas consideraciones puntuales, dos periodos marcados aparecen, se trata de los meses de julio a septiembre con temperaturas estables de unos 29°C y el periodo de enero a junio con temperaturas que se aproximan a los 27°C. El valor del mes de febrero es curioso y puede corresponder a un mes climático particular y no representativo de la norma. El aumento de la temperatura de las aguas marinas es rápido (1,5°C en un mes) mientras que la disminución de las temperaturas parece extenderse sobre un periodo más largo (de 2 a 3 meses). La desviación estándar de las temperaturas es más débil durante la temporada fría (invierno y primavera boreal) que en periodo de calor (verano y otoño boreal). Estas condiciones traducen un comportamiento ligeramente diferente al de Roatán. Primero, el lado muy abierto de la laguna de Guanaja sobre el mar explica en parte la amplitud más débil de las temperaturas registradas. Por otra parte, la evolución de las desviaciones estándares en el tiempo puede explicarse por numerosos factores y notablemente por las condiciones climatológicas más estables temporalmente y espacialmente durante la primaveral boreal.

Figura 30 : Medias y desviaciones estándares mensuales de las temperaturas de las aguas marinas de Guanaja



Se constata que el punto GM6 (Black Point) presenta una amplitud de temperaturas superiores a la de los otros sitios. Esta tendencia es debida a la conjunción de una pequeña profundidad y a la acción del manglar adyacente sobre la circulación de las aguas lo cual favorece el calentamiento.

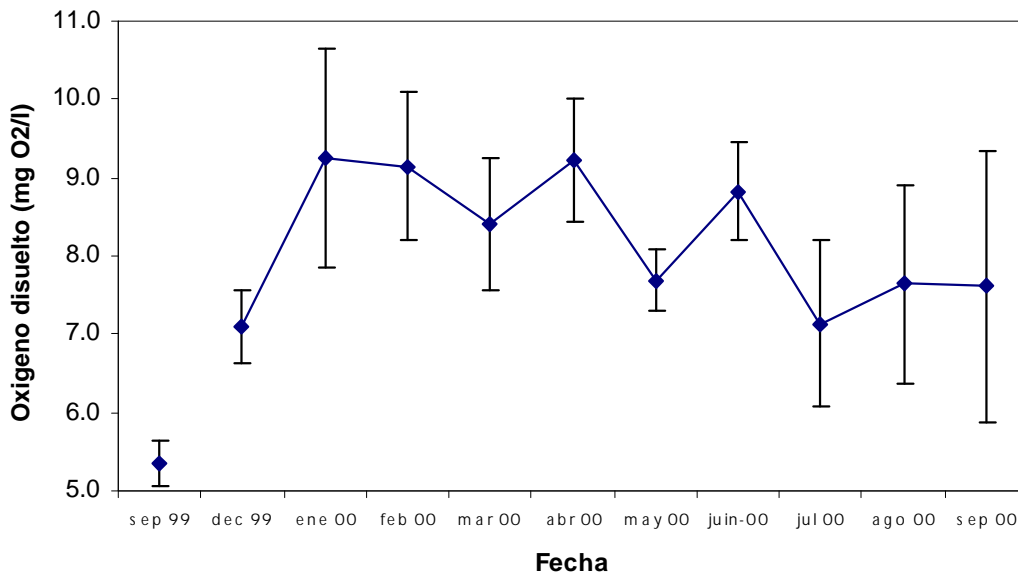
Es difícil hablar de una diferenciación Norte/Sur a nivel de las temperaturas. Sin embargo, se puede observar que en ciertos meses las aguas son ligeramente más frías en la costa Norte de la isla (durante el mes de septiembre 2000 por ejemplo). Esta situación puede resultar de un pequeño efecto de la isla con una tendencia a aguas más calientes entre la isla y el continente. Este fenómeno sin embargo no es muy marcado y no disponemos de una serie de datos suficiente en el tiempo para poder concluir sobre este fenómeno.

El impacto de los ríos sobre la temperatura del agua marina es poco marcado. Solo el punto GM9 (La Ensenada) muestra variaciones susceptibles de ser atribuidas a la mezcla de las dos masas de agua de temperaturas diferentes.

4.3.3.3 El oxígeno disuelto

El estudio de la evolución mensual del oxígeno disuelto de las aguas marinas de Guanaja (ver Figura 31) no aporta ninguna información sobre un eventual ciclo anual de este parámetro debido a la fuerte variación espacial registrada (traducida sobre la figura por desviaciones estándares importantes).

Figura 31 : Medias y desviaciones estándares mensuales de oxígeno disuelto de las aguas marinas de Guanaja



Para analizar este parámetro, es necesario estudiar los sitios por separado. Si se considera que el punto GM1 (Blue Rock Point) es el más propenso a trazar la evolución natural del oxígeno disuelto en el tiempo debido a su relativo aislamiento de las fuentes perturbadoras que son las actividades humanas o los aportes de las cuencas, se puede constatar que la amplitud de las variaciones anuales (Figura 32) es débil (2,8 mg/l) con un mínimo de 6,4 mg/l en el mes de julio 2000, y un máximo de 9,2 mg/l en el mes de junio 2000. Si se considera como normal concentraciones entre 5,8 y 9,2 mg/l correspondientes a un 80 y un 120% de saturación relacionado a las variaciones “nycthemerales” de la actividad fotosintética y al reequilibrio más lento del oxígeno disuelto en comparación a las variaciones diarias de temperaturas, se constata que los valores tomados en este punto no presentan ni saturación ni hipoxia traduciendo así un buen funcionamiento del ecosistema marino.

Un ciclo anual parece destacarse de esta curva con valores más débiles durante el verano (julio) y un ligero pico de concentraciones en junio 2000. Este ciclo muestra un ligero aumento de la producción primaria durante la primavera y el impacto del aumento de la temperatura del agua durante el verano lo cual se traduce por una disminución de la concentración de oxígeno disuelto.

En lo que se refiere a los otros puntos, a priori, no se observa diferencia Norte / Sur en las concentraciones de oxígeno disuelto. Las variaciones de las concentraciones apuntadas son más débiles que en las aguas marinas de Roatán y se pueden observar también hipoxias y sobresaturación mucho menos marcada.

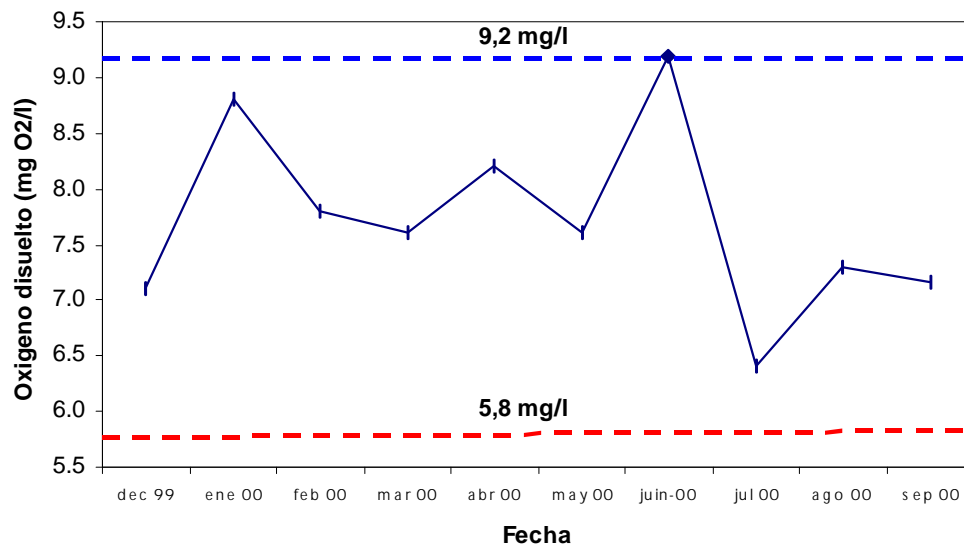
Las variaciones temporales de las concentraciones de oxígeno disuelto siguen un esquema variable de un sitio a otro. Así, se puede constatar que los puntos GM6 (Black Point) y GM13 (Manglar aeropuerto) presentan variaciones de concentración de oxígeno disuelto mucho más importante que en los otros sitios. Este fenómeno ya fue observado en las aguas marinas de Roatán en los puntos cercanos a los manglares. Eso se explica por cambios importantes entre los dos ecosistemas marinos. La dinámica de los manglares es importante y hace pensar que las fuertes variaciones de oxígeno disuelto tienen que ser relacionadas a las variaciones de los aportes que provienen del ecosistema costero.

Si las concentraciones medidas son parecidas de un mes a otro, las del mes de septiembre 1999 son significativamente más bajas (aproximadamente 1,5 mg/l), y esto en casi todos los sitios, salvo dos excepciones, (puntos GM4 « Mickael Rock » y GM6 « Black Point »). Este mínimo de septiembre 1999 no se vuelve a encontrar en septiembre 2000. Es posible que ese mínimo de septiembre 1999 sucediese en un verano 1999 mucho más seco y más caliente lo cual llevaría disminuciones significativas de las concentraciones.

Las fluctuaciones mensuales no traducen en general ningún fenómeno particular. Se puede observar que las variaciones más importantes se han obtenido en el sitio GM5 (Mangrove Bight) que tiene la particularidad de presentar la concentración más baja

de oxígeno disuelto de la isla con 4,9 mg/l en septiembre 1999. Este mínimo corresponde a un estado hipóxico poco marcado (62,5 % de saturación), resultados inducidos por los efluentes provenientes del sector vecino, y por los aportes de materia orgánica desde los manglares adyacentes.

Figura 32 : Medias y desviaciones estándares mensuales de oxígeno disuelto en las aguas marinas a Blue Rock Point

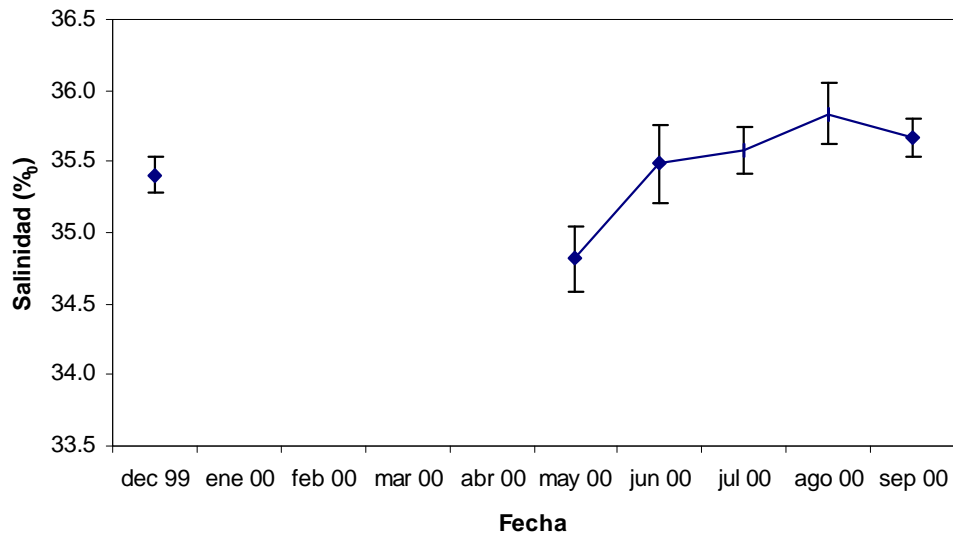


4.3.3.4 La salinidad

La salinidad media de las aguas de Guanaja es de 35,4 ‰ ó sea del mismo orden que en Roatán en el Caribe. La desviación estándar de 0,4 ‰ es débil. Si la debilidad de los valores del mes de septiembre 1999 es difícilmente interpretable, los otros valores siguen una lógica relacionada a las influencias climáticas sobre las aguas marinas. La figura que se presenta a continuación (Figura 33) toma los valores obtenidos entre diciembre 1999 y septiembre 2000 (sentimos la ausencia de datos entre enero y abril 2000 los cuales hubiesen sido útiles para confirmar y precisar el fenómeno). La figura muestra sobre todo un aumento regular de la salinidad entre mayo 2000 y agosto 2000. Debido al valor de diciembre 1999, es posible prever una disminución de la salinidad durante el invierno boreal relacionado a aportes de agua dulce proveniente de los ríos de la isla (o del continente), salinidad que se estabilizará alrededor de 34,5 ‰ antes de subir en el verano boreal alrededor de 35,5 ‰, valor comúnmente encontrado en el Caribe.

El impacto de la temporada de lluvia en invierno boreal es notable particularmente en el punto GM9 (La Ensenada) con concentraciones de sal disuelta inferior o muy inferior a las de los puntos situados alrededor. Una serie temporal completa sería indispensable para invalidar o confirmar este fenómeno.

Figura 33 : Medias y desviaciones estándares mensuales de la salinidad de las aguas marinas de Guanaja



4.3.3.5 Los compuestos nitrogenados

El nitrógeno es un elemento nutritivo necesario al desarrollo de la biomasa alga. El fitoplancton es particularmente sensible a la ausencia de nitrógeno a nivel de la columna de agua. Se considera este parámetro como el elemento generalmente limitante al desarrollo del fitoplancton marino.

En medio acuático, se observa el nitrógeno mineral bajo 3 formas disueltas:

- El amonio NH_4^+ (en equilibrio con la forma gaseosa NH_3);
- Los nitritos NO_2^- ;
- Los nitratos NO_3^- .

En condiciones aeróbicas, el amonio se oxida rápidamente en nitrito bajo la actividad bacteriana. El amonio es la forma más problemática para la vida acuática dada la toxicidad del amoníaco y porque su oxidación consume oxígeno que puede volverse limitante para la fauna acuática. Sus orígenes en la columna de agua son varios, tales como:

- La amonificación del nitrógeno orgánico;
- Los efluentes urbanos o industriales nada o mal depurados;
- Los aportes difusos de las cuencas;

- La liberación a partir de los sedimentos.

Amonio

Las concentraciones de amonio son muy variables tanto de un punto de vista espacial como temporal en las aguas marinas de Guanaja. Dos periodos pueden distinguirse en función de las concentraciones obtenidas:

- El periodo de septiembre 1999 a abril 2000 con una gran variación de los valores y de las concentraciones pudiendo sobrepasar los 100 $\mu\text{g NH}_4\text{-N/l}$;
- El periodo de mayo 2000 a septiembre 2000 con variaciones espaciales y temporales mucho más débiles en las concentraciones.

Durante el periodo de septiembre 1999 a abril 2000, las variaciones apuntadas en amonio son muy importantes (de 10 $\mu\text{g NH}_4\text{-N/l}$ a 290 $\mu\text{g NH}_4\text{-N/l}$). Las concentraciones de septiembre 1999 solo conciernen 6 de los 13 puntos de estudio.

Los valores más importantes pueden explicarse por el impacto de las actividades antrópicas. Los valores muy elevados medidos en los puntos GM8 (Savannah Bight) y GM12 (Armadores) son directamente relacionados a los vertidos urbanos de Savannah Bight e industriales en Armadores. Un pico de concentración de amonio fue obtenido en el sitio GM3 (El Soldado) en septiembre 1999. Este pico de una amplitud de 290 $\mu\text{g NH}_4\text{-N/l}$ es muy elevado para el medio marino. Sin embargo, corresponde efectivamente a un pico de concentración de amonio a nivel del río El Soldado. Si esta cuenca de gran tamaño es poco urbanizada, lleva contaminaciones debido al ganado. Por lo tanto es normal que el pico de contaminación transportado en septiembre 1999 por el río corresponda a un pico de contaminación del medio marino. Sin embargo no es normal que esos dos picos sean de la misma amplitud, porque una dilución tendría que intervenir en el medio marino. Debido a que el punto GM3 está situado en el eje del río a la derecha de un paso a través del arrecife, es posible que el agua dulce no se mezcle enseguida con el agua del mar, y salga en el eje del paso. Este máximo de amonio obtenido en el medio marino tiene que ser considerado con mucha precaución.

Los otros 3 sitios donde se tomaron muestras en septiembre 1999 presentan concentraciones más débiles (de 60 a 80 $\mu\text{g NH}_4\text{-N/l}$) pero que quedan elevadas para un medio marino abierto. Cabe notar que estos puntos están situados enfrente de Mangrove Bight, del Cayo y en el canal del aeropuerto, lo que puede explicar que se encuentren concentraciones significativas, estas estando directamente relacionadas a las contaminaciones antrópicas.

De diciembre 1999 a abril 2000, las concentraciones varían mucho en el tiempo y en el espacio. Durante esos 5 meses valores muy fuertes han sido relevados.

Estos valores fuertes fueron obtenidos principalmente en diciembre 1999 (4 de los 8 valores sobrepasan las 100 $\mu\text{g NH}_4\text{-N/l}$) y están localizados en la costa Oeste de la isla, lo que se puede explicar por aportes más importantes de las cuencas de este lado de la isla. Este fenómeno también se ve en el Sur Oeste (punto GM1 & GM2) y al Norte de la isla (punto GM5 & GM6). Se considerara que la fuerte concentración del punto GM5 (Mangrove Bight) es debida a la vez al lavado del suelo de la cuenca y a los aportes urbanos. El pico de concentración de los sitios GM2 y GM6 (Black Point) se explican por los aportes importantes de la escorrentía de las aguas a través de los manglares. El pico de concentración encontrado en GM1 es más problemático puesto que este punto está localizado en alta mar y el resultado correspondiente es sospechoso.

Los otros valores particularmente elevados fueron obtenidos en enero 2000 en el punto GM9 (Ensenada) y en febrero 2000 en los puntos GM6 (Black Point) y GM8 (Savannah Bight). En el caso del sitio GM9, se puede explicar esta concentración por la escorrentía de la cuenca cuyo río desemboca frente al punto de medición. El caso del sitio GM6 ha sido abordado precedentemente y se explica por los aportes del manglar. El punto GM8 esta situado enfrente de la comunidad de Savannah Bight y esta bajo la influencia de los vertidos de aguas servidas domésticas.

El último sitio que presenta una concentración elevada de amonio es el punto GM10 en el mes de abril 2000. Esta concentración es tres veces superior al máximo observado a nivel de los otros sitios durante ese mes, en un sitio abierto que no recibe aportes antrópicos o de las cuencas. Por otra parte, la hipótesis de una degradación de una biomasa fitoplanctónica importante como continuación a una crisis distrófica del medio no es posible debido al periodo de observación. Este último valor debe ser considerado con precaución como el punto GM1 en diciembre 1999.

Paradójicamente, el punto GM11 situado a proximidad de Bonacca no presenta ningún pico de amonio como lo dejaba temer la importancia de los vertidos domésticos no tratados. Dos hipótesis pueden ser emitidas para explicar este fenómeno:

- Una mala localización del punto de medición este último alejado de los sitios de vertidos;
- Una dilución y dispersión importante de los efluentes en el medio receptor.

Debido a la posición del Cayo en medio abierto, con un hidrodinamismo importante, y debido a la ausencia de vertidos puntuales (ausencia de colector de aguas negras), la segunda hipótesis parece ser la más probable.

Si se estudia la evolución temporal de las concentraciones de amonio, se puede notar que estas son más elevadas durante el mes de diciembre 1999. Estas disminuyen a continuación hasta el mes de abril 2000. Influencias locales perturban este ciclo en

ciertos puntos. Esta observación se nota particularmente en los sitios frente a las industrias o a los sectores urbanizados.

En lo que concierne el periodo de mayo 2000 a septiembre 2000, las concentraciones son mucho más bajas que las observadas anteriormente y presentan muy pocas variaciones espaciales o temporales. La mayoría de los valores se sitúan por debajo de $10 \mu\text{g NH}_4\text{-N/l}$. Solo el punto GM5 (Mangrove Bight) se destaca de los otros sitios con valores más elevados, esta diferencia es debida a los aportes contaminantes del pueblo localizado a proximidad del punto de muestreo.

Las concentraciones de NH_4 en las aguas marinas de Guanaja son elevadas con una media de $30 \mu\text{g NH}_4\text{-N/l}$ este valor es mucho más bajo que el de Roatán. Para comparar, se puede dar la media apuntada en la laguna de Celestun en el Yucatan (Méjico) de $75,7 \mu\text{g NH}_4\text{-N/l}$ (Herrera-Silvera *et al.*, 1998) y el intervalo de las concentraciones en 39 lagunas costeras mejicanas (Contreras *et al.*, 1996) entre 70 y $140 \mu\text{g NH}_4\text{-N/l}$.

Nitritos

En el ciclo del nitrógeno, los nitritos son intermediarios relativamente fugaces entre el nitrógeno amoniacal y los iones nitratos. Inestables, son rápidamente oxidados en nitratos (procedimiento de nitrificación) en medio marino y sólo se encuentran en concentraciones muy débiles. En el mar del Caribe, la nitrificación es debida en su mayoría a la acción de bacterias no fotosintéticas que viven en simbiosis con las esponjas y los corales (Coredor *et al.*, 1988).

No hay variaciones importantes en las concentraciones de nitritos : cada mes los sitios presentan valores en la misma gama de concentración. De un punto de vista temporal, se distinguen dos periodos:

- El periodo de septiembre 1999 a enero 2000 con valores medios;
- El periodo de febrero 2000 a septiembre 2000 con concentraciones más débiles.

Las concentraciones máximas de nitritos se obtuvieron en diciembre 1999 en medio de la temporada de lluvia. El aumento de las concentraciones es generalizado pero toca todos los puntos con la misma amplitud. Los sitios los más afectados por el aumento son los sitios ubicados a proximidad de los manglares (puntos GM6 & GM13) así como la bahía de Savannah Bight (puntos GM7, GM8 & GM9). Este aumento traduce aportes importantes en nitrógeno debido a las cuencas o a los vertidos urbanos. La oxidación del nitrógeno orgánico se traduce por una elevación de la concentración de nitritos que a continuación son rápidamente oxidados en nitratos. Los valores disminuyen en los meses siguientes y se normalizan a partir de febrero 2000. En el periodo que cubre los meses de febrero a septiembre, las concentraciones son débiles o muy débiles y no tienen variaciones significativas.

Para concluir, las concentraciones de nitritos en las aguas marinas de Guanaja, la mayoría del tiempo son inferiores a los valores comúnmente encontrados en agua costera que se sitúan entre 10 y 20 $\mu\text{g NO}_2\text{-N/l}$ (CNEXO, 1983).

Nitratos

El ion nitrato es la forma oxidada estable del nitrógeno acuoso. Este ion no presenta facultades de complejo o de absorción. Entra en el ciclo del nitrógeno como uno de los soportes principales del crecimiento del fitoplancton.

Los nitratos presentan concentraciones elevadas a muy elevadas durante todo el año aunque el umbral de detección no permita tener la precisión requerida a la interpretación cuantitativa de las mediciones a partir de marzo 2000. Las concentraciones más elevadas se encuentran a finales del invierno principio de verano (febrero y marzo 2000) en los sitios localizados a proximidad de los manglares (puntos GM6 & GM13) o de los sectores urbanizados (puntos GM7, GM8 & GM12). En el caso del sitio GM12, la mineralización de los vertidos orgánicos de las plantas empacadoras de mariscos puede contribuir al aumento de la concentración de nitratos.

Concentraciones de nitratos fueron obtenidas en julio 2000 frente a Savannah Bight (sitio GM8). Estos valores podrían venir de la conjunción de aportes en nitrógeno desde los perímetros urbanizados, y de una mayor circulación de las aguas en esta bahía que limita el cambio de las aguas.

El sitio GM3 (El Soldado) presenta concentraciones más elevadas en septiembre 1999 y en mayo 2000 ó sea fuera del periodo de lluvias. Estos resultados son curiosos.

Los resultados obtenidos para los nitratos tienen que ser considerados con mucha precaución debido a las pequeñas variaciones espacio temporales obtenidas, y de los valores encontrados en los sitios donde las actividades antrópicas no pueden justificar dichos valores.

Uno se puede referir a los resultados de la modelización de las condiciones de desarrollo de las estructuras arrecifales en el Atlántico tropical Oeste ² llevada por la universidad de James Cook en Australia. Esta modelización puso en evidencia la especificidad de las Islas de la Bahía con relación a los nitratos. Este modelo, que utiliza los nitratos como parámetro, funciona en todo el Caribe con un valor máximo de 28 $\mu\text{g NO}_3\text{-N/l}$, salvo en el sector de las Islas de la Bahía. Un valor umbral de 39 $\mu\text{g NO}_3\text{-N/l}$ es necesario para incluir las Islas de la Bahía en el modelo. Desgraciadamente este valor fue sobrepasado numerosas veces y es probable que estos sean sujetos a caución.

² <http://ghsun1.kgs.ukans.edu:8002/LOhtml/MxHhtml/website.html>

Si estos valores son confirmados, resultará una amenaza importante que pesara sobre la totalidad del ecosistema marino y coralino que se traducirá por un remplazo progresivo de las especies coralinas por césped algal o macro algas bénticas.

4.3.3.6 Los compuestos fosfóricos

Durante el estudio, se analizaron dos formas de fósforo. Se trata de los ortofosfatos que corresponden a la forma mineral del fósforo y del fósforo total. El fósforo es un elemento nutritivo imprescindible para la vida acuática.

Ortofosfatos

Las concentraciones de ortofosfatos de las aguas marinas de Guanaja presentan valores más bajos que los valores registrados en Roatán. Se distinguirá el periodo de septiembre 1999 – febrero 2000 donde las variaciones espaciales pueden ser observadas con concentraciones que pueden ser elevadas o muy elevadas y el periodo de abril 2000 – septiembre 2000 con una homogeneidad de los valores en el tiempo y en el espacio.

Durante el primer periodo, los valores tienen tendencia a aumentar entre el mes de septiembre 1999 y los dos meses de invierno (diciembre y enero) caracterizados por fuertes lluvias. Los valores más fuertes se encuentran en los puntos situados enfrente de las cuencas de la costa Norte Oeste de la isla (punto GM3 & GM4) así como en la proximidad de las zonas de viviendas (puntos GM5, GM8 & GM12).

Durante el segundo periodo, las concentraciones son mucho más pequeñas y a menudo bajo el umbral de detección (concentraciones inferior a $10 \mu\text{g PO}_4\text{-P/l}$). Si se consideran como normales los valores de ortofosfatos en medio costero no contaminado en el orden de $10 \mu\text{g P/l}$ (Faure, 1993), valor que se encuentra en medio oceánico en el medio del Golfo de Honduras (El Sayed *et al.*, 1972), el medio ambiente de la isla de Guanaja presenta durante este periodo una buena calidad en cuanto a este parámetro. Se observa durante estos 6 meses un ligero aumento de las concentraciones de ortofosfato en la bahía de Savannah Bight (puntos GM7 & GM9 en julio 2000) y enfrente de Mangrove Bight (punto GM5 en septiembre 2000) debido a los vertidos de las zonas urbanizadas de estos sitios y a una débil recirculación de las aguas.

Fósforo total

Las concentraciones de fósforo total siguen la misma lógica que la del ortofósforo con una cierta heterogeneidad espacial entre septiembre 1999 y enero 2000 y una gran homogeneidad entre abril y septiembre 2000. Durante el periodo de septiembre 1999 a enero 2000, concentraciones muy fuertes de fósforo total pueden ser observadas (los valores de los sitios GM4 en diciembre 1999 y enero 2000 son

demasiado elevados para las aguas marinas para no ser considerados como dudosos) en los sectores de Mangrove Bight (sitio GM5), del Cayo (sitio GM11 & GM12) y East End (sitio GM7). Estos fuertes valores no son acompañados de subidas similares de ortofosfatos. Por lo tanto es probable que se trate de aportes importantes en fósforo orgánico proveniente de las industrias y de los sectores urbanizados debido a las fuertes precipitaciones apuntadas durante este periodo.

Durante el periodo que va de abril 2000 a septiembre 2000, se puede notar una homogeneidad en los resultados con valores inferiores al umbral de detección (50 $\mu\text{g P/l}$). Esta comprobación puede explicarse por ausencia de aportes terrígenos en periodo seco y por una buena dispersión de los efluentes urbanos en la laguna. La gran apertura de la laguna al mar permite una buena circulación de las aguas ayudadas por los vientos fuertes que soplan en este periodo del año. Debido a los umbrales obtenidos para los ortofosfatos durante este mismo periodo, es probable que las concentraciones de fósforo total sean muy inferiores al umbral de análisis (50 $\mu\text{g P/l}$).

4.3.3.7 Conclusión

Si se consideran los resultados de modelización efectuados por la universidad de James Cook, los umbrales normales para el buen funcionamiento de los arrecifes de las Islas de la Bahía serían de 39 $\mu\text{g NO}_3\text{-N/l}$ y 6 $\mu\text{g PO}_4\text{-P/l}$.

Comparado a estos umbrales, las concentraciones obtenidas son muy elevadas durante el periodo de lluvias, tanto para los nitratos y el amonio, como para los compuestos fosfóricos.

Al contrario, salvo el caso particular de los nitratos, las concentraciones de nutrientes parecen cercanas de los umbrales fuera del periodo de lluvias.

Conviene también guardar en mente que un cambio de protocolo ocurrió a principio del periodo seco. Es posible que este cambio de protocolo haya permitido acceder a mediciones más precisas y más bajas. Con el fin de ir más adelante, nuevos protocolos están en estudio, en particular para bajar los umbrales de análisis.

4.3.4 Indicadores biológicos de las aguas marinas de Guanaja

Esta parte no trata de la fauna y de la flora de los arrecifes coralinos, de los pastos y de los manglares que forman parte de otro componente del proyecto. Se trata de poner de relieve los indicadores biológicos de la calidad del agua tales como las biomásas fitoplanctónica y zooplanctónica.

El estudio del plancton no está todavía terminado, lo cual impide presentar los resultados. A título indicativo, se recuerda en Anexo 16 la lista preliminar de las Diatomeas de Roatán. Sin embargo, se abordará el análisis cualitativo de las especies

fitoplanctónicas y zooplanctónicas en un próximo documento, ya que se están adquiriendo la mayor parte de los datos correspondientes. Por eso, el diagnóstico siguiente se basa esencialmente sobre los resultados de Clorofila a y de los pheopigmentos.

La clorofila a y los pheopigmentos son parámetros esenciales ya que sirven como indicador integrativo y permiten caracterizar el conjunto de la biomasa fitoplanctónica. Pero la concentración de Clorofila a varía de una especie fitoplanctónica a otra. Sin embargo, una fuerte biomasa fitoplanctónica se acompaña casi sistemáticamente de una concentración elevada de Clorofila a y generalmente de pheopigmentos, al menos en el medio marino.

Al contrario, una débil concentración de Clorofila a indicará que hay una limitación de la biomasa fitoplanctónica sin permitir definir la causa (aguas oligotróficas, presencia de compuestos tóxicos, ramoneo excesivo...). Por eso, es imprescindible cruzar los datos hidrológicos y meteorológicos, los datos sobre la calidad de las aguas y sobre la pirámide trófica para interpretar lo mejor posible los resultados de los análisis de Clorofila a y los pheopigmentos.

Con respecto al estudio pendiente, los datos sobre las concentraciones de pigmentos clorofílicos en las aguas marinas de las Islas de la Bahía son muy fragmentarios y se podrán comentar cuando los datos sean completados.

Sin embargo, es posible levantar algunos comentarios indicativos, los que aparecen a continuación en función del tipo de estación de muestreo. Cabe recordar que los sitios de muestreo y de análisis de los pigmentos clorofílicos son los mismos que los que sirvieron a los análisis fisicoquímicos en el medio marino costero. Los resultados obtenidos aparecen en el Anexo 22.

Los resultados disponibles sólo conciernen el mes de marzo 2000. En general los valores medidos son extremadamente fluctuantes, entre 0,073 y 0,516 $\mu\text{g Chla/l}$.

Las estaciones oceánicas y las que están situadas en los sectores poco antrópicos corresponden a concentraciones generalmente más débiles de la clorofila que las estaciones localizadas a proximidad de sectores urbanizados.

Las concentraciones más fuertes se obtienen en las bahías que bordean el aeropuerto, al Norte Oeste y al Sur Este. Las concentraciones más fuertes son obtenidas al lado de Armadores, lo cual demuestra el impacto negativo de las contaminaciones urbanas e industriales de este sector.

La comprobación efectuada en Roatán se confirma válida para Guanaja, al saber que los valores más fuertes de clorofila a están más bien obtenidos en los sitios donde hay :

- Una fuerte presión antrópica la cual se convierte en un flujo más o menos continuo de contaminaciones orgánicas y nutritivas;
- Un medio confinado con menos intercambios con el exterior.

Es preferible esperar a tener más resultados para sacar conclusiones. Parece ser que los valores más fuertes son más bien característicos de sistemas mesotrópicos. Poniendo a parte los sectores contaminados, las concentraciones de clorofila a mediciones en las muestras de Guanaja son bastante similares a los que se observan clásicamente a nivel de los arrecifes tropicales (Sorokin, 1995).

Los resultados obtenidos son totalmente coherentes.

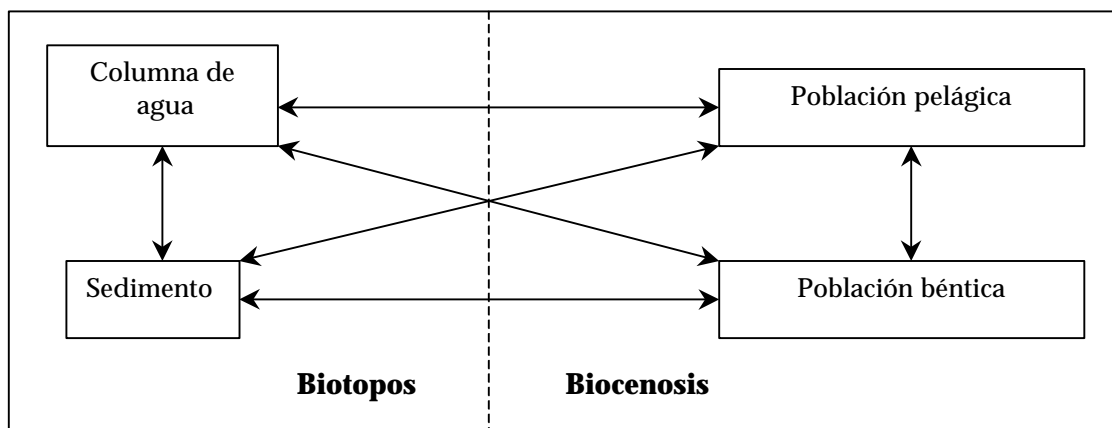
4.4 Análisis global de los Sedimentos marinos costeros

4.4.1 Introducción

El objetivo del análisis de los sedimentos marinos es caracterizar los niveles de contaminación del área marina costera de las Islas de la Bahía.

El sedimento constituye la interfase entre el medio acuático y el medio sólido. Condiciona la calidad de la columna de agua a través de intercambios bajo la forma disuelta o de partículas y desempeña un papel fundamental en el funcionamiento del ecosistema (Figura 34) por su capacidad de almacenar o desprender los contaminantes (papel de tampón). El riesgo de desprendimiento incrementa durante episodios climáticos violentos (huracán, depresión tropical...) tras el fuerte oleaje generado por dichos episodios y que mueve los sedimentos puestos en los fondos marinos.

Figura 34: Interacciones entre los varios componentes del ecosistema



Dada su capacidad a almacenar los contaminantes, el sedimento permite obtener una visión mucho más fiable del estado de la calidad del medio marino que las mediciones en la columna de agua. Dichas mediciones se revelan mucho más imprecisas dado los débiles niveles de concentraciones encontrados (especialmente en el caso de los metales pesados y de los compuestos orgánicos) así como la fuerte variabilidad debida a los factores hidrodinámicos intrínsecos al medio líquido.

Las observaciones in situ aparecen en el Anexo 23 mientras que todos los resultados de los análisis aparecen en el Anexo 26.

4.4.2 Caracterización de los sitios de muestreo

Antes de analizar las contaminaciones eventuales encontradas en los sedimentos de las Islas de la Bahía, cabe caracterizar el ambiente sedimentario del sitio de muestreo.

Con este propósito, se utilizarán parámetros cualitativos apuntados in situ: la granulometría, la fracción acidosoluble, la concentración de hierro así como la concentración de carbón orgánico.

4.4.2.1 La granulometría

La granulometría no es un indicador de la calidad de los sedimentos sino que desempeña un papel considerable en la adsorción de los contaminantes sobre las partículas (ya que la mayor parte de los contaminantes está adsorbida en la fracción fina inferior a 63 μm) y proporciona informaciones sobre la sedimentación de materiales emitidos por el río.

Se estudió la granulometría de los sedimentos (Cuadro 21) a partir de la clase modal (la clase en μm la más observada en la muestra) y de los cuartiles (C1, C2 y C3, diámetro de los granos en μm que corresponde respectivamente a un 25, 50 y 75% del peso total de la muestra). Los cuartiles permiten definir dos índices:

- Un índice de clasificación $S_o = \sqrt{(C1/C3)}$. Cuanto más cerca de 1 S_o es, mejor clasificado es el sedimento.
- Un índice de heterometría $Q_d = (C3-C1)/2000$. El valor del índice permite clasificar el sedimento en 3 categorías:

* $Q_d < 0,2$: sedimento bien clasificado (■);

* $0,2 < Q_d < 0,5$: sedimento medianamente clasificado (■);

* $Q_d > 0,5$: sedimento mal clasificado (■).

Las curvas granulométricas de los sedimentos aparecen en el Anexo 25.

Cuadro 21 : Modo y cuartiles de la granulometría de los sedimentos, isla de Guanaja.

estación	GS5	GS8	GS11	GS13
Q1 (µm)	19	48	31	50
Q2 (µm)	39	114	63	219
Q3 (µm)	58	208	2008	2036
So	0,58	0,48	0,12	0,16
Qd	0,02	0,08	0,99	0,99
Clases modales (µm)	0-63	63-163	0-63>2000	0-63>2000
Distribución*	uniM	uniM	biM	biM
Tipo**	V	Vs	Vs	Vs

* uniM. : unimodale, biM. : bimodale

** Ci: cieno, Ca: cieno arenoso, Ac: arena lodosa, Af arena fina (Larsonneur, 1977)

La granulometría de los sedimentos brinda indicaciones interesantes sobre el ambiente del sitio de estudio.

El estudio de las clases modales pone de relieve dos tipos de estaciones: las estaciones unimodales (sitios de fondos de bahía) y las estaciones bimodales (Sur de Guanaja).

La distribución granulométrica de los sedimentos depende del hidrodinamismo del sector de estudio. Cuanto más grande, mejor será la clasificación de los sedimentos.

La isla de Guanaja presenta dos estaciones de fondos de la bahía (Savannah Bight – GS8 – y Mangrove Bight – GS5-) caracterizadas por una buena clasificación y una repartición unimodal y de dos estaciones costeras abrigadas (Aeropuerto –GS13- y Cayo –GS11-) marcadas por una mala clasificación y una distribución bimodal.

4.4.2.2 La fracción acidosoluble

La fracción acidosoluble caracteriza la concentración de CaCO₃ (carbonato de calcio) del sedimento.

El CaCO₃ es el elemento constitutivo del esqueleto de los organismos coralinos pero no se encuentra mucho en la parte terrestre de las Islas de la Bahía. Entonces, dicha concentración constituye un buen índice del origen del sedimento.

Se considerará que las estaciones que constan de una fracción acidosoluble superior a un 50% tienen una fuerte influencia del arrecife y las que constan de una concentración inferior a un 50 % son más que todo bajo la influencia terrígena.

En lo que se trata de la isla de Guanaja (Cuadro 22), dos de los cuatro sitios de estudio son caracterizados por una doble influencia organogénea y terrígena (la estación GS11 situada cerca del Cayo y la estación GS13 a proximidad del aeropuerto).

La estación GS8 (Savannah Bight) situada a proximidad del pantano a manglar está sometida a los aportes terrígenos.

Cuadro 22 : Fracciones acidosolubles de los sedimentos de Guanaja

estación	GS5	GS8	GS11	GS13
fracción acidosoluble (%)	52	7.5	44.1	20.3

4.4.2.3 El hierro

Al contrario de los otros metales estudiados en el marco de este estudio, el hierro es especial ya que no puede ser considerado como contaminante tanto como otros metales pesados.

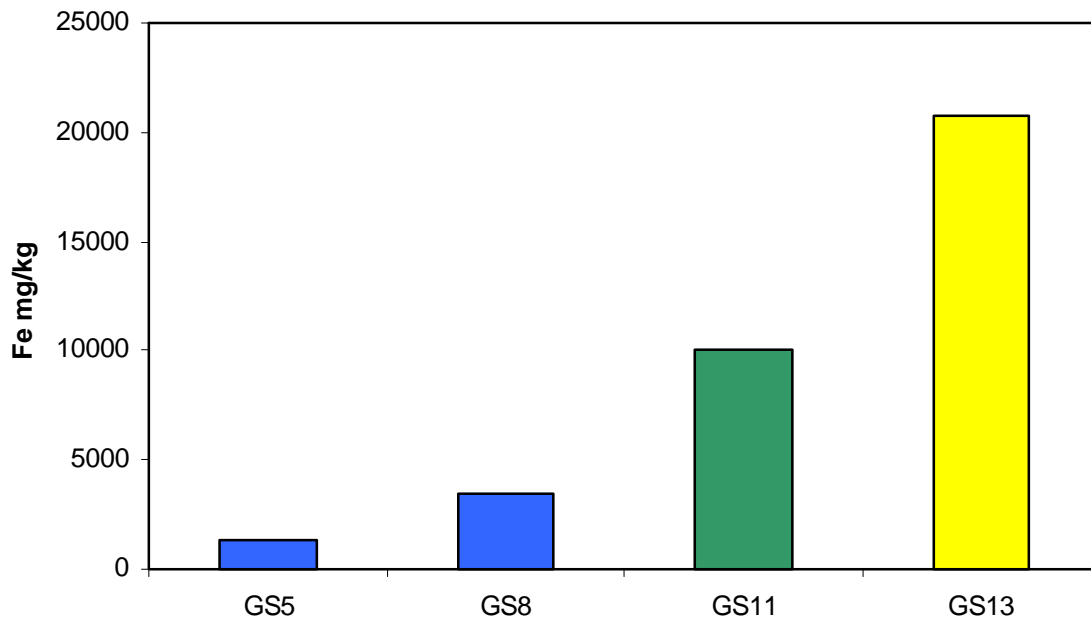
El hierro tiene un origen doble (geológico y antrópico) y acondiciona tanto los procesos geoquímicos que afectan los otros metales y las sales nutritivas (fenómenos de adsorción-liberación, procesos de mineralización de la materia orgánica) como procesos biológicos. No se encuentra el hierro en las estructuras coralinas ; entonces, su origen es exclusivamente terrígena.

Las concentraciones de hierro en la isla de Guanaja (Figura 35) son débiles a medianas.

Se puede notar un aumento significativo de la concentración en la estación GS13. Esta estación a proximidad del aeropuerto está rodeada de restos responsables de esta concentración, en sinergia con aportes terrígenos.

El aumento de la concentración de la estación GS11 (El Cayo) se explica por la fuerte actividad pesquera alrededor del punto de estudio.

Figura 35 : Concentraciones de hierro (mg/Kg de peso seco) en los sedimentos marinos de Guanaja



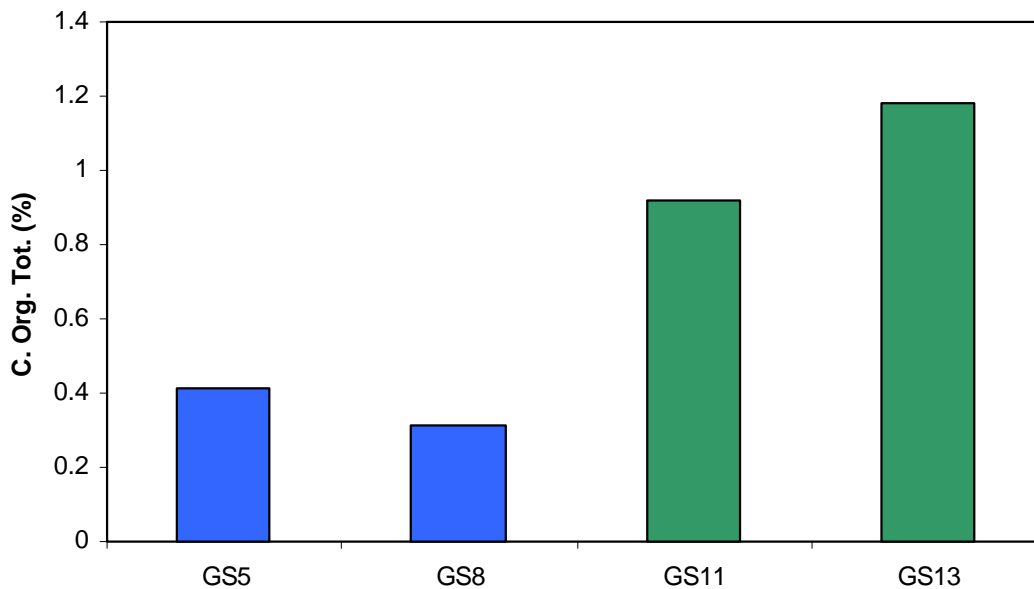
4.4.2.4 El carbón orgánico total

Las concentraciones de carbón orgánico están vinculadas con las condiciones de oxigenación del sedimento observadas in situ.

En efecto, la concentración de materia orgánica de un sitio depende de varios factores y especialmente de los aportes y de las condiciones de degradación que son en relación con la disponibilidad de oxidante en el sedimento. Así, mientras más anóxico sea un sedimento, más parcial será la oxidación de la materia orgánica e incompleta su degradación.

Las concentraciones de materia orgánica en los sedimentos de la isla de Guanaja son débiles a muy débiles con valores inferiores a 2% (Figura 36).

Cabe notar el ligero aumento en los sitios GS11 (sector residencial del Cayo) y GS13 (a proximidad del manglar).

Figura 36: Fracción de carbón orgánico en los sedimentos de Guanaja

4.4.3 Los metales pesados

El modo de acción global de los metales pesados aparece en el Anexo 28. Por otra parte, fichas técnicas recapitulativas de las principales características de estos diferentes contaminantes son presentadas en el Anexo 30

4.4.3.1 El cadmio

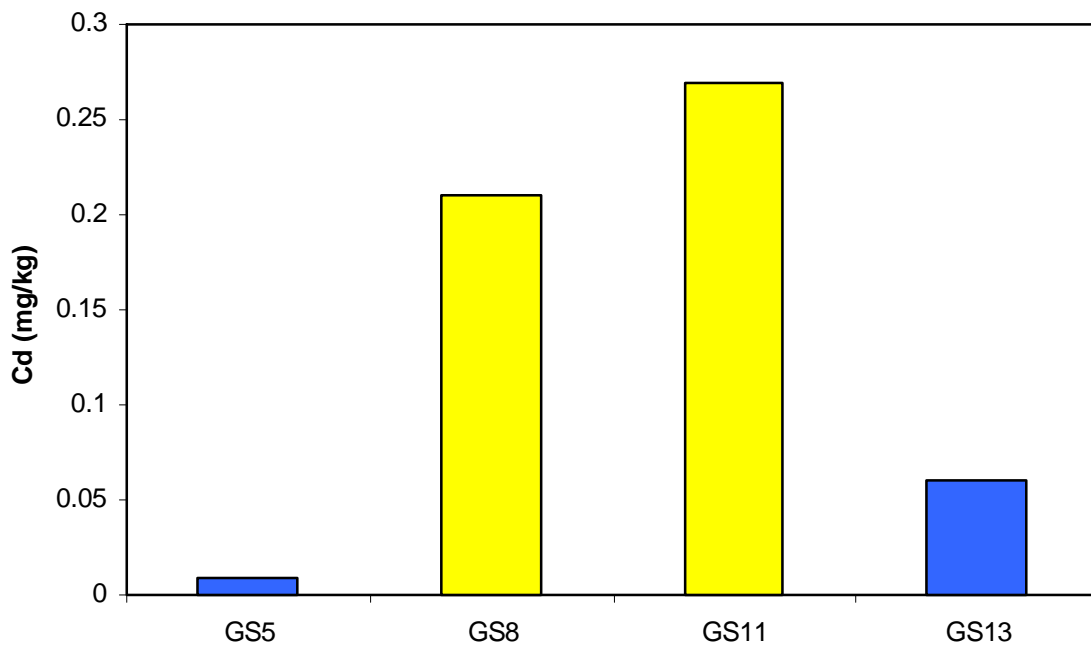
El cadmio no es un metal esencial a la vida y no tiene un papel biológico conocido. Muy tóxico para el medio marino, el cadmio se presenta sólo bajo la forma de traza en el medio natural. Entonces, se puede considerar como un buen indicador de las contaminaciones antrópicas. El cadmio y el zinc tienen una relación geoquímica (Chizhikov, 1966). Se admite que su toxicidad es semejante a la del mercurio. Así, tiene un impacto sobre la reproducción de las especies acuáticas.

Dos sitios de la isla de Guanaja (Savannah Bight y El Cayo) presentan contaminaciones medias en cadmio (Figura 37). La presencia de barcos de pesca y los residuos de toda clase son el origen de estos valores.

La concentración de los sedimentos de la estación GS5 es inferior a 0,02/0,03 mg/kg correspondiente al nivel considerado como concentración traza para este metal (Bothner *et al.*, 1980).

Los compuestos a base de cadmio son corrientemente utilizados como pigmento o estabilizante en las materias plásticas, pinturas y cristales (IFREMER, 1989 a). Este metal es por otra parte uno de los compuestos principales de los acumuladores (baterías, pilas alcalinas...). La degradación de la basura va a liberar partículas cargadas en cadmio que se depositaran en los sedimentos marinos debido a la fuerte escorrentia en periodo de lluvias. Esta observación se nota también en los sitios del Cayo. Las concentraciones son similares a las que se encuentran en Puerto Plata en República Dominicana (Sbriz *et al.*, 1998).

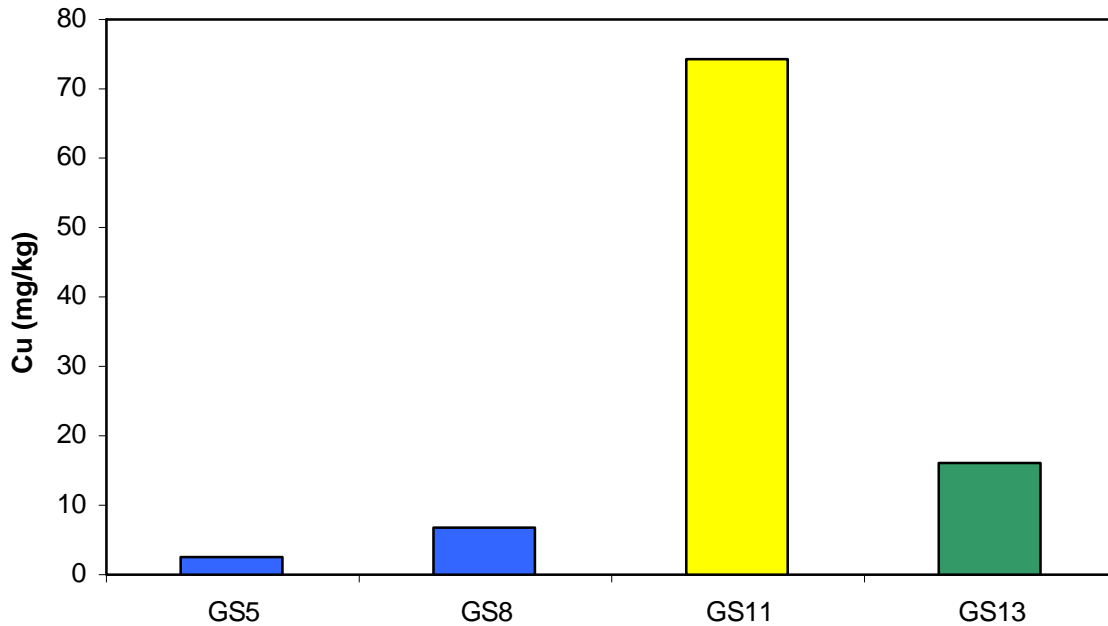
Figura 37: Concentraciones de cadmio (mg/Kg de peso seco) en los sedimentos de Guanaja



4.4.3.2 El cobre

Utilizado en la metalurgia, en diversas industrias y en agricultura, el cobre es un metal que presenta orígenes diferentes. Aunque el cobre sea un elemento esencial para los organismos, es muy tóxico en concentraciones elevadas.

Figura 38: Concentraciones de cobre (mg Cu/Kg de peso seco) en los sedimentos de Guanaja

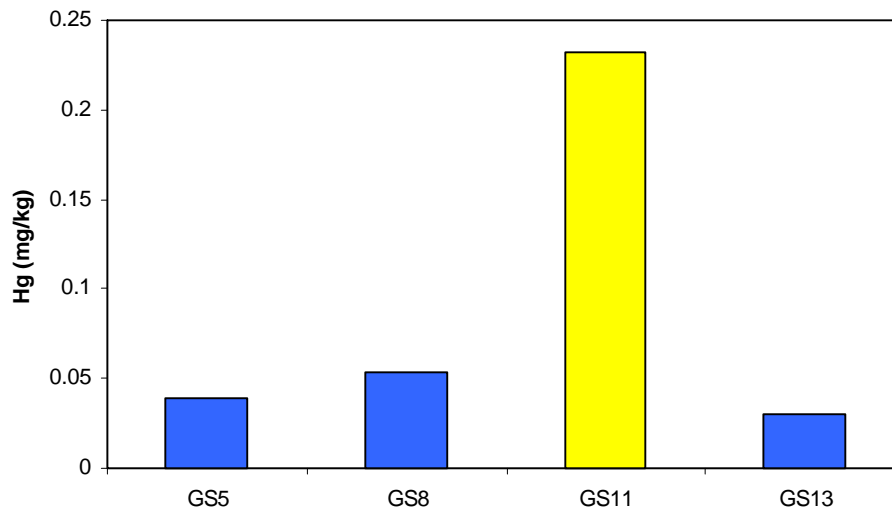


Las concentraciones de cobre en los sedimentos de Guanaja (Figura 38) son generalmente débiles hasta muy débiles (inferiores a 30 mg/kg). La concentración mínima encontrada se sitúa alrededor de 2 - 3 mg/kg. Únicamente la estación GS11 (El Cayo) presenta una contaminación media en cobre debido a la presencia de numerosos barcos de gran tamaño en el sitio (pinturas “antifouling” de los barcos).

4.4.3.3 El mercurio

Se reconoce la toxicidad del mercurio desde hace mucho tiempo. Utilizado en varias industrias (químicas, eléctricas...) y presente en varias materias (pintura, plástico...), el mercurio está estrictamente reglamentado a nivel internacional dadas las consecuencias dramáticas que representa para la salud pública. El mercurio es responsable no sólo de enfermedades neurológicas y renales en los varios puntos de la cadena trófica (cuyo efecto se incrementa por bioacumulación) pero también de cambios en el desarrollo fitoplanctónico.

Figura 39: Concentraciones de mercurio (mg Hg/Kg de peso seco) en los sedimentos de Guanaja



La isla de Guanaja presenta concentraciones débiles de mercurio (Figura 39). El mercurio en la isla de Guanaja es débil o muy débil (0,03 – 0,04 mg/kg) y se encuentra en 3 de las 4 estaciones. Se considera que una concentración de mercurio superior a 0,5 mg/kg corresponde a una contaminación elevada (Boutier *et al.*, 1988). Tomando en cuenta estas consideraciones, ninguna estación presenta fuertes contaminaciones por el mercurio. La estación GS11 está moderadamente contaminada, debido a la presencia de los barcos de pesca y de los residuos sólidos. Por otra parte, debido a los resultados apuntados en Roatán, parece que las zonas urbanas son proveedoras importantes de mercurio lo que refuerza los resultados obtenidos en Guanaja.

4.4.3.4 El plomo

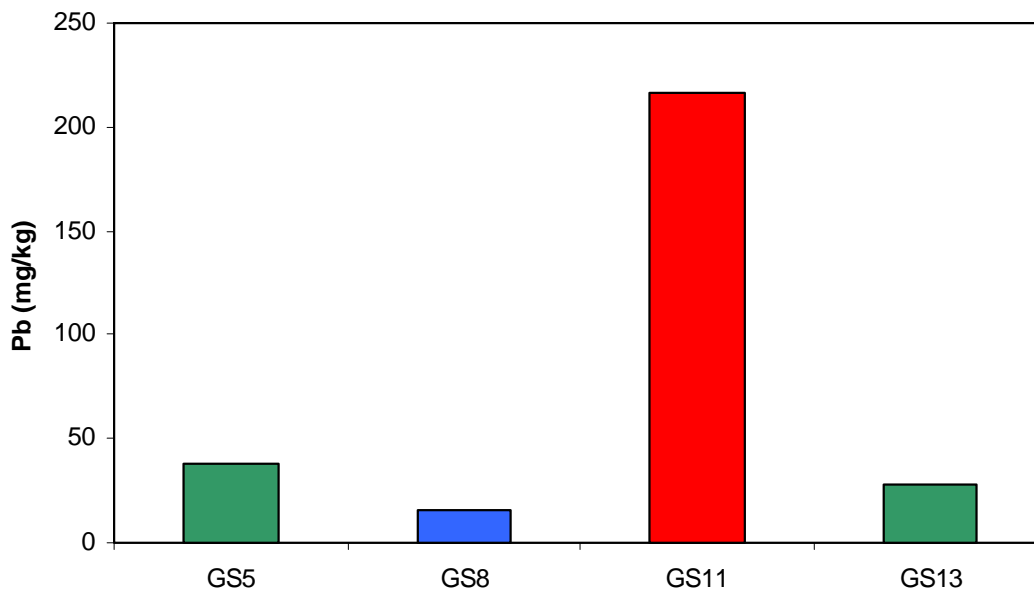
El plomo no es un metal necesario a la vida y se revela muy tóxico tanto para la biosfera marina como para la biosfera terrestre. Es responsable del saturnismo entre los hombres y de la alteración del sistema nervioso y de la función renal entre los organismos marinos.

Las concentraciones de plomo en los sedimentos de la isla de Guanaja pueden ser clasificados en 2 categorías. La mayor parte de las estaciones (3 sobre las 4 donde se tomaron muestras) presentan concentraciones de plomo homogéneas (entre 20 y 40 mg/kg) que constituyen la concentración traza de este metal en Guanaja. Cabe notar que esta concentración es bastante alta frente a la de la República Dominicana (Sbriz *et al.*, 1998) que se sitúa cerca de 5 mg/kg. Esa es la única referencia encontrada para este metal en la región pero es cercana a las concentraciones

puntadas en las orillas atlánticas de las costas europeas (Alzieu, 1999). Sin embargo, dichas concentraciones no son suficientes para hablar de contaminación.

Un punto presenta una contaminación más o menos marcada por el plomo. El origen de dichas contaminaciones parece proceder de la gran flota de barcos localizada cerca de este sitio de muestreo. En efecto, los residuos de combustión de productos petroleros son una de las principales fuentes de plomo en el medio ambiente (Cossa *et al.*, 1993). Los resultados obtenidos en Guanaja refuerzan los resultados obtenidos en Roatán, a saber que las contaminaciones de plomo en las Islas de la Bahía parecen provenir de las flotillas de los barcos.

Figura 40: Concentraciones de plomo (mg Pb/Kg de peso seco) en los sedimentos de Guanaja



4.4.3.5 El zinc

Como elemento biológico presente en varias enzimas, el zinc es necesario al metabolismo de los lípidos y de las proteínas. Está clasificado entre los metales pesados de importancia prioritaria para la contaminación del medio ambiente pero se puede considerar como menos tóxico que otros metales tal como el plomo. En altas concentraciones el zinc es tóxico para la flora y la fauna marina y tiene especialmente un efecto nocivo sobre la reproducción y el desarrollo de las larvas. En cambio, su absorción por el hombre no presenta ninguna toxicidad particular. El zinc es un metal utilizado por varias industrias, en las pinturas “antifouling” y un poco menos en la agricultura.

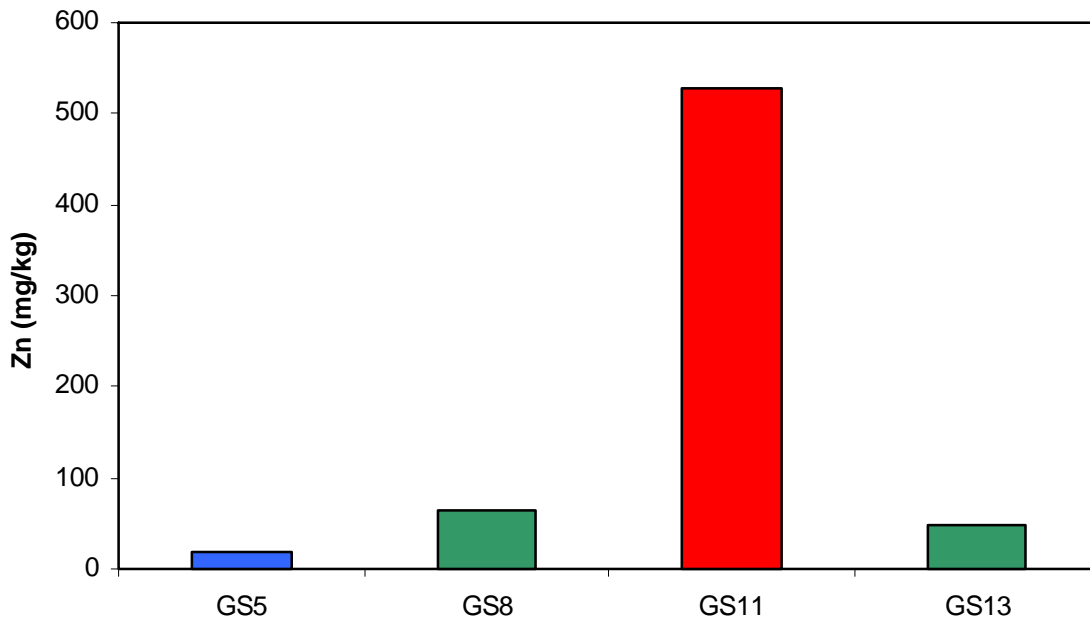
En lo que se refiere a la isla de Guanaja (Figura 41), 3 de los 4 sitios de muestreo, constan de concentraciones débiles o moderadas.

Se puede suponer que la concentración traza a nivel de Guanaja corresponde sensiblemente a los resultados del sitio GS5, aproximadamente 18 mg/kg. Este valor es sensiblemente idéntico a los encontrados en la literatura para ecosistemas similares. Citaremos los valores de 8 mg/kg para los sedimentos coralinos del Venezuela (Bastidas *et al.*, 1999) y 19 mg/kg para los de Guadalupe (Bernard, 1995).

Unicamente el sitio del Cayo presenta una contaminación marcada por el zinc. Debido a la posición geográfica de este punto de muestreo, en ningún caso el zinc puede ser de origen natural. El origen de esta contaminación hay que buscarlo cerca de las actividades marítimas del sitio El Cayo (flotilla de barcos y actividades anexas).

A título de comparación las concentraciones del sitio GS11 son superiores a las concentraciones apuntadas en los sedimentos del puerto de Puerta Plata – República Dominicana- y a la del puerto de Santo Domingo (Sbriz *et al.*, 1998) y similares al máximo registrado en Guadalupe (Bernard, 1995).

Figura 41 : Concentraciones de zinc (mg Zn/Kg de peso seco) en los sedimentos de Guanaja



4.4.4 Los compuestos orgánicos tóxicos

En el caso de los PCB y de otras moléculas orgánicas, es imposible determinar una concentración traza como para los metales. Por consecuencia, se determinarán tres clases para caracterizar la contaminación por los compuestos orgánicos: no contaminados, medianamente contaminados y fuertemente contaminados.

Fichas técnicas recapitulativas de las principales características de PCB y de HPA son presentadas en el Anexo 29.

4.4.4.1 Los polychlorobifeniles (PCB)

Los PCB son grandes moléculas orgánicas ($C_{12}H_{10-x}Cl_x$) poco solubles en el agua, muy remanentes y químicamente estables.

Su toxicidad elevada, su persistencia en el medio ambiente y el riesgo de bioacumulación dado su carácter liposoluble (acumulación en los tejidos grasos) representa una amenaza muy grave para el medio ambiente ya que no se destruyen durante la incineración de los desechos sólidos.

Los PCB son nocivos para varias especies de invertebrados y vertebrados acuáticos con concentraciones inferiores al micrograma por litro en la columna de agua (Alzieu *et al.*, 1992).

Los PCB son contaminantes de síntesis característicos de una contaminación difusa de origen estrictamente antrópico. Los vertidos urbanos, de equipo usado y las actividades en relación con la recogida de materias ferrosas son las fuentes más importantes de la introducción de dichos contaminantes en el medio ambiente (Alzieu, 1999).

Dadas las concentraciones de PCB apuntadas en los sedimentos de la isla de Guanaja (Figura 42), es posible separar las estaciones en dos clases (IFREMER, 1989b):

- Las estaciones que presentan concentraciones de PCB inferiores a 5 µg/kg consideradas como no contaminadas;
- Las estaciones que presentan concentraciones de PCB superiores a 5 µg/kg consideradas como medianamente contaminadas.

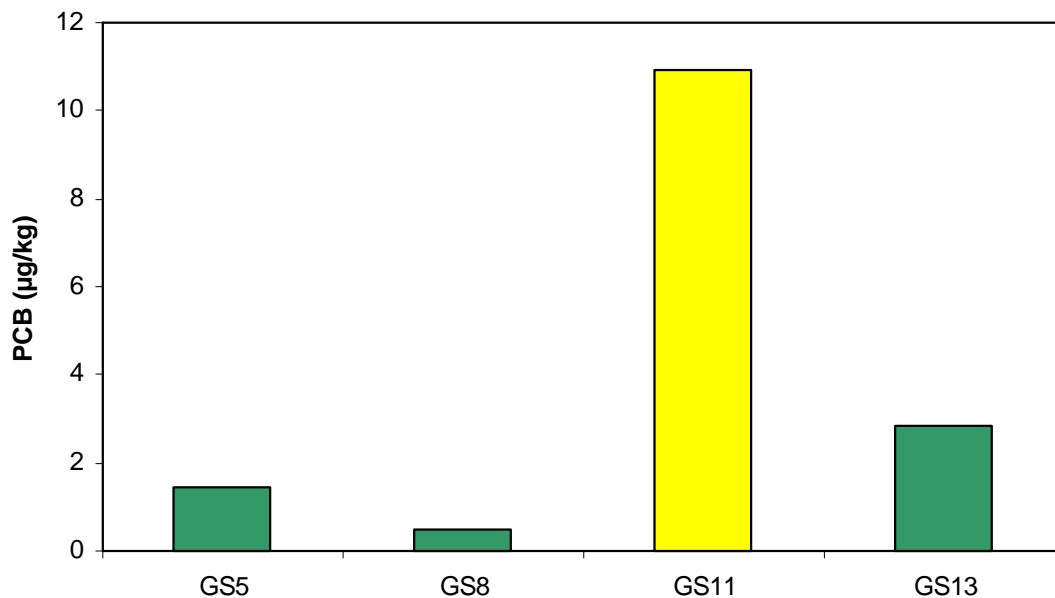
Cabe notar que los expertos de IFREMER (IFREMER, 1989b) consideran como muy contaminada un área donde la concentración de PCB en los sedimentos supera 50 µg/kg, lo que no se observó en las Islas de la Bahía.

En el caso de la isla de Guanaja únicamente un sitio presenta una contaminación media para los PCB. Se trata del sitio GS11.

La estación GS11 de Guanaja (El Cayo) debe sus concentraciones elevada a los numerosos residuos sólidos que hay en este sitio.

Los otros sitios de esta isla no presentan contaminación por los PCB. Sin embargo cabe notar un aumento de los valores en el sitio GS13 (canal a proximidad del aeropuerto) relacionado con la presencia de numerosos restos de barcos cerca del sitio de muestreo.

Figura 42 : Concentraciones de PCB en los sedimentos de Guanaja



4.4.4.2 Los hidrocarburos

Los hidrocarburos totales constan de muchos compuestos con una estructura y propiedades diversas :

- los Hidrocarburos PoliAromaticos (HPA) cuyo origen principal es la combustión de los residuos de productos petroleros;
- los hidrocarburos alifáticos (HpnA) con varios orígenes.

En el marco de este estudio, se centraron las mediciones en los hidrocarburos totales así como en la fracción aromática.

1. Hidrocarburos totales

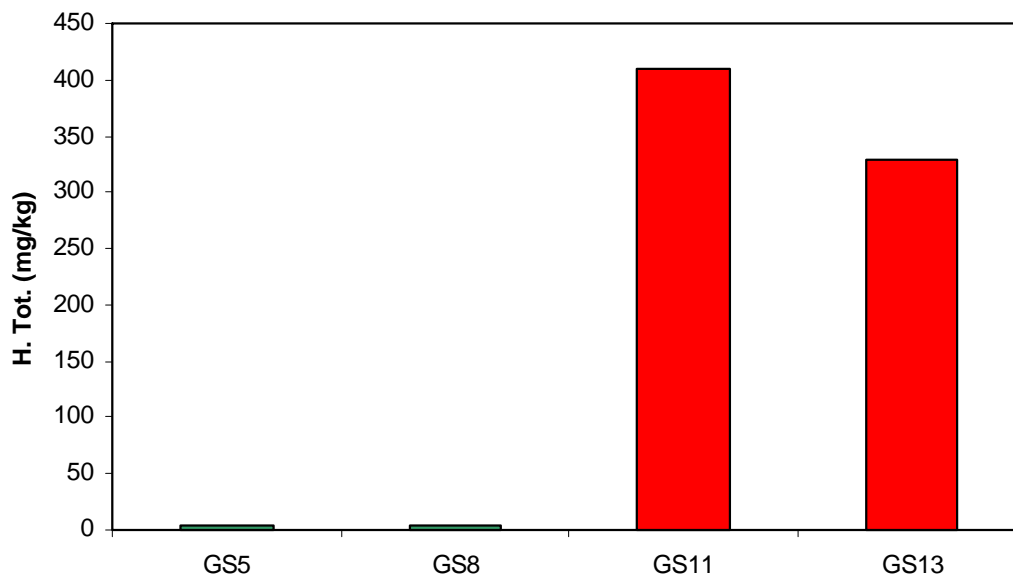
Los hidrocarburos constan de los hidrocarburos antrópicos (como los HPA) y naturales tras la degradación de la materia viva.

Las concentraciones apuntadas en la isla de Guanaja (Figura 43) son mucho más débiles que las de Roatán. Aunque se considere como normales unas concentraciones de hidrocarburos totales inferiores a 50 mg/kg (Mauvais, 1991), sólo es posible hablar de contaminaciones cuando dichas concentraciones alcancen 300 mg/kg.

Desde este punto de vista, no se distinguen en Guanaja sitios con fuerte contaminación en hidrocarburos. Sin embargo, dos estaciones en la isla presentan contaminaciones medias en hidrocarburos totales. Se trata de las estaciones GS11 – El Cayo y GS13 – Canal aeropuerto

El origen de los hidrocarburos de la estación GS11 es puramente antrópico, y se distinguen los HPA proveniente de la combustión de los productos petrolíferos de la flota de pesca, de los hidrocarburos alifáticos provenientes de las aguas residuales de la ciudad. En lo que se refiere a la estación GS13, el origen de los hidrocarburos es a la vez natural (degradación de la materia orgánica del manglar al lado de la estación) y antrópico (residuos petrolíferos del motor de los barcos ver de los aviones que sobrevuelan por encima de la estación a baja altitud²). Las otras dos estaciones de Guanaja presentan concentraciones inferiores al umbral de detección (inferiores a 5 mg/kg).

Figura 43: Concentraciones de hidrocarburos totales en los sedimentos de Guanaja



² Solo una especificación de los hidrocarburos poliaromaticos – método costoso y todavía al estado experimental – permitiría caracterizar el origen exacto de los hidrocarburos.

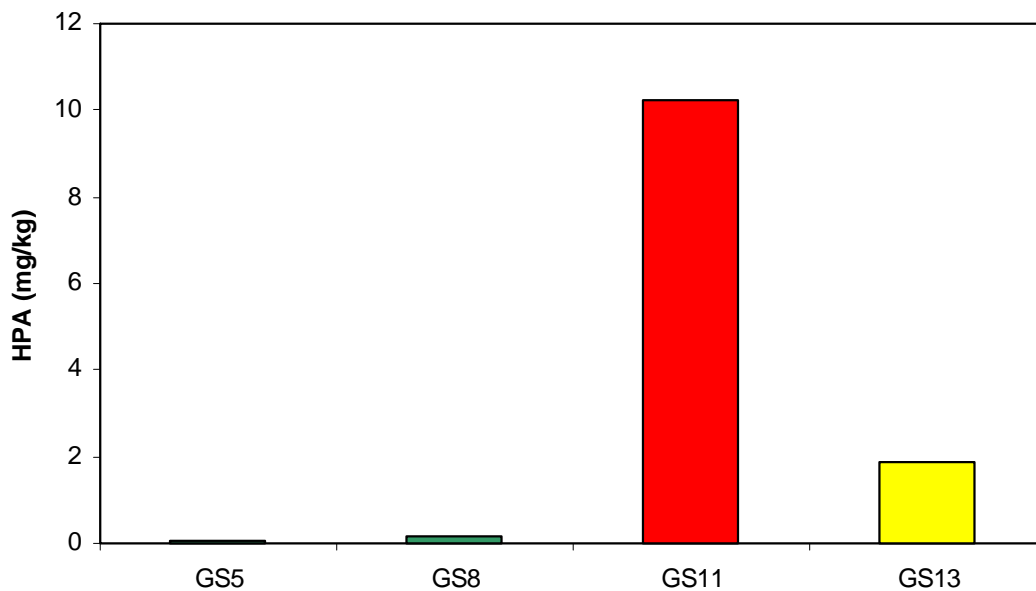
2. Los hidrocarburos poliaromáticos (HPA)

Los HPA proceden principalmente del uso y de la combustión de los carburantes fósiles (Neff, 1979). La débil solubilidad de los HPA en el agua del mar y la adsorción rápida a las partículas sólidas generan una tendencia notable a la acumulación en los sedimentos (Means *et al.*, 1980). En un medio anóxico tales como los sedimentos, los HPA resisten a las degradaciones químicas y biológicas. Las tasas de degradaciones apuntadas (Baur, 1985) son despreciables. Los HPA forman la fracción de los hidrocarburos más tóxica para el medio ambiente (Romaña *et al.*, 1990). Tienen, entre otras cosas, propiedades mutagénicas y cancerígenas (Benlahcen *et al.*, 1994).

Concentraciones hasta 0,2 mg/kg han sido notadas en mar abierto (Beum Kim *et al.*, 1999), concentraciones encontradas en 2 estaciones de Guanaja (estaciones GS5 y GS8).

En la isla de Guanaja (Figura 44), una contaminación fuerte por los HPA es apuntada en la estación del Cayo (estación GS11). La presencia importante de barcos de pesca en maniobras y las operaciones de relleno de las cubas de los barcos de productos petrolíferos son los dos orígenes de los HPA en el sitio. A título comparativo, concentraciones de orden de 8 mg/kg fueron observadas en el puerto de Barcelona – España (Baumard *et al.*, 1998).

La estación del canal del manglar a proximidad del aeropuerto (estación GS13) presenta contaminaciones medianas en HPA. El origen predominante de estos contaminantes es el fuerte paso de barcos de pequeño tamaño que sirven de taxi entre el aeropuerto y los otros sitios de la isla y que vienen al muelle cercano. La salida y la llegada de los aviones puede tener un cierto impacto sobre el sitio. Sin embargo debido al débil tráfico aéreo, el impacto no es muy importante en comparación al de los barcos.

Figura 44 : Concentraciones de HPA en los sedimentos de Guanaja

4.4.5 Los nutrientes

Los nutrientes (nitrógeno, fósforo) no pueden considerarse contaminantes de los sedimentos.

En cambio, el análisis del fósforo y del nitrógeno a nivel de los sedimentos permite caracterizar la calidad de las aguas de la zona de muestreo. En efecto, las concentraciones de nutrientes dependen mucho a largo plazo del grado trófico a nivel de las aguas. De hecho, dichos análisis sirven como indicador integrativo y herramienta de diagnóstico. Este tema sobre todo importante ya que las concentraciones de nutrientes a nivel de la columna de agua parecían extrañas (ver sección 4.3.3.5, 4.3.3.6, y 4.3.3.7).

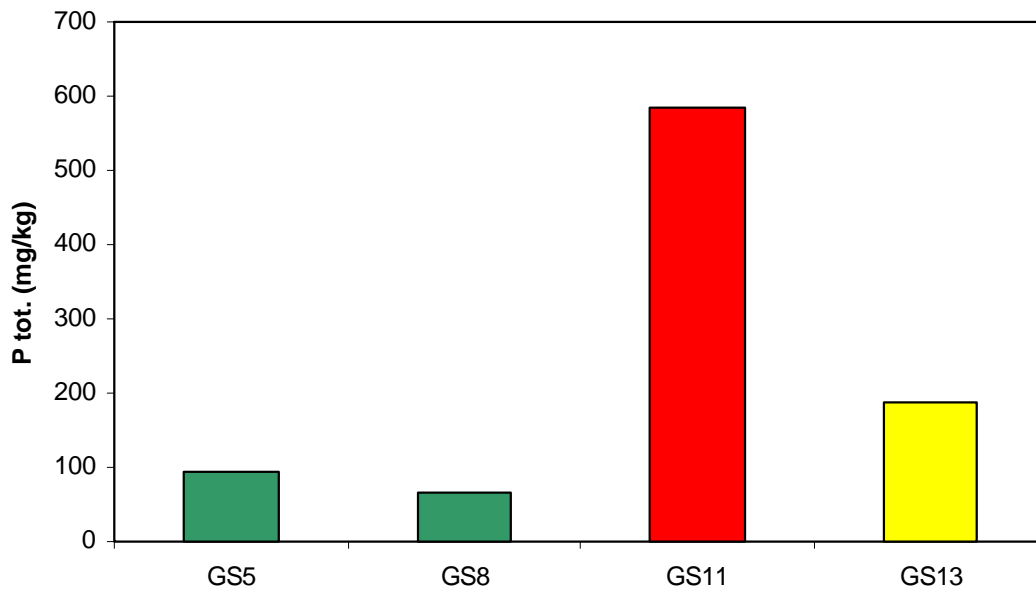
Las clases de concentraciones definidas para analizar los nutrientes son: débil (color verde), media (color amarillo) y fuerte (color rojo).

4.4.5.1 El fósforo

La isla de Guanaja (Figura 45) presenta una fuerte concentración de fósforo en la zona de Bonacca (estación GS11) cuyo origen son las aguas negras de las casas y una concentración mediana a nivel del aeropuerto (estación GS13) debido a la degradación de los restos vegetales provenientes del manglar adyacente.

Las otras dos estaciones presentan concentraciones débiles de fósforo.

Figura 45 : Concentraciones de fósforo total en los sedimentos de Guanaja



En conclusión, las estaciones con fuertes concentraciones de fósforo se sitúan a proximidad de los sectores antrópicos y cercanos de los manglares.

En el primer caso, las concentraciones de fósforo se deben a los vertidos urbanos *et al* lavado de los suelos.

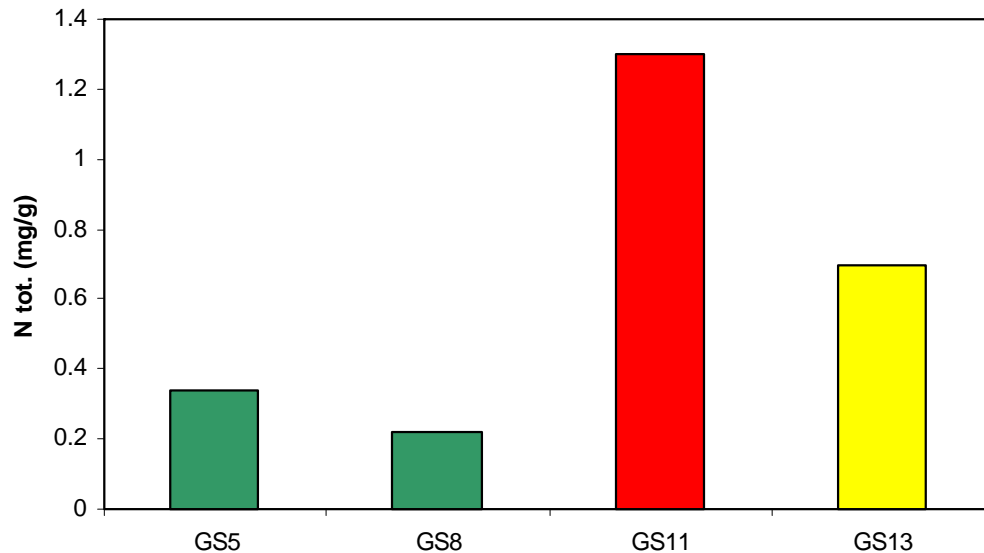
En el segundo caso, la degradación de la materia vegetal de los manglares provoca aumentos de fósforo en los sedimentos correspondientes.

4.4.5.2 El nitrógeno

Las concentraciones de nitrógeno en Guanaja (Figura 46) están relacionadas con las de Roatán. Se puede notar una concentración elevada en la estación del Cayo (estación GS11) cuyo origen se tiene que buscar en las aguas negras del pueblo y una concentración mediana en el aeropuerto (sitioGS13), fruto de la descomposición de la materia orgánica vegetal.

Las otras estaciones tienen concentraciones débiles de nitrógeno.

Figura 46: Concentraciones de nitrógeno total en los sedimentos de Guanaja



4.4.6 Análisis de las muestras de perforación sedimentarias marinas del Cayo (sitio GS11)

Los resultados brutos se encuentran en el Anexo 26.

La perforación sedimentaria del Cayo se realizó al Oeste del Cayo frente a los muelles a una profundidad de 1 metro.

La situación del Cayo es muy particular debido a su posición en el medio de la laguna de Guanaja. La ausencia de aportes terrígenos en el sentido estricto del término limita las fuentes potenciales de contaminantes a las únicas actividades y usos antrópicos.

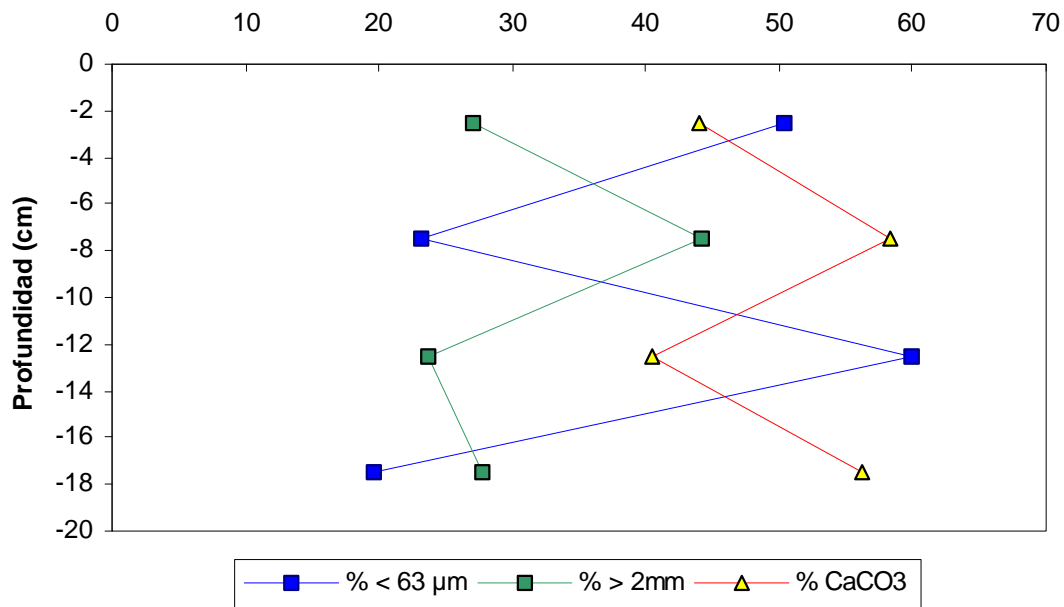
El análisis de los parámetros constitutivos (granulometría y fracción calcocarbonica) del sedimento en función de la profundidad (Figura 47) pone en evidencia un contexto de sedimentación muy particular, prueba de un sedimento muy retocado. Efectivamente, el estudio de la repartición granulométrica de los sedimentos muestra fuertes variaciones en función de la profundidad así como la ausencia de evolución constante con la profundidad. Esta misma observación puede ser efectuada para el porcentaje en CaCO₃. Esto pone claramente en evidencia un medio perturbado con una sedimentación heterogénea acondicionada por factores exteriores.

Hay que ver en este fenómeno el impacto de la circulación de los barcos de gran tamaño al lado del sitio causando con sus maniobras un movimiento periódico de los sedimentos aumentando el riesgo de liberación de los contaminantes.

Por otra parte el huracán *Mitch* en 1998 ha tenido efectos importantes en la distribución vertical de los sedimentos vía los fuertes oleajes que causaron una mezcla importante del compartimento sedimentario.

La conjunción de estos dos fenómenos (uno puntual, el otro crónico) explica la repartición particular de los parámetros constitutivos del sedimento.

Figura 47: Evolución de la granulometria y de la fracción calcocarbonica en función de la profundidad en la muestra de perforación del Cayo a Guanaja



En lo que se refiere a las fracciones granulométricas, se ve una correlación negativa entre las partículas finas (tamaño < 63 µm) y las partículas gruesas (tamaño > 2 mm) en función de la profundidad, signo de una bimodalidad marcada al origen del sedimento con dos fuentes sedimentarias independientes:

- Una de origen orogénica: gruesas partículas coralinas (correlación entre la fracción gruesa y el porcentaje en CaCO3);
- Una de origen antrópica: partículas finas provenientes en gran parte de los vertidos urbanos y de las actividades humanas.

La evolución granulométrica heterogénea del sedimento en función de la profundidad origina un problema en cuanto a la interpretación de las concentraciones de contaminantes. Efectivamente los contaminantes están

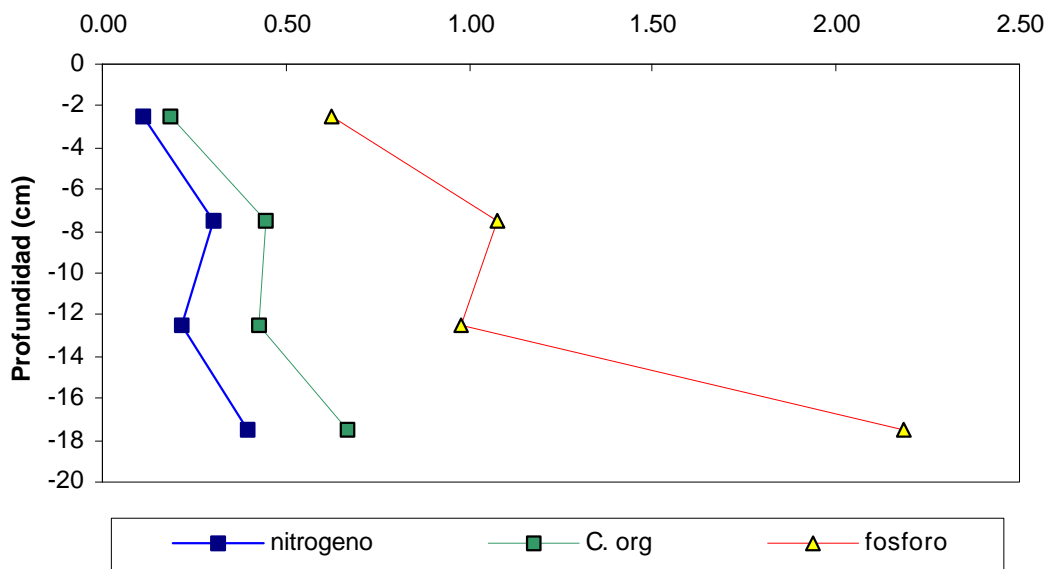
principalmente adsorbidos sobre las partículas finas y las fuertes variaciones granulométricas ocultan su evolución vertical. Por consecuencia el estudio vertical de los contaminantes necesita una normalización de las concentraciones por las partículas finas con el fin de poder observar su evolución.

Si uno se interesa en las concentraciones brutas observadas en el sedimento (valores presentados en Anexo 26), se puede notar un estado de contaminación mediano a fuerte para todos los parámetros. Las contaminaciones aparecen particularmente elevadas para el plomo y el zinc en lo que se refiere a los metales pesados, para los hidrocarburos y los PCB en lo que se refiere a los compuestos orgánicos. El origen de estos contaminantes se encuentra en las actividades marítimas y portuarias cerca del sitio así como en numerosos residuos sólidos.

Las concentraciones de nutrientes son también elevadas principalmente para fósforo. Los vertidos domésticos son sin duda el origen de estas contaminaciones. Aunque haya disolución y dispersión de los efluentes en el medio marino, una parte de estos contaminantes se deposita en los sedimentos y genera condiciones distróficas para el medio.

La normalización de las concentraciones por la granulometría en función de la profundidad ha sido realizada dividiendo la concentración del elemento C_i por el porcentaje de partículas finas (tamaño $< 63 \mu\text{m}$). Los resultados de esta normalización están en Anexo 27. Se precisa que el resultado obtenido no es una concentración (por lo tanto no hay clases de calidad posible) pero un índice relativo a la concentración excluyendo la granulometría.

Figura 48: Evolución de las sales nutritivas y del carbón orgánico normalizados por la fracción fina en función de la profundidad



Las curvas obtenidas para las sales nutritivas y el carbón orgánico (Figura 48) muestran un aumento regular con la profundidad para el nitrógeno y el carbón orgánico y un fuerte aumento entre 10 y 20 centímetros para el fósforo. Esta situación pone en evidencia el almacenamiento de las sales nutritivas y del carbón orgánico en el sedimento en profundidad. La disminución de la cantidad de agua con la profundidad y por lo tanto el aumento de la densidad del sedimento limita los cambios entre las capas profundas y las capas superficiales del sedimento. En las dos primeras capas de la muestra de perforación (0-5 cm y 5-10 cm) que son las más sensibles a la perturbación relacionada al oleaje o al paso de los barcos, la liberación de los elementos es muy importante.

Los compuestos orgánicos tienden a acumularse en las capas profundas del sedimento (Figura 49). Se puede notar una evolución similar entre los hidrocarburos totales y los HPA. La evolución de los PCB es más contrastada. Si el aumento con la profundidad es significativo, cabe notar una curva importante entre las dos capas medianas de la muestra de perforación.

La evolución vertical de los metales pesados es mucho más atípica que la de los otros compuestos (Figura 50). Efectivamente, las curvas muestran un aumento con la profundidad pero con una fuerte inflexión entre 7,5 y 12,5 cm de profundidad, signo de una perturbación importante del compartimento sedimentario. La absorción de los metales pesados sobre las partículas es principalmente condicionado por la reducción del sedimento. La puesta en suspensión de los sedimentos superficiales genera una modificación del potencial de oxidoreducción del sedimento que se traduce por una reoxigenación parcial de la capa subyacente (piso 10-15 cm). Este fenómeno tiene por consecuencia una ruptura de los puentes metales / partículas y por lo tanto una liberación de los contaminantes. La capa más profunda (15 – 20 cm) no parece afectada por las perturbaciones antrópicas.

Figura 49: Evolución de los compuestos orgánicos normalizados por la fracción fina en función de la profundidad

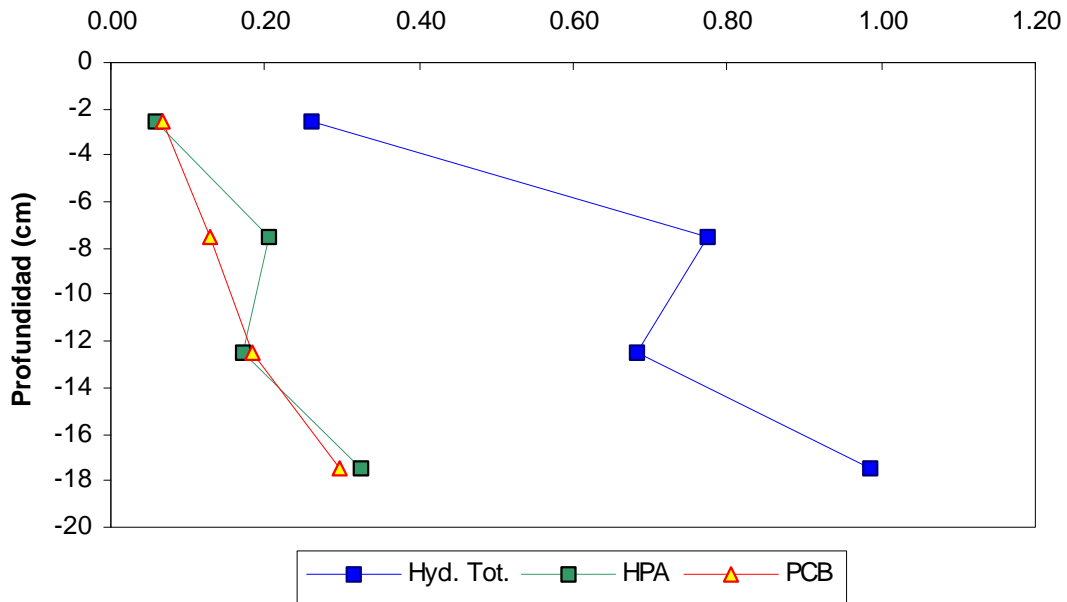
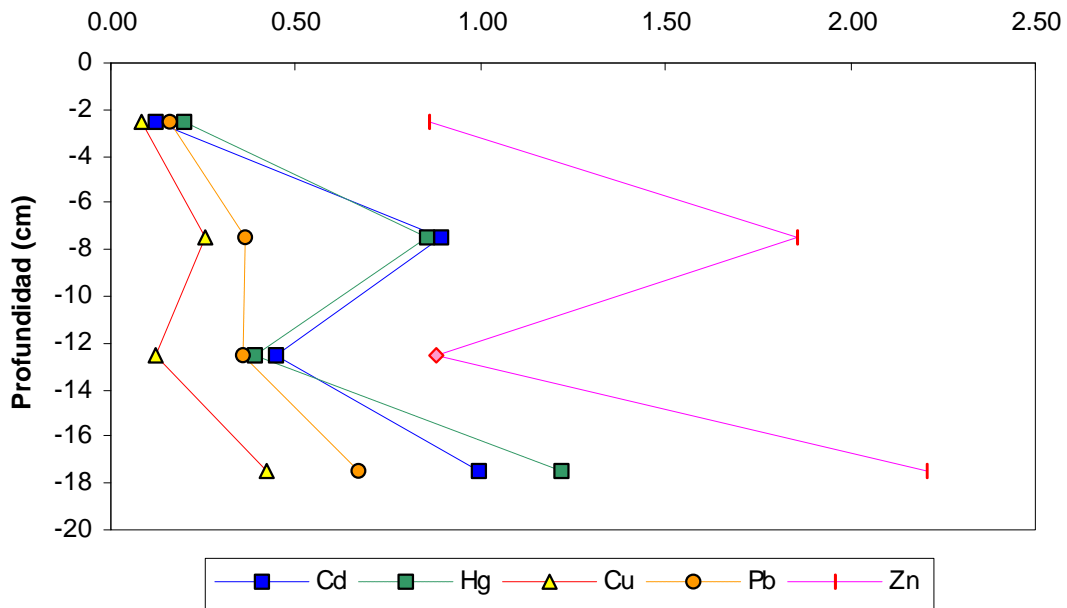


Figura 50: Evolución de los metales pesados normalizados por la fracción fina en función de la profundidad



4.4.7 Clasificación de los sedimentos

Se realizó la clasificación de la calidad de los sedimentos en base a las categorías de contaminaciones (concentración mínima apuntada (sólo en el caso de los metales pesados), y contaminación débil, media y fuerte) tales como las que aparecen en las diferentes secciones de la parte 4.4.

Esta clasificación se realizó solamente sobre muestras de sedimentos superficiales de forma que se pueda disponer de una base de comparación común.

Primero, se realizó esta clasificación para cada parámetro en la base del valor “que descalifica”, y para cada criterio global en la base del parámetro “desclificador”.

Se trata del mismo método adoptado para clasificar las aguas dulces.

Tres criterios principales permiten clasificar los sedimentos marinos costeros:

- Los metales pesados (Cadmio, Cobre, Mercurio, Zinc y Plomo);
- Los compuestos orgánicos (PCB, hidrocarburos totales y HPA);
- Los nutrientes (nitrógeno global, fósforo total).

Los umbrales de contaminación aplicados aparecen en los cuadros siguientes:

Cuadro 23 : Cuadro de evaluación de la calidad de los sedimentos marinos costeros frente a los metales pesados

CLASE DE CALIDAD	1	2	3	4
Cadmio (mg Cd/kg de peso seco)	< 0.1	< 0.2	< 0.5	> 0.5
Cobre (mg Cu/kg de peso seco)	< 10	< 50	< 100	> 100
Mercurio (mg Hg/kg de peso seco)	< 0.1	< 0.2	< 0.5	> 0.5
Plomo (mg Pb/kg de peso seco)	< 20	< 50	< 100	> 100
Zinc (mg Zn/kg de peso seco)	< 40	< 100	< 200	> 200

Cuadro 24 : Cuadro de evaluación de la calidad de los sedimentos marinos costeros frente a los compuestos orgánicos y los nutrientes

CLASE DE CALIDAD	1	2	3
PCB (mg/kg peso seco)	< 5	< 50	> 50
Hidrocarburos totales (mg/kg peso seco)	< 50	< 300	> 300
HPA (mg/kg peso seco)	< 1	< 10	> 10
N global (mg N/kg peso seco)	< 0.5	< 1	> 1
Fósforo Total (mg P/kg peso seco)	< 100	< 300	> 300

4.4.7.1 Metales pesados

Se clasificaron los metales pesados por compuestos y en base a un índice global.

Se define este índice de contaminación metálico como la suma de las concentraciones de metales de una estación sobre la suma de las concentraciones máximas apuntadas para cada metal a la escala de Guanaja (índice) y a la escala de las tres islas (índice global).

Cuadro 25 : Recapitulativo de las contaminaciones metálicas en los sedimentos de Guanaja

Número punto de medición	Sitio	Isla	cadmio	cobre	mercurio	plomo	zinc	I Índice	Indice global
GS5	Mangrove Bight	Guanaja						0,07	0,06
GS8	Savannah Bight	Guanaja						0,11	0,08
GS11	El Cayo	Guanaja						1,00	0,77
GS13	Aeropuerto	Guanaja						0,11	0,09

Leyenda de los cuadros recapitulativos

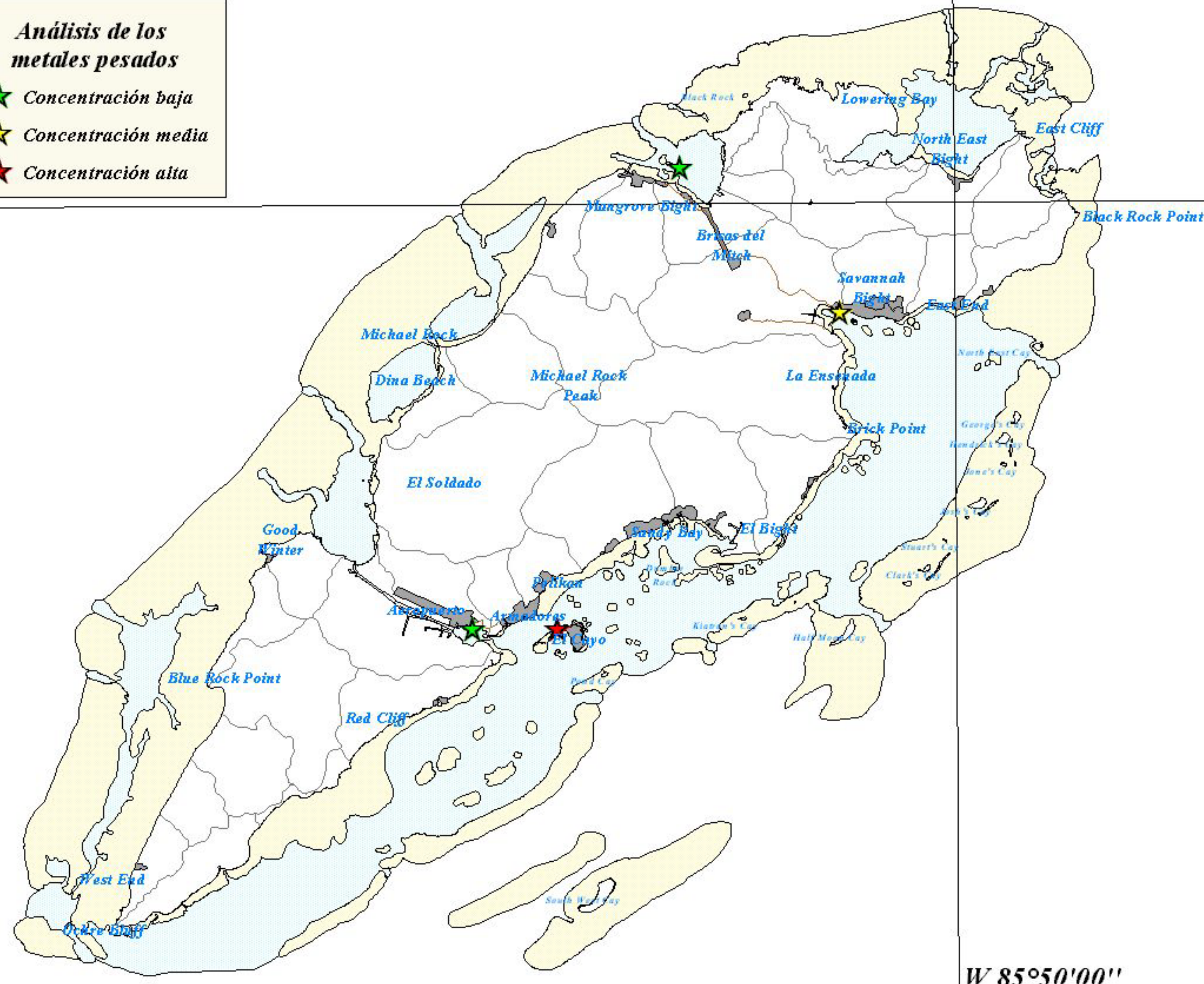
	Contaminación mínima encontrada		Sin contaminación
	Contaminación media		Contaminación importante

En lo que se refiere a la isla de Guanaja, se utilizaron 4 puntos de mediciones.

Los resultados son presentados en el Cuadro 26 y en el mapa 11. Indican:

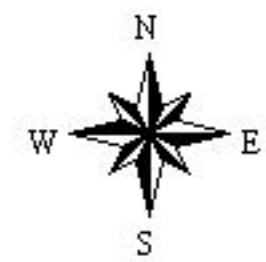
- Una casi ausencia de contaminación metálica en el conjunto de las estaciones (índice de contaminación débil $< 0,15$) excepto en el sitio GS11 del Cayo. Cabe notar la presencia de cadmio frente a Savannah Bight (sitio GS8);
- Las contaminaciones son fuertes cerca de Bonacca (sitio GS11 el Cayo). Las contaminaciones pueden ser muy marcadas lo cual es una amenaza muy seria para la integridad del ecosistema. Es necesario tomar medidas relativas a la disminución de los aportes.

	Casco urbano	Análisis de los metales pesados
	Carretera de tierra	
	Cuenca hidrográfica	
	Arrecife	
	Laguna	
	Concentración baja	
	Concentración media	
	Concentración alta	



W 86°00'00"

W 85°50'00"

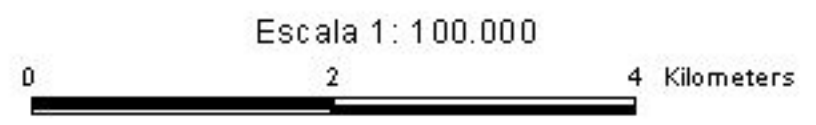


REPUBLICA DE HONDURAS
 Secretaría de Turismo
 Proyecto de Manejo Ambiental de Islas de la Bahía
 Préstamo BID 938/SF-HO

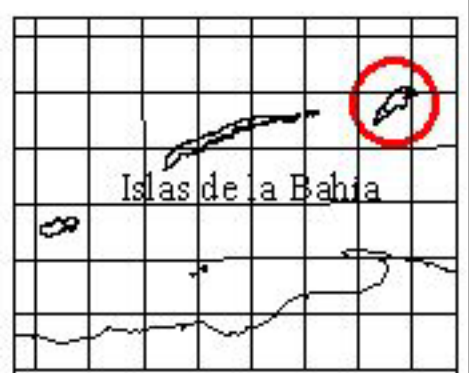
DATOS CARTOGRAFICOS

Proyección Cartográfica: Universal Transversa de Mercator
 Esferoide: Clarke 1866
 Dato Horizontal: NorTEAMERICANO 1927
 Dato Vertical: Nivel medio del Mar 1956
 Fotografía Aérea: 1:20000, Julio de 1999
 Ortorectificación Digital: PMAIB, Julio del 2000
 Clasificación de Campo: PMAIB, IGN

Producido por:
 Consorcio SAFEGE-SGREAH-Moncada y Moncada
 Revisión y Certificación:
 PMAIB-Subprograma de Recursos Naturales



Clasificación de los sedimentos marinos con respecto a los metales pesados



Mapa 11/13

4.4.7.2 Compuestos orgánicos tóxicos

Los resultados obtenidos aparecen en el Cuadro 26 y el mapa 12.

Salvo el sitio GS13 se puede poner de relieve el mismo tipo de observación que para los metales pesados, es decir:

- Nivel débil de contaminación de los sedimentos a nivel de los sitios GS5 y GS8;
- Una contaminación significativa de los sedimentos localizados a proximidad de los sectores de Bonacca y del aeropuerto (GS11 y GS13).

4.4.7.3 Nutrientes

Los resultados aparecen en el Cuadro 26 y en el mapa 13.

Se nota que los sedimentos que presentan concentraciones más significativas de nutrientes (nitrógeno y fósforo) son los que presentan contaminaciones por los compuestos orgánicos, a saber los sectores de Bonacca y del aeropuerto (GS11 y GS13).

4.4.8 Conclusión

Los sitios pueden ser clasificados en función de las actividades que los rodean. Estas actividades acondicionan a la vez las contaminaciones en metales pesados, en contaminantes orgánicos, y en nutrientes. Desde este punto de vista, los sectores localizados en el triángulo que lleva al aeropuerto, Armadores y la comunidad de Bonacca están fuertemente contaminados por las contaminaciones urbanas, industriales y las actividades aeroportuarias.

Los otros sitios están mucho menos contaminados, a pesar de la presencia cercana de los sectores urbanizados. Las principales contaminaciones que son transportadas parecen ser contaminaciones nutritivas y de materias orgánicas biodegradables, que son mineralizadas, y desparramadas a favor de las corrientes costeras. Probablemente sea la razón por la cual no se encuentra prácticamente en los sedimentos. Esto no significa que no hay impacto sobre el medio natural. Volveremos sobre este punto en el capítulo 5, y en el próximo informe sobre las recomendaciones de lucha contra las contaminaciones.

El Cuadro 26 integra los resultados de las clasificaciones de los tres grandes grupos de contaminantes (metales pesados, compuestos orgánicos, nutrientes), y los mapas 11 a 13 representan la repartición de estas clasificaciones.

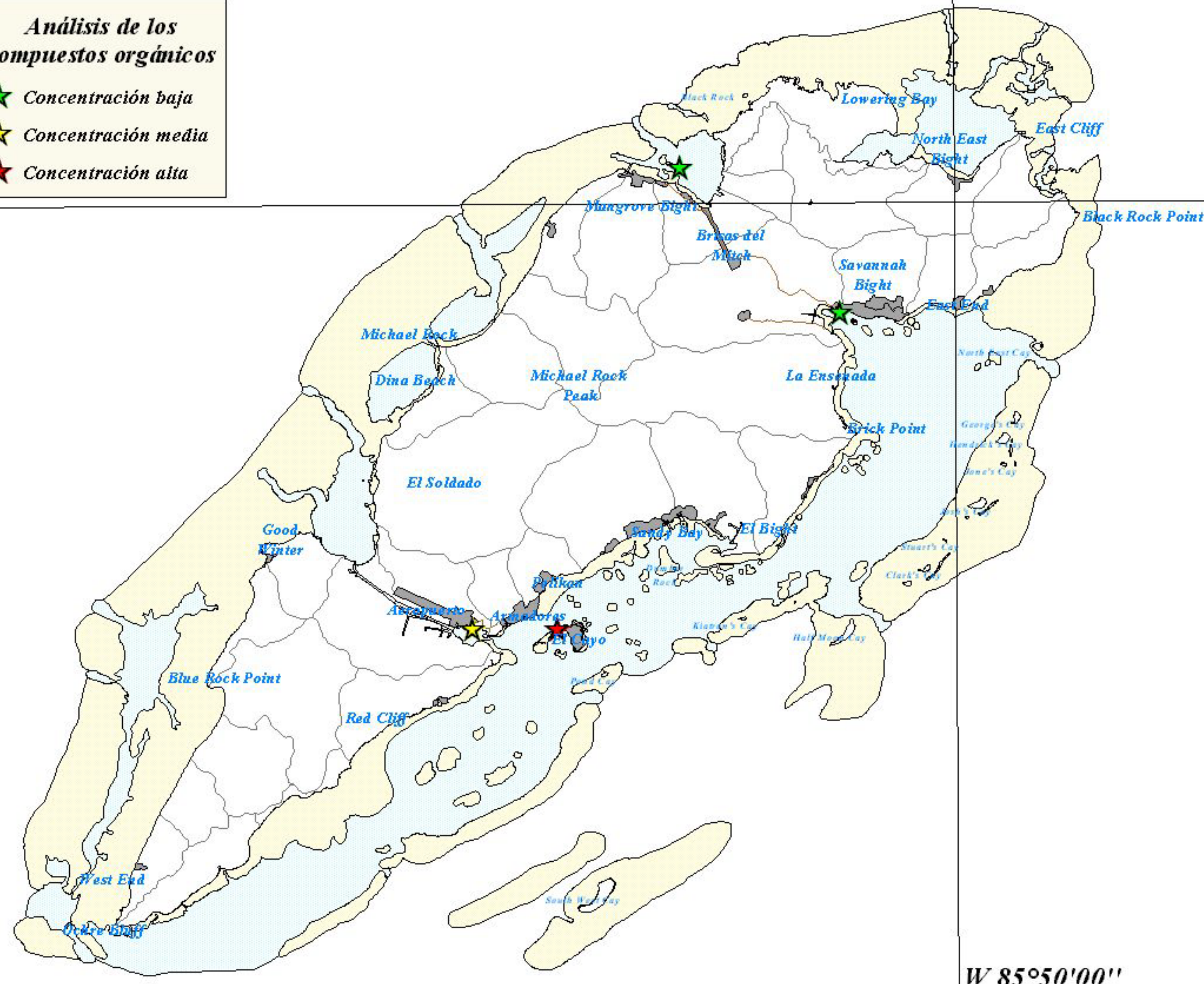
Cuadro 26 : Clasificación sintética de la calidad de los sedimentos marinos costeros de Guanaja

Número punto de medición	Sitio	Isla	Metales pesados		Compuestos orgánicos	Nutrientes
			Parámetro « desclasificador »	Índice global*	Parámetro « desclasificador »	
GS5	Mangrove Bight	Guanaja				
GS8	Savannah Bight	Guanaja				
GS11	El Cayo	Guanaja				
GS13	Aeropuerto	Guanaja				

* clase verde : 0-0,2 / clase amarilla : 0,2-0,5 / clase roja : 0,5-1

En fin, para poner de relieve los riesgos inherentes a cada contaminante tóxico, una ficha recapitulativa de cada contaminante se encuentra en el Anexo 30.

	Casco urbano	Análisis de los compuestos orgánicos
	Carretera de tierra	
	Cuenca hidrográfica	
	Arrecife	
	Laguna	
	Concentración baja	
	Concentración media	
	Concentración alta	




REPUBLICA DE HONDURAS
 Secretaría de Turismo
 Proyecto de Manejo Ambiental de Islas de la Bahía
 Préstamo BID 938/SF-HO

DATOS CARTOGRAFICOS

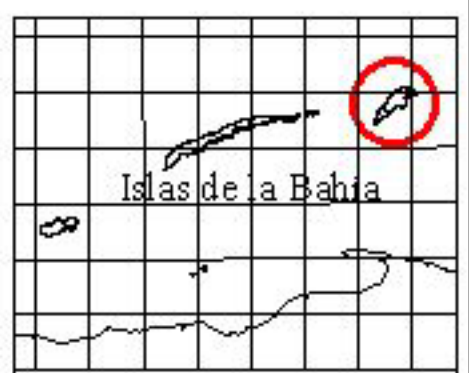
Proyección Cartográfica: Universal Transversa de Mercator
 Esferoide: Clarke 1866
 Dato Horizontal: Noroamericano 1927
 Dato Vertical: Nivel medio del Mar 1956
 Fotografía Aérea: 1:20000, Julio de 1999
 Ortorectificación Digital: PMAIB, Julio del 2000
 Clasificación de Campo: PMAIB, IGN

Producido por:
 Consorcio SAFEGE-SG/REAH-
 Mancada y Mancada
 Revisión y Certificación:
 PMAIB-Subprograma de
 Recursos Naturales

Escala 1:100.000

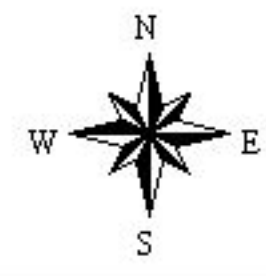
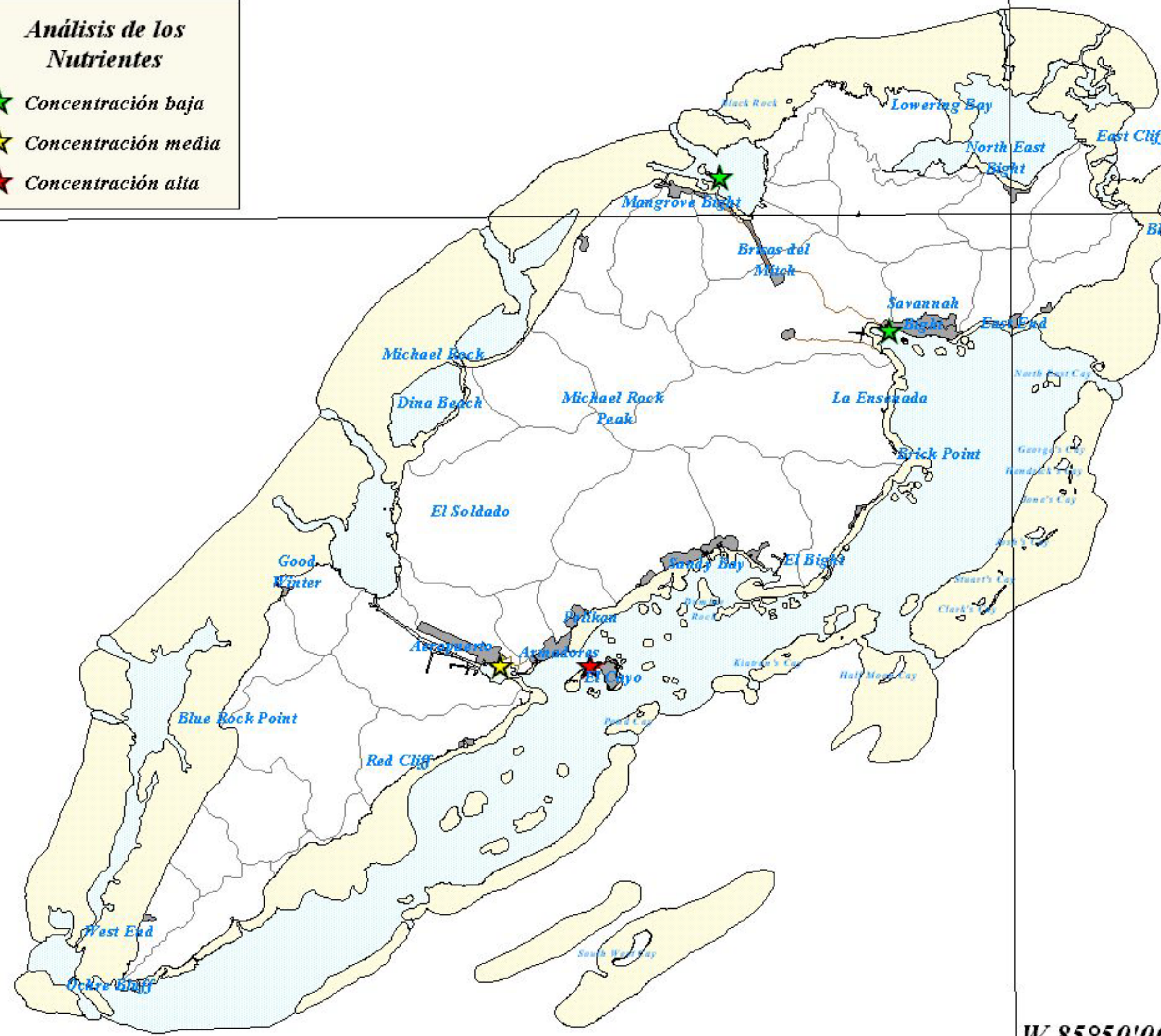


Clasificación de los sedimentos marinos con respecto a los compuestos orgánicos



Mapa 12/13

	Casco urbano	Análisis de los Nutrientes	
	Carretera de tierra		Concentración baja
	Cuenca hidrográfica		Concentración media
	Arrecife		Concentración alta
	Laguna		



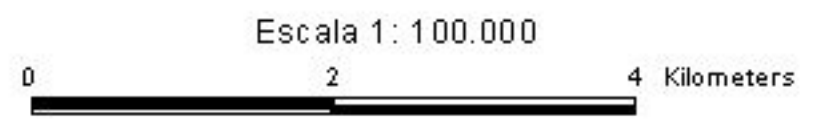
REPUBLICA DE HONDURAS
 Secretaría de Turismo
 Proyecto de Manejo Ambiental de Islas de la Bahía
 Préstamo BID 938/SF-HO



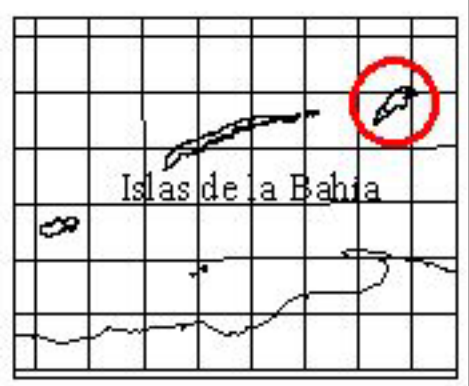
DATOS CARTOGRAFICOS

Proyección Cartográfica: Universal Transversa de Mercator
 Esferoide: Clarke 1866
 Dato Horizontal: Norleamericano 1927
 Dato Vertical: Nivel medio del Mar 1956
 Fotografía Aérea: 1:20000, Julio de 1999
 Ortorectificación Digital: PMAIB, Julio del 2000
 Clasificación de Campo: PMAIB, IGN

Producido por:
 Consorcio SAFEGE-SGREAH-Moncada y Moncada
 Revisión y Certificación:
 PMAIB-Subprograma de Recursos Naturales



Clasificación de los sedimentos marinos con respecto a los nutrientes



Mapa 13/13

5

Diagnóstico por sector geográfico

Se propone un análisis sector por sector para:

- Entender las variaciones espaciales de las concentraciones en las aguas dulces y marinas de la isla de Guanaja;
- Establecer correlaciones entre las fuentes de contaminación, sus efectos sobre la calidad de las aguas dulces, de las aguas marinas y sedimentos. Se incluye también un principio de extrapolación al medio receptor en esta presentación. Aquí tan sólo se trata de pistas preliminares que convendrá revisar y completar en la base del trabajo de los expertos del componente AMC del proyecto.

Se establece este análisis en la base de un recorte por sectores geográficos. Este recorte no significa en el estado que se trata de conjuntos morfológicamente homogéneos porque éstos dependen del medio receptor cuyo estudio detallado sale del marco del presente informe. La definición de tales sectores geográficos homogéneos está en preparación y se presentará en un próximo informe.

Cabe notar que el pH y la concentración de nitrito en las aguas marinas no presentan casi ninguna variación de un sitio a otro (lo cual es normal), ni tampoco en el tiempo. Por eso no se estudian estos parámetros a continuación.

5.1 De Ochre Rock al basurero de West End

Este sector va desde la punta Sur Oeste de la isla hasta el Sur de la bahía localizada al este del aeropuerto.

Normalmente está desprovisto de actividades antrópicas, salvo un pequeño pueblo costero y sobre todo un basurero localizado en West End en el límite Noreste del segmento de costa considerado. Este basurero recibe los desechos sólidos del conjunto de los sitios urbanizados de Bonacca y Armadores.

Allí no se inventarió ningún río, lo cual es muy lógico ya que las cuencas son muy pequeñas. De manera que resulta muy probable que el transporte sólido siga siendo muy limitado.

Se caracteriza también este sector por un arrecife de bordo y por pastos de fanerógamas marinas. Además la costa Sur tiene manglares esencialmente compuestos por *Rhizophora* y por *Laguncularia* en muy mal estado (Lebigre, 2000).

Las pocas indicaciones de las cuales disponemos hacen pensar que el arrecife de bordo estaría en estado medio.

Parece ser que los desechos flotantes tendrían tendencia a acumularse a lo largo de esta costa, lo cual tiene que ser confirmado. En este caso, podría tratarse de desechos sólidos que provienen del basurero implantado en el límite Noreste de este sector. En efecto, este basurero está localizado a la orilla del mar, y las corrientes bordean la costa del Noreste hacia el Suroeste parte del año. Tampoco se excluye que la costa Sureste de la isla de Guanaja esté expuesta a las influencias de los ríos de tierra firme, lo cual sería confirmado por las fotografías satelitales. En este caso, desechos sólidos podrían haber sido traídos del continente a esta costa por la acción conjunta de las corrientes y del viento.

5.2 Del basurero de West End a El Bight

Este sector es uno de los más importantes por las actividades que tienen lugar allí. En efecto este sector consta de:

- La bahía semi cerrada que bordea por el Este la pista del aeropuerto;
- El sector urbanizado de Armadores que está localizado al Norte de la salida de esta bahía. Armadores consta de plantas empacadoras de mariscos y de numerosos botes pesqueros;
- El Cayo donde está localizada la comunidad de Bonacca. Este sector es el más poblado de Guanaja. Consta de una planta empacadora de mariscos, de numerosos barcos pesqueros y de varios tanques de hidrocarburos;
- La bahía de Sandy Bay: es una bahía abierta parcialmente urbanizada a lo largo de su litoral. Excepto un pequeño manglar situado en El Bight al Este de Sandy Bay, el principal manglar es el que bordea el aeropuerto. Está esencialmente constituido por *Rhizophora*. También se apunta la presencia de *Acrostichum aureum*, la cual podría indicar la existencia de una salida de agua dulce subterránea (Lebigre, 2000). Esta hipótesis parece ser coherente con el tamaño importante de la cuenca situada al Este del aeropuerto. Con el paso del huracán Mitch, este manglar fue destruido casi totalmente. No obstante es el único manglar de Guanaja que presenta señales de recuperación. Los nuevos rebrotes

no son espacialmente homogéneos y parece que afectan esencialmente a los sectores que bordean los canales y la bahía localizada en la costa Noroeste de la isla.

El conjunto del sector está ocupado por una laguna en el medio de la cual se encuentra el Cayo (Bonacca). Esta laguna de una profundidad media de 10 a 20 m está parcialmente cubierta por un pasto de fanerógamas marinas en su parte norte. Se observan horsts coralinos en todas partes de la laguna. Está bordeada al Sureste por un arrecife de barrera perforado por numerosos canales, entre los cuales dos son de tamaño importante a proximidad del Cayo.

La orientación de la laguna en este sector de la isla y la existencia de los canales que atraviesan el arrecife de barrera explica la existencia de corrientes más o menos fuertes, que tienen un efecto mayor en el funcionamiento del ecosistema marino costero.

5.2.1 Ríos

Este sector consta de numerosos ríos que fueron analizados en el marco del estudio. Se trata de los sitios siguientes:

- GD6 (Sandy Bay – Jim);
- GD7 (Sandy Bay – La presa / Nautilus Hotel);
- GD8 (Bahía resort);
- GD9 y GD10 (Armadores);
- GD11 (Armadores pasado Mariscos Isleños).

El diagnóstico de cada uno de los ríos se presenta a continuación:

5.2.1.1 Sitio GD6 (Sandy Bay - Jim)

El sitio de muestreo está localizado río arriba de un sector costero parcialmente urbanizado. Este río es permanente y sus características principales son las siguientes :

- El caudal de estiaje es débil. Los caudales más débiles se obtuvieron durante el verano;
- La conjunción de una extensión del tiempo de permanencia y de fuerte temperatura del aire, conduce a un aumento significativo de la temperatura del agua en verano (hasta 31°C);

- El pH es muy estable alrededor de 7;
- El agua es muy poco mineralizada;
- El agua presenta una buena oxigenación. Se percibe una sobresaturación de oxígeno disuelto a finales del verano y podría ser el resultado de un pico de producción primaria, vinculada a condiciones favorables (en particular a una extensión del tiempo de permanencia de las aguas). Esta sobresaturación de oxígeno disuelto se acompaña de un aumento concomitante de la turbidez, lo cual conforta la idea de un pico de biomasa algal.
- La turbidez presenta un máximo durante la temporada de lluvia, dada la lixiviación de los suelos (58 NTU en febrero), sin que este parámetro alcance valores muy altos. La lixiviación de los suelos que acompaña la estación invernal aúna a la vez turbidez de las aguas y transporte sólido. En efecto se apuntan picos concomitantes de MES (hasta 110 mg/l). Las concentraciones de MES son probablemente subestimadas porque no se han podido seguir los picos de crecida.
- La concentración de nitratos así como la concentración de amonio son generalmente débiles. Sin embargo se apunta un aumento ocasional de la concentración de nitratos (hasta 0,8 mg NO₃- N/l), sin que este máximo sea elevado. Este ligero aumento podría depender del régimen hidrológico del río, correspondiendo al pico de transporte sólido.
- Las concentraciones de fósforo siguen una lógica casi parecida a la de los compuestos nitrogenados. Las concentraciones de ortofosfatos son generalmente débiles (inferiores a 10 µg PO₄- p/l), y aumentan durante los periodos de lluvia. El máximo obtenido (de 180 µg PO₄- p/l) concuerda con el pico de MES y con el pico de nitratos. En este análisis no se tomará en cuenta el máximo de 198 µg PO₄- p/l obtenido en marzo del 2000. Se ha conseguido éste máximo cuando cambió el protocolo de análisis y este valor está sin duda sobrestimado. Lo esencial del fósforo está bajo forma mineral.

De esto se concluirá, que los elementos nutritivos están presentes en concentraciones débiles en el río, que se encuentran esencialmente bajo forma mineral y que están vinculados a los aumentos observados en invierno con la lixiviación de los suelos.

El río tiene, un agua de buena calidad, lo cual queda confirmado por una débil concentración de DBO₅. Lo único que se puede notar son los picos de MES que podrían estar vinculados a la urbanización sin control de esta parte de litoral y a la desestabilización del substrato vegetal de la cuenca.

5.2.1.2 Sitio GD7 (Sandy Bay – La Presa/ nautilus hotel)

El sitio de muestreo está localizado río arriba de un sector costero parcialmente urbanizado. El río tiene las características siguientes:

- Su caudal es variable. Se puede secar durante la temporada seca y se acerca a unos cien litros por segundo durante la temporada de lluvia;
- los caudales débiles de estiaje explican que la temperatura de las aguas pueda alcanzar los 31°C;
- El pH es ligeramente básico (entre 7 y 8) y sigue siendo estable a lo largo del año;
- La conductividad es débil pero muy característica de un río tropical;
- La concentración de oxígeno disuelto queda cerca del equilibrio, lo cual muestra la ausencia de contaminación orgánica significativa;
- La turbidez es débil con un máximo medido de 15 NTU. La concentración de MES es también débil con un máximo medido de 20 mg MES/l;
- La concentración de compuestos nitrogenados es débil con un máximo de 0,3 mg NO₃-N/l y 0,17 mg NH₄-N/l;
- La concentración de fósforo es débil a media con un pico significativo de 50 µg PO₄- p/l y de 120 µg P_{tot}-P/l en julio del 1999;
- La DBO₅ es más bien limitada.

A modo de conclusión, este río es de buena calidad.

5.2.1.3 Sitio GD8 (Bahía Resort)

El sitio de medición está localizado río arriba de un sector costero parcialmente urbanizado. Este río recibe las aguas de una pequeña cuenca, lo cual explica que él no sea permanente. Sus principales características son las siguientes:

- Debido a la fuerte variabilidad de los caudales y sobre todo al hecho de que al final del periodo de estiaje, el agua a veces no corre, la temperatura del agua puede alcanzar valores elevados (entre 31 y 32°C°);
- El pH queda cerca del equilibrio;
- La conductividad es normal para este tipo de hidrosistema tropical: es media y estable a lo largo del año;

- La concentración de oxígeno disuelto está más bien en ligera subsaturación. Presenta algunas fluctuaciones al final del periodo de estiaje, dependiendo del desarrollo probable de una biomasa algal y de su descomposición, y resulta de la extensión importante del tiempo de permanencia cuando el caudal se sitúa en torno a cero. Esto no traduce ninguna contaminación del río porque la concentración de oxígeno disuelto sigue siendo correcta cuando el río corre.
- La turbidez presenta un pico durante el periodo de estiaje marcado, correspondiendo a la biomasa algal que se desarrolla en esta ocasión. En efecto no existe ninguna correlación entre la turbidez y las concentraciones de MES. Éstas siguen siendo correctas salvo un pequeño aumento durante la temporada de lluvia, sin carácter excesivo, y que resulta de la lixiviación de los suelos.
- Las concentraciones de compuestos nitrogenados siguen siendo moderadas, tanto para los nitratos (máximo de 0,4 mg NO₃ -N/l) como para el amonio (140 µg NH₄- N/l).
- Las concentraciones de fósforo son generalmente débiles, salvo un pico de fósforo total (90 µg P/l en julio del 1999) cuya mayor parte correspondía a fósforo orgánico.
- Por fin la DBO₅ sigue siendo limitada.

En términos generales, este río parece tener un agua más bien buena.

5.2.1.4 Sitio GD9 y GD10 (el río Armadores)

El río correspondiente atraviesa el sector urbanizado e industrial de Armadores. Recibe, los efluentes urbanos en cantidad importante. Estos vertidos contaminantes influyen sobre la calidad de sus aguas. A fin de mostrarlo aún más nítidamente, se han instalado dos sitios de mediciones, un sitio río arriba de los sectores urbanizados y un sitio río abajo de éstos.

El río, río arriba de los sectores antrópicos tiene las características siguientes (sitio GD9):

- El caudal es débil salvo durante la temporada de lluvia. Sin embargo, este río no parece secarse.
- La temperatura es más bien estable con un máximo inferior a 29°C. Este fenómeno podría resultar del papel regulador de la cobertura vegetal.
- El pH queda cerca de la neutralidad pero a veces puede ser ácido (6,3 por ejemplo en abril del 2000);

- La conductividad es muy estable a lo largo del año y la mineralización es débil, lo cual es una característica de los climas tropicales;
- A lo largo del año la concentración de oxígeno disuelto es más bien estable. Las variaciones observadas están directamente conectadas a las variaciones de temperatura. La concentración de oxígeno disuelto esta cercana del equilibrio.
- Las concentraciones de MES y la turbidez siguen siendo limitadas, lo cual podría resultar del papel moderador de la cobertura vegetal. Es probable que, al no poder seguir los picos de crecidas, se subestimaron los máximos para estos dos parámetros.
- Las concentraciones de compuestos nitrogenados son más bien débiles ya que los máximos medidos son de 0,3 mg NO₃- N/l y de 60 µg NH₄ - N/l.
- Las concentraciones de fósforo son también débiles a medias. La concentración máxima de ortofosfatos es de 44 µg PO₄- p/l y de fósforo total es de 80 µg P/l. Se obtuvieron estos dos valores máximos de manera concomitante en abril del 2000. Salvo este caso, la mayor parte del fósforo se encuentra bajo forma mineral.
- La débil concentración de amonio, de fósforo orgánico y las buenas concentraciones de oxígeno disuelto confortan la idea de que el río está poco contaminado, lo cual se traduce por una débil DBO₅ y por un número medio de coliformes (fecales y totales).
- La presencia ocasional de coliformes fecales en marzo-abril del 2000 hace pensar que en esta ocasión una contaminación, claro está limitada, pero sin embargo manifiesta ha pasado. Esta hipótesis queda reforzada por la conjunción de una reducción de pH, de un aumento de las concentraciones de fósforo y de un aumento de un factor 10 del número de coliformes tanto fecales como totales. Se volvió normal la situación en mayo del 2000. Estas contaminaciones están aparentemente vinculadas a los lavados de ropa por la población local río arriba del sitio de medición;

A modo de conclusión y salvo excepción, el río de Armadores es de buena calidad río arriba del sector urbanizado.

Río abajo del sector urbanizado y río arriba de la desembocadura, el río presenta las características siguientes:

- El caudal es sensible el mismo que río arriba del sector urbanizado;
- Los valores máximos de temperatura son superiores alrededor de 2°C a los del río en el sitio GD9, mientras que los valores mínimos son similares. Esto traduce el hecho de que el río pasa por un sector de débil flujo entre los sitios GD9 y GD10, sector donde el agua se calienta en periodo estival.

- El pH es ácido tanto en valor absoluto (con un valor mínimo de 5,66) como cuando se compara con el del sitio GD9 localizado río arriba de este río. Parece existir una diferencia de alrededor de 0,5 unidad de pH entre los dos sitios entre junio y el mes de enero. Esta diferencia no es perceptible entre febrero y mayo. Es muy probable que esta reducción del pH esté vinculada a las actividades industriales ya que la reducción del pH corresponde al periodo de actividad de las plantas empacadoras de mariscos. Sin embargo, nada es seguro.
- La conductividad varía ligeramente a lo largo del año sin que se pueda poner en manifiesto una tendencia clara. Esta conductividad es ligeramente superior a la del sitio GD9, lo cual podría resultar de los vertidos contaminantes que llegan al río. Sea lo que fuere, el aumento que se observó sigue siendo secundario y parece que no afecta la calidad del agua del río.
- La concentración de oxígeno disuelto es generalmente muy baja. El valor mínimo está cercano a la anoxia. Se obtienen débiles valores tanto durante el periodo de actividad de las plantas empacadoras de mariscos como en el resto del año. Es muy probable que la demanda de oxígeno disuelto proceda de las contaminaciones domésticas recibidas.
- La turbidez es regularmente elevada y esto sin depender del caudal, lo cual confirma el impacto de las contaminaciones antrópicas recibidas;
- Las concentraciones de MES no son muy elevadas, lo cual resulta de los débiles aportes vinculados a la erosión. Sin embargo, son significativamente superiores a los que observaron en el sitio GD9, lo cual resulta de las contaminaciones antrópicas recibidas entre los dos sitios.
- Las concentraciones de nitratos son más bien débiles (el valor máximo es de 0,7 mg NO₃-N/l). Son ligeramente superiores a las del sitio GD9, pero la diferencia sigue siendo limitada. Al contrario las concentraciones de amonio son elevadas (hasta 4,3 mg NH₄-N/l) mientras que hay muy poco amonio en GD9. Los valores son elevados casi todo el año, lo cual significa que hay aportes continuos de NH₄ por las contaminaciones domésticas. Estos aportes se completan por una liberación de NH₄ a partir de los sedimentos anóxicos.
- Las concentraciones de fósforo son también muy fuertes con un valor máximo de 1,07 mg PO₄- P/l y de 1,37 mg P_{tot}/l. Estas concentraciones son fuertes a lo largo del año. Esto no significa que hay contaminaciones domésticas que proceden en cantidad importante en el río a lo largo del año y/o hay liberación del fósforo almacenado en los sedimentos. En todos los casos, esta liberación es probable ya que está favorecida por la anoxia de las aguas y por la mineralización del fósforo orgánico a la interfase agua-sedimento. Al respecto, cabe notar que la mayor parte del fósforo es bajo forma mineral.

- La contaminación orgánica es sensible como lo confirman los valores fuertes de DBO5 y de DQO (alrededor de 60 mg O2/l).
- También se observa una fuerte contaminación bacteriana. Ésta se caracteriza por valores considerables en coliformes totales y coliformes fecales. El pico observado en mayo del 2000 (310 000 000 coliformes fecales/ 100ml y 2 800 000 000 coliformes totales/100 ml) es enorme y se podría comparar a los valores que se observan a la salida de una estación de depuración. No se pueden explicar semejantes valores sino suponiendo que la mayor parte del agua del río corresponde a efluentes domésticos.
- Las aguas aparecen cargadas de metales. Las concentraciones de hierro son significativas pero normales para este tipo de ecosistema tropical (valor máximo de 2 mg/l). Las concentraciones de cadmio son inferiores al umbral de medición excepto un pico en mayo del 2000. Desde luego este pico corresponde a una contaminación muy fuerte con respecto a este parámetro. Esta fecha corresponde también a picos de zinc (1,26 mg/l) y de plomo (0,33 mg/l). En cada caso, los valores son elevados y caracterizan una fuerte contaminación. Las concentraciones de cobre son medias (están generalmente incluidas entre 0,1 y 0,2 mg/l). En términos generales, se observa una contaminación con respecto a varios metales pesados.
- Es importante considerar el caso específico del análisis que se hizo durante el mes de mayo del 2000. En efecto, esta muestra presenta la particularidad de asociar un pico de amonio (4,3 mg NH4-N/l), un pico de fósforo orgánico (0,37 mg P/l), una tasa DBO5/DQO débil, un número excesivamente alto de coliformes fecales y totales, y picos de metales pesados (36 µg Cd/l, 1,26 Zn/l y 33 mg Pb/l). Es evidente que si estos resultados son correctos, se trata indudablemente de una contaminación que aúna a la vez contaminaciones industriales y orgánicas. Es posible que se trate de materias que proceden de los cambios de aceite que se han tirado río arriba del sitio de medición poco tiempo antes del muestreo. Por supuesto se puede comparar este caso del que se había observado en RD3 (Los Fuertes) el 13 de abril del 2000 y cuya calidad también está degradada.

Si se cruza la información presentada anteriormente se puede deducir:

- Aportes importantes en contaminantes llegan al río entre los dos sitios de medición. Estos aportes están vinculados a las actividades urbanas.
- Las contaminaciones conciernen esencialmente a las formas reducidas (el amonio sin los nitratos), el fósforo, las materias orgánicas y las contaminaciones bacterianas;
- La degradación de las materias orgánicas provoca una ligera reducción del pH;

- Esta mineralización de las materias orgánicas consume casi todo el oxígeno del río y se almacenan concentraciones importantes de contaminantes en los sedimentos;
- Hay poca autodepuración a nivel del río, probablemente por el efecto conjunto de una débil reoxigenación de las aguas y de un tiempo de permanencia limitado entre ambos sitios.

Este río es, fuertemente degradado durante la travesía del sector urbanizado.

5.2.1.5 Sitio GD11 (Armadores pasado Mariscos Isleños)

De hecho este sitio está localizado en otro río que pasa por el perímetro urbanizado de Armadores. Es importante apuntar que el sitio de medición está localizado río arriba del sector antrópico. De los datos disponibles se pueden sacar estas conclusiones:

- El caudal es débil, lo cual es normal ya que el sitio de muestreo está localizado casi río arriba de la cuenca;
- La temperatura es más bien estable, lo cual podría resultar de un tiempo de permanencia en el agua muy limitado río arriba del sitio de muestreo;
- El pH es más bien estable y ácido (entre 6 y 7) excepto cuando se pone a llover y entonces sube hasta entre 7 y 8;
- La conductividad es débil pero normal para este tipo de hidrosistema;
- La concentración de oxígeno disuelto está situada regularmente por debajo de la saturación, sobre todo a finales del verano. En dicha ocasión varía entre 2 y 3 mg O₂/l. Al contrario, durante la temporada de lluvia, la concentración de oxígeno disuelto queda cerca del equilibrio.
- La turbidez es débil. Presenta algunos picos, que están vinculados sea a contaminaciones puntuales (fuera del periodo de lluvias), sea a la lixiviación de los suelos durante la temporada de lluvia. En el primer caso, las MES siguen siendo débiles mientras que en el segundo existe a la vez un pico de turbidez y de MES. En todos los casos dichos picos son de amplitud limitada.
- Las concentraciones de compuestos nitrogenados siguen siendo débiles tanto para los nitratos (valor máximo de 0,2 mg N₀₃-N/l) como para el amonio (valor máximo de 0,23 mg NH₄-N/l);
- No obstante se observaron picos de fósforo con un máximo medido de 230 µg PO₄-P/l y de 290 µg P_{tot}/l. En la mayor parte de los casos, el fósforo se encuentra esencialmente bajo forma mineral.

- La DBO5 sigue siendo débil;
- Los coliformes (tanto fecales como totales) son variables en concentración. Parece que hay contaminaciones fecales puesto que el valor máximo de coliformes fecales medido es 80 000/ 100 ml. Además, esta cifra elevada corresponde a más de una tercera parte de los coliformes totales medidos al mismo tiempo.

En conclusión, todo hace pensar que, aunque este sitio esté localizado río arriba de la zona urbanizada, a veces recibe contaminaciones. Estas se concretizan por un alza del fósforo, sin efecto marcado sobre el nitrógeno y por un conteo bacteriano característico de una contaminación fecal. Normalmente no hay ningún ganado en esta cuenca y la explicación más probable es la de la utilización del río por la población para hacer allí su lavado de ropa. Este tipo de práctica se constató en algunos ríos de las islas de la Bahía. Por eso, la presencia de población muy cerca del lugar podría conducir a contaminaciones incluso cuando estas poblaciones viven físicamente río abajo del sitio de medición.

5.2.2 Medio marino costero

Se colocaron varios sitios en este sector antrópico. Se trata de los sitios siguientes:

- Aeropuerto
 - GM13 para el análisis de la columna de agua marina;
 - GS13 para el análisis del sedimento superficial.
- Armadores – El Cayo
 - GM11 y GM12 para el análisis de la columna de agua marina;
 - GS11 para el análisis del sedimento marino superficial y de una muestra de perforación del sedimento;
 - GB1 y GB2 para el análisis bacteriológico marino.
- Kiatron's Cay
 - GM10 para el análisis de agua marina;
 - GCR10 y GCR11 para el seguimiento de los arrecifes respectivamente a 10 y 3 m de profundidad;
 - GSF que corresponde al sitio F de seguimiento del pasto marino a fanerógamas de la laguna.

- Jack's Cay
 - GCR8 y GCR9 para el seguimiento de los arrecifes respectivamente a 10 y a 3 m de profundidad.

Con respecto a estos sitios se puede hacer el diagnóstico siguiente.

5.2.2.1 Aeropuerto

Este subsector está constituido por una bahía que se abre al Sur de Bonacca y de la comunidad de Armadores. Recibe las contaminaciones directas que proceden de la escorrentía a nivel de la pista del aeropuerto, además de las aguas de lixiviación de los suelos del manglar que colinda con el aeropuerto por su parte Sur. Esta bahía consta de pastos de fanerógamas marinas. Es semi cerrada y tiene una profundidad limitada a unos 3 m.

El análisis de los resultados obtenidos en este subsector permite sacar las conclusiones siguientes:

- La temperatura presenta una diferencia reducida con la de la laguna al exterior de la bahía. Sin embargo se apunta un aumento más rápido de las temperaturas a principios de la primavera, lo cual podría ser la consecuencia de la menor profundidad del agua. Sin embargo, se constata que las temperaturas máximas y mínimas son sensiblemente las mismas en la bahía y fuera de ésta. Semejante resultado puede dar a pensar que intervienen intercambios suficientes entre la bahía y la laguna para provocar reequilibraciones.
- Se obtiene el mismo tipo de constatación para el pH y la salinidad que son poco diferentes en la bahía y fuera de ésta. Los aportes en agua dulce, especialmente durante la temporada de lluvia, no parecen ser suficientes como para ser perceptibles a nivel de la salinidad.
- La concentración de oxígeno disuelto en la bahía es globalmente superior que al exterior de esta. Esta diferencia es significativa en cualquier estación y podría a la vez resultar de la proximidad de los manglares, pero también de una producción primaria superior a nivel de la columna de agua. Tan sólo un análisis de clorofila a esta disponible. Se trata del mes de marzo del 2000. En dicha ocasión, se observa que las concentraciones de clorofila a son similares en GM11 en la laguna y en GM13 en la bahía del aeropuerto (unos 0,200 µg/l). Sin embargo hay una diferencia entre las concentraciones de pheopigmentos (con 0,08 µg/l en GM13 contra 0,013 µg/l en GM11). En términos generales, el fitoplanctón parece estar en dicha ocasión en un estado de senescencia más fuerte en la laguna que en la bahía. Eso se podría traducir por la existencia de fitoplanctón en fase de crecimiento más acentuada y en mejor estado en la bahía. Por lo momento no disponemos de ninguna certidumbre pero sería interesante cruzar estos

resultados con los de biomasa planctonica que estarán a disposición a principios del año 2001;

- Se observa que hay un poco más de amonio en la bahía que en la laguna, lo cual podría resultar de los aportes procedentes de los manglares. Además, también hay más fósforo en las aguas de la bahía que en las de la laguna y esto pese a la presencia de fuentes de contaminación urbanas a proximidad del sitio GD11.
- El análisis de los sedimentos superficiales permite mostrar que hay una contaminación moderada de la bahía por metales pesados procedentes de la lixiviación de la pista del aeropuerto (cobre, plomo y zinc), sin impacto significativo. No obstante se apunta que los sedimentos constan de compuestos orgánicos y nutrientes en cantidad media a fuerte y que proceden, sin duda, del manglar cercano y de los taxistas de agua del aeropuerto. También se apunta la presencia de restos de barcos que lindan con el sitio de medición.
- Se apunta que los manglares están, en términos generales, en mal estado a pesar de que se puedan observar rebrotes parciales en algunos sitios. En tal contexto, la erosión regresiva de una parte de los manglares muertos (que se constata en el campo (Lebigre, 2000)) podría conducir a un aumento de los aportes en nutrientes en la bahía. No sería anormal que de ahí resultara una sobreproducción fitoplanctónica e incluso una sedimentación parcial de las aguas de la bahía. Si tal fenómeno ocurriera, es poco probable que tuviera un impacto importante sobre las aguas de la laguna. En efecto, la bahía está relativamente cerrada y está cubierta por un pasto marino que tiene como particularidad física de ser una trampa para los sedimentos. Se puede temer que el pasto marino esté amenazado por los aportes terrígenos y en nutrientes, pero es poco probable que se manifiesten otros efectos significativos.

5.2.2.2 Armadores – El Cayo de Bonacca

Este subsector está constituido por la parte de la laguna localizada entre la bahía del aeropuerto, el norte del sector urbanizado de Armadores y el Cayo de Bonacca. Este conjunto geográfico está bajo la influencia directa de contaminaciones importantes:

- Los efluentes urbanos de las dos comunidades (a saber unos 2500 habitantes) sabiendo que no se practica casi ningún tratamiento de dichos efluentes;
- Los vertidos de las tres plantas empacadoras de mariscos (2 en Armadores y una en Bonacca);
- Las contaminaciones procedentes de los botes pesqueros y de los tanques de hidrocarburos.

El análisis de los resultados conseguidos en este subsector permite sacar las conclusiones siguientes:

- se ubicaron dos sitios de medición a nivel de la columna de agua en este subsector geográfico (GM11 y GM12). Estos dos sitios están muy cerca el uno del otro. El punto GM11 está localizado a proximidad de Bonacca (al Sur del Cayo) mientras que GM12 está ubicado enfrente de la comunidad de Armadores. El conjunto del subsector está ocupado por un pasto marino a fanerógamas, lo cual tiene un impacto sobre la calidad de las aguas. Estos dos sitios están comparados al sitio GM10 que está localizado en la laguna pero a cierta distancia de las fuentes de contaminación y en una columna de agua mucho más profunda.
- Se constata que en verano la temperatura es ligeramente superior al Sur del Cayo y cerca de Armadores que en el sitio GM10. Este resultado es coherente puesto que los sitios GM11 y GM12 están localizados en una zona poca profunda que tiende, a calentarse más rápidamente en verano. Las diferencias son menos sensibles el resto del año, lo cual es probablemente el resultado de una buena mezcla de las aguas en el conjunto de la laguna bajo el efecto de las corrientes y del viento;
- No son significativas ni las diferencias de pH, ni las diferencias de salinidad;
- Sin embargo, se observa que las concentraciones de oxígeno disuelto son sensiblemente más débiles en el sitio GM11 (Sur Cayo) que en los otros dos sitios. Tal diferencia podría dar a pensar que el sitio GM11 está bajo la influencia de las contaminaciones que proceden del Cayo y que estas contaminaciones se diluirían menos rápidamente que las que se recibieron en el sitio GM12 enfrente de Armadores.
- Si no se consideran los resultados para los nitratos dado sus valores inconsistentes, todavía se pueden comparar las mediciones en los tres sitios para el amonio, los ortofosfatos y el fósforo total. En lo que se refiere al amonio, las concentraciones son generalmente superiores en el sitio más cerca de Armadores (GM12), con valores globalmente parecidos a los de los otros dos sitios (GM11 y GM10). Así mismo si se comparan las concentraciones de fósforo obtenidas, el sitio que parece presentar los valores globalmente más fuertes es el sitio GM12 de Armadores. Estos resultados dan a pensar que el sitio GM12 está afectado directamente por las contaminaciones que proceden de Armadores mientras que las del Cayo parecen ser que tienden a diluirse bastante rápidamente en el medio marino bajo el efecto probable de corrientes. Los elementos nutritivos están presentes en cantidades más importantes en GM12 que en GM11, lo cual es probablemente el resultado de las condiciones hidrodinámicas locales.
- Además, es interesante estudiar los resultados de los análisis bacteriológicos que se han realizado en dos sitios del Cayo. Los resultados muestran que si hay

regularmente una contaminación media de las aguas marinas, no se ha observado ninguna contaminación fuerte, lo cual podría ser el resultado de buenas condiciones de mezcla en las cercanías del Cayo.

- Parece, que hay una contradicción entre lo que se puede deducir de la interpretación del oxígeno por una parte y de la bacteriología y de las concentraciones de nutrientes por otra parte. Para ir más adelante en la interpretación de las contaminaciones de esta zona geográfica, hace falta integrar los resultados obtenidos a nivel de los sedimentos. Se tomó un muestra de perforación de los sedimentos y una muestra de sedimentos superficiales en el sitio GS11. De estos análisis se puede deducir que los sedimentos están muy contaminados en las lindes del Cayo. Se trata de contaminaciones múltiples, que tienen que ver a la vez con los metales pesados, los compuestos orgánicos tóxicos y los nutrientes. En cada caso los sedimentos están clasificados en la peor categoría del cuadro de calidad. Además, parece ser que, regularmente, los sedimentos se hayan puesto de nuevo en suspensión bajo el efecto del paso de los barcos y que hayan sido mezclados por el oleaje generado por el huracán Mitch. Esta puesta en suspensión concierne a priori los 10 a 15 primeros cm de la capa sedimentaria. De esto se puede deducir, que el Cayo produce un número importante de contaminaciones y parte de éstas se almacenan en los sedimentos cuando no son exportadas ni diluidas en la columna de agua. Numerosos residuos yacen en el fondo cerca del Cayo. Este conjunto de contaminaciones migra ocasionalmente hacia la columna de agua, poniendo así en peligro la integridad del ecosistema. De hecho, el sedimento es probablemente un fuerte consumidor de oxígeno disuelto, lo cual explica que las concentraciones de oxígeno disuelto sean generalmente inferiores a las que se han medido a la vez en medio de la laguna (sitio GM10) y enfrente de Armadores (sitio GM12) que, sin embargo, se le conoce por ser un lugar contaminado.
- Estos resultados se pueden comparar a los que se han observado para la clorofila a (se trata de resultados preliminares ya que actualmente se dispone de una sola medición realizada en marzo del 2000). Ahora bien, aparece que el valor máximo de clorofila a medido en marzo del 2000 en los sitios de Guanaja se apuntó en el sitio del Cayo. El sitio del cayo tiene una concentración de unos 0,5 $\mu\text{g Chla/l}$, contra unos 0,2 $\mu\text{g Chla/l}$ enfrente de Armadores (sitio GM12) y 0,11 $\mu\text{g Chla/l}$ en GM10 en medio de la laguna. Estas diferencias traducen bien el impacto de las contaminaciones, siendo el sitio del Cayo el más contaminado, seguido por el sitio de Armadores y por fin, el del medio de la laguna, que ha alcanzado un valor límite cerca de las de los sitios de alta mar.

5.2.2.3 Kiastron's Cay

Este sitio está localizado cerca del arrecife barrera, en la parte Este del sector geográfico considerado. Un sitio de medición en la columna de agua está localizado

en este subsector. Se trata del sitio GM10. Este sitio ya se ha comparado a los otros sitios del sector (GM11 y GM12). Se añadirán las consideraciones siguientes:

- Las concentraciones de oxígeno disuelto se sitúan generalmente al equilibrio o en ligera sobresaturación, siendo observadas éstas durante la primavera que es, a priori, el periodo de pico de producción primaria;
- Se observan picos de nutrientes durante la temporada de lluvia, tanto a nivel de los compuestos nitrogenados como a nivel de los compuestos fosforados. Dado que este sitio no está localizado a proximidad de una zona antrópica, tan sólo hay dos explicaciones posibles. La primera estriba en considerar que los picos observados son erróneos. La segunda hipótesis tiene sus fundamentos en la existencia de un flujo preferencial entre el sector contaminado del Cayo y el que bordea la barrera arrecifal donde se encuentra el sitio GM10. Sin embargo, la amplitud de los picos correspondientes sigue siendo poco clara y es preferible reservar nuestras conclusiones esperando la puesta en marcha de nuevos protocolos analíticos para zanjar definitivamente entre estas dos opciones.

Este subsector geográfico también consta de tres sitios de estudio de la fauna y de la flora marina. Se trata de los sitios GCR10 y GCR11 (GCR para Guanaja Coral Reef a fin de diferenciar estos nombres de los que se utilizaron para los análisis de agua), y GSF (para Guanaja Seagrass Station F). Los resultados preliminares obtenidos en estas estaciones son brevemente recordados a continuación (según Bouchon *et al.*, 2000) :

- Sitio GSR11: corresponde a un sitio característico de la parte superior de las pendientes externas arrecifales. Se sitúa a una profundidad de 3 m. El número de especies de peces es más bien bajo (16 especies contra, por ejemplo, 36 en Jack Cay a la misma profundidad). Los índices de biodiversidad son más bien correctos (con 3,77 para el índice de Shannon y 0,77 para el índice de Pielou). Se nota también una débil proporción de especies carnívoras, la misma ausencia de especies piscívoras, y la proporción no despreciable de especies herbívoras.
- Sitio GSR10: corresponde a un sitio característico de una pendiente externa arrecifal a una profundidad de 10 m. El número de especies de peces aparece más bien débil (21 especies) si se le compara con los demás sitios de Guanaja o aún peor con respecto a los mismos tipos de sitio en Roatán. Pese a este débil número de especies, la biodiversidad es correcta (a la vez traducida por un buen índice de Shannon de 3,48 y por un buen índice de Pielou de 0,79). También se observa la fuerte proporción de especies piscívoras.
- Sitio GSF: este sitio es un sitio de pasto marino situado justo detrás de la barrera arrecifal. Está localizado en la laguna a una profundidad alrededor de 1 m y corresponde a un pasto marino de *Thalassa Testudinum* y *Syringodium filiforme*. Esta estación presenta una débil riqueza específica de peces, con tan sólo 5

especies apuntadas. La biomasa total es de 1350 g/m², lo cual está en la media de las estaciones seguidas en las islas de la Bahía. Es importante este valor con respecto a las biomásas observadas en la zona del Caribe. La producción de las hojas es de 3,5 g/m²/día, lo cual es regular, pero sin embargo es superior a la producción observada en los sitios de Roatán. La tasa de renovación de las hojas es de 37 días es decir que se sitúa en la media de las estaciones seguidas en fondo arenoso.

5.2.3 Conclusiones

Este sector es más antrópico de Guanaja. Reagrupa buena parte de la población, todas las industrias y buena parte de los barcos. Estas contaminaciones antrópicas tienen un efecto más marcado sobre el estado del ecosistema en su parte sur. En efecto, las cercanías del Cayo aparecen fuertemente contaminadas y en mal estado ecológico. De la misma manera, los aportes contaminantes llevan a un aumento de las concentraciones en nutrientes en el triángulo Armadores – Basurero de West End – Bonacca. Estas contaminaciones se traducen por un crecimiento de la biomasa fitoplanctónica.

Este efecto de las contaminaciones parece fuertemente reducido por la presencia de corrientes y de una mezcla significativas. De hecho, el estado de la calidad de las aguas mejora rápidamente a medida que uno se aleja del Cayo quedándose siempre en la parte central de la laguna. En verdad esta parte central no presenta ningún interés ecológico y ofrece la ventaja de servir de zona tampón entre las contaminaciones del Cayo / Armadores y la barrera arrecifal por una parte, y el sector de El Bight a Brick Point por otra parte.

Además, es probable que la bahía de Sandy Bay sea frágil. Se manifiesta esta fragilidad por una débil renovación de las aguas, ya que está situada en una zona protegida de las corrientes principales, de las olas y con poca mezcla de las aguas. Además, la presencia de horsts coralinos es un factor desfavorable. Esta bahía recibe contaminaciones que podrían evacuarse fácilmente. Se trata primero de las contaminaciones debidas al urbanismo del litoral. Luego se trata de los aportes de MES, que también están parcialmente vinculados a este urbanismo. El fondo de la bahía está cubierto de pastos marinos a fanerógamas que podrían ser los primeros afectados por una degradación de la calidad de las aguas.

Parece que la barrera arrecifal que bordea la laguna está en un estado medio. Su parte externa ha sufrido mucho los efectos del huracán Mitch, lo cual podría especialmente explicar la débil biodiversidad piscícola que se observó allí. Esta barrera arrecifal está, en un estado:

- Frágil, debido al impacto del huracán Mitch;

- Frágil también porque está orientado al Sur Este y esta susceptible de recibir las contaminaciones de los grandes ríos continentales como lo muestran las fotografías satelitales; y
- Frágil del lado interno por la proximidad a los sectores urbanizados y contaminados.

5.3 De El Bight a Brick Point

Este sector geográfico corresponde a una zona tampón entre dos sectores antrópicos. Consta de:

- Pequeñas cuencas;
- Un inicio de urbanización costera;
- Una laguna de una profundidad de 10 a 30 m (una media de 20 m) y que tan sólo está cubierta por pastos marinos a fanerógamas en su franja litoral. Ésta consta también de una meseta arrecifal estrecha.
- Una barrera arrecifal atravesada por un gran canal.

5.3.1 Ríos

Se estudiaron algunos ríos que atraviesan el sector. Los ríos considerados son los siguientes:

- GD5 (Oeste hotel Posada);
- GD4 (Hotel Posada del Sol);
- GD3 (Este hotel Posada).

Se presenta el diagnóstico de cada uno de estos ríos a continuación.

5.3.1.1 Sitio GD5 (Oeste Hotel Posada del Sol)

El sitio de muestreo está localizado inmediatamente río arriba de la desembocadura. Este río presenta las características siguientes:

- Este río tiene un caudal muy débil durante la mayor parte del año. Realmente sólo presenta un flujo significativo durante los 4 meses de la temporada de lluvia;

- A pesar de estos débiles caudales la temperatura sigue siendo bastante estable y tan sólo supera los 29°C en contadas ocasiones;
- El pH de las aguas es estable y más bien de carácter ácido (entre 6 y 7);
- Las aguas son más bien débilmente mineralizadas. Ambos picos de conductividad obtenidos están probablemente vinculados a una medición hecha demasiado río abajo, y podría traducir una simple mezcla con el agua de mar.
- La concentración de oxígeno disuelto queda cerca del equilibrio en la temporada de lluvia. Ocurren subsaturaciones de oxígeno disuelto cuando se reduce el caudal.
- La turbidez y las concentraciones de MES aparecen excesivamente débiles, incluso durante la temporada lluvia, pero como no se siguieron los picos de crecida, es posible para no decir probable que se subestimó la amplitud de estos parámetros;
- Las concentraciones de nitrógeno (nitratos, amonio) son generalmente débiles. Así mismo las concentraciones de fósforo son generalmente débiles. Sin embargo, pueden ser muy significativas cuando el río presenta un caudal más importante. Sin embargo, el valor máximo de fósforo de 100 µg PO₄- P/l medido en marzo del 2000 está puesto en tela de juicio (debido a un cambio concomitante de protocolo). Se considerará sin embargo que una parte no despreciable del fósforo está bajo forma orgánica. Es probable que este fósforo provenga de la vegetación de la cuenca o del basurero del hotel Posada Del Sol, localizado justo río arriba del sitio de medición, lo que tiende a confirmar el débil valor de la DBO₅ y la débil concentración de amonio.

Si se reúnen todos estos datos entre ellos, todo hace pensar que la vegetación sirve de tampón. La vegetación evita los picos de turbidez y de MES, de temperatura y de compuestos nitrogenados pero trae un poco de fósforo bajo forma orgánica. En resumidas cuentas, este río es más bien de buena calidad.

5.3.1.2 Sitio GD4 (Hotel Posada del Sol)

Este sitio está localizado en la zona de un hotel (Posada del Sol). El río presenta las características siguientes:

- Tiene un caudal variable a lo largo del tiempo con sucesión de caudales casi nulos que suceden a caudales de 3 a 5 l/s. Las temperaturas parecen más bien estables tomando en cuenta el débil nivel de los caudales.
- El pH es muy estable y queda cerca de la neutralidad;
- Las aguas son débilmente mineralizadas;

- La concentración de oxígeno es correcta e incluso ligeramente en sobresaturación a finales del verano, lo cual podría poner en evidencia el impacto de un poco de producción primaria. Se confirman estas buenas concentraciones de oxígeno disuelto por el débil nivel de DBO5.
- La turbidez y las concentraciones de MES son muy débiles, pero deberían de ser superiores durante las tormentas;
- Así mismo, son más bien débiles las concentraciones de nutrientes, tanto para los nitratos (valor máximo de 0,3 mg NO₃-N/l) como para el amonio (valor máximo de 0,25 mg NH₄-N/l), como para los ortofosfatos (valor máximo de unos 50 µg PO₄-P/l).
- La mayor parte del fósforo se encuentra generalmente bajo forma mineral.

Este río tiene, un funcionamiento que se parece mucho al del río GD5. Es de buena calidad y su funcionamiento parece ser bajo la influencia de la vegetación de su cuenca. Esta vegetación desempeña un papel tampón característico, tanto por la turbidez y las MES como por los caudales, la temperatura, la DBO5 y los compuestos nitrogenados.

5.3.1.3 Sitio GD3 (Este hotel Posada del Sol)

El sitio de muestreo está localizado justo arriba de la desembocadura del río. Este río tiene las características siguientes:

- Tiene un caudal superior al de los otros dos ríos de este sector. No sólo este caudal es más importante sino que también es más estable a lo largo del tiempo, lo cual podría ser el resultado de una cuenca de mayor superficie. Se obtiene el caudal máximo en diciembre es decir durante el periodo de las lluvias, lo cual es normal.
- La temperatura del agua es mucho menos estable que para GD4 y GD5. Supera regularmente los 32°C, pese a un caudal más significativo que los otros dos ríos. Esto podría resultar del paso del agua en una hondonada donde se calienta justo río arriba del sitio de medición.
- El pH es a veces neutro y a veces ácido. Fluctúa entre 6,3 y 7,7 sin que pueda aflorar una lógica en las variaciones.
- La mineralización es débil. En absoluto se tienen que tener en cuenta dos picos de salinidad de septiembre y octubre del 1999. Es probable que estas mediciones se hayan realizado demasiado río abajo, es decir cuando el río se junta con el mar.

- Las concentraciones de oxígeno disuelto son generalmente de ligera subsaturación pero, a veces, pueden estar en sobresaturación (a finales del verano en particular);
- La turbidez y la tasa de MES son débiles como es el caso para los otros dos ríos del sector, con la misma problemática durante el periodo de tormentas;
- Las concentraciones de nitrógeno (nitratos y amonio) así como las concentraciones de fósforo son globalmente débiles. No se tomará en cuenta la medición de ortofosfatos de marzo del 2000 que es artificialmente sobrestimada.
- El fósforo se encuentra más bien bajo forma orgánica. Así el pico de fósforo orgánico obtenido en julio del 1999 está en buena adecuación con un ligero aumento de la DBO₅.

Globalmente el río está en un estado más bien correcto.

5.3.2 Medio marino costero

Se han implantado dos sitios de estudio de la fauna arrecifal en este sector dispuesto entre dos sectores fuertemente antrópicos. Ambos están localizados en la pendiente externa de la barrera arrecifal en el lugar de Jack's Cay. Se trata de GCR8 y GCR9 respectivamente localizados a 10 y 3 m de profundidad.

En lo que se refiere a estos sitios, se puede hacer este diagnóstico preliminar siguiente (según Bouchon *et al.*, 2000):

- Sitio GCR9: corresponde a un sitio característico de la parte superior de las pendientes externas arrecifales. Se sitúa a una profundidad de 3 m. El número de especies de peces es elevado (36 especies contra 16 en Kiatron's Cay a una profundidad equivalente). Los índices de biodiversidad son buenos (con 4,03 para el índice de Shannon y 0,78 para el índice de Pielou). Se apunta también una débil proporción de especies carnívoras (sobretudo para las piscívoras).
- Sitio GSR8: corresponde a un sitio característico de una pendiente externa arrecifal, a una profundidad de 10 m. El número de especies de peces es muy bueno (con 44 especies) si se le compara con los demás sitios de Guanaja. Es correcta la biodiversidad (a la vez traducida por un buen índice de Shannon de 3,94 y para un buen índice de Pielou de 0,78). También se nota la débil proporción de especies piscívoras, que se ha de comparar con la que se obtuvo en GSR10 que sin embargo está localizado en otra barrera arrecifal bastante cerca.

5.3.3 Conclusiones

Debido a su configuración este sector tendría que ser parcialmente protegido contra las contaminaciones. Ahora bien, aunque la laguna presente una orientación diferente a la laguna de los dos sectores que la rodean, se puede temer que la circulación de las aguas lleve a un flujo paralelo a la costa en la laguna durante parte del año. Dicho esto, parece ser que las aguas de la laguna costera situada al Este de Guanaja sean atravesadas por corrientes bastante importantes que mezclan las aguas y diluyen las contaminaciones (ver el párrafo 1.2). En este caso y tomando en cuenta una contaminación limitada que procede del litoral, es probable que este sector tenga agua de buena calidad.

Dicho esto, aunque haya pocas contaminaciones, el arrecife de bordo de la costa de la isla está, sin embargo, bajo la influencia de los aportes y del transporte sólido. El arrecife costero correspondiente parece ser que esté en estado medio, que todavía tiene que ser confirmado por los expertos del componente AMC.

En fin, es poco probable que el lado exterior de la barrera arrecifal haya sido afectada por contaminantes procedentes de la isla de Guanaja. Sin embargo, no está excluido que reciba contaminaciones directamente desde los grandes ríos continentales, como lo mostró una fotografía satélital (ver informe Seawiff, 1999). Cabrá esperar más información por parte de los expertos del componente AMC para poder sacar una conclusión en lo que se refiere al estado de este arrecife. En una primera aproximación, parece que el arrecife está en un estado medio y la población piscícola aparece más bien diversificada si se le compara a la de la barrera arrecifal estudiada más al Sur, en el sector de El Bight a Brick Point.

5.4 De Brick Point a East Cliff

Este sector es interesante ya que consta de:

- Un sector urbanizado con las comunidades de Savannah Bight y de East End. Estas comunidades están ubicadas en una ladera de cerro en los cuales se practica la ganadería.
- Varias cuencas con características distintas: incluyendo la cuenca grande y con pendientes importantes de la Ensenada y la cuenca plana localizada al Oeste de Savannah Bight.

Todos los aportes contaminantes llegan a una bahía, la bahía de Savannah Bight, presentando características de una bahía calma de débil circulación de las aguas en su parte Noreste y de bahía de fuerte circulación en sus partes Sur y Este.

Esta bahía consta de:

- Una laguna honda de unos 10 a 20 m que presenta a sus orillas algunos horsts coralinos aislados;
- Su lado Oeste está ocupado por un pasto de fanerógamas marinas y por una meseta arrecifal estrecha. Además el litoral de esta costa está ocupado por manglares en los que predominan los *Rhizophora*, con algunos *Laguncularia* y *Conocarpus*. Entre estos manglares, los *Conocarpus* son los únicos en haber sobrevivido al huracán Mitch (Lebigre, 2000).
- Su lado Este corresponde a una barrera arrecifal atravesada por un canal casi paralelo a la línea de costa Norte de esta bahía. Este canal está bordeado en su lado Norte por una meseta arrecifal más bien ancho.

5.4.1 Ríos

Algunos ríos atraviesan este sector y fueron analizados. Se trata de los ríos siguientes:

- GD1 y GD2 (La ensenada);
- GD17 (Mitch Oeste);
- GD18 (Mitch Este 1);
- GD19 (Mitch Este 2);
- GD20 (Mitch Este 3);
- GD21 (Savannah Bight 1);
- GD22 y GD23 (Savannah Bight río arriba y río abajo);
- GD24 y GD25 (East End río arriba y río abajo).

El diagnóstico de cada uno de estos ríos se presenta a continuación. Se notará que los ríos GD17, GD18, GD19 y GD20 se infiltran en el suelo para después llegar al mar.

5.4.1.1 Sitios GD1 y GD2 (río La Ensenada)

La Ensenada es uno de los ríos más importantes de Guanaja. Drena una cuenca importante cuya cobertura vegetal ha sido afectada por el huracán Mitch y que culmina en el punto más alto de la isla (415 m de altitud). Además, se utiliza esta cuenca para la ganadería.

Las características de esta cuenca son, muy interesantes porque se pueden comparar con interés con las de las pequeñas cuencas de semejante orientación como los del sector geográfico presentado en el párrafo 5.3.

Se han localizado dos sitios de medición en este perímetro. El primero (GD1) está localizado río arriba de las actividades de ganadería y justo a la salida de la parte de la cuenca con pendiente importante. Este sitio se llama “La Ensenada Vivero”. El segundo sitio ubicado en esta cuenca (GD2) está localizado río abajo de los sitios de ganadería y casi en la desembocadura del río. Este segundo sitio se llama “La Ensenada Desembocadura”.

El análisis de los resultados obtenidos en el lugar del primer sitio se presentan a continuación:

- El río es permanente. Tiene un caudal significativo todo el año. El caudal de estiaje es de 30 l/s y el caudal máximo medido es de 200 l/s, pero es probable que el caudal máximo real es muy superior a este valor ya que no se han realizado las mediciones durante el periodo de tormentas.
- La temperatura no es estable. Ascende hasta casi 32°C, lo cual traduce el hecho de que el tiempo de permanencia de las aguas no es despreciable, pese a un caudal significativo debido a una cuenca importante.
- El pH es variable: entre 6,6 y 8,6. Tiene una tendencia a bajar durante la temporada de lluvia y a recuperarse a finales de la temporada seca. Esta tendencia es lógica. En un caso traduce el hecho de que los suelos son generalmente más bien ácidos y en el otro caso el posible impacto de la producción primaria al final de temporada de estiaje.
- La conductividad es muy estable y corresponde sensiblemente a los valores que se observaron en los demás ríos poco contaminados de la isla (unos 150 a 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$).
- La concentración de oxígeno disuelto se aproxima globalmente al equilibrio. Se nota un pico de sobresaturación de oxígeno disuelto al final de la temporada seca, lo cual confirmaría que hay, en dicha ocasión, un pico de producción primaria.
- En cualquier periodo del año la turbidez es buena. Así mismo, las concentraciones de MES siguen siendo muy débiles. Aunque sea poco probable que se haya medido el valor máximo de concentración de MES (puesto que no se han seguido los picos de crecida), sin embargo los valores observados son singularmente débiles, lo cual da a pensar que la cuenca desempeña un papel tampón de buena calidad. Esto da crédito a la idea según la cual el transporte sólido podría ser menor por unidad de superficie en esta cuenca de lo que se obtiene en otras cuencas de la isla.

- Las concentraciones de nitratos siguen siendo débiles (valor máximo de 0,2 mg NO₃-N/l), así mismo como las concentraciones de amonio (salvo un pico de 0,75 mg NH₄-N/l).
- Las concentraciones de fósforo son medias a fuertes. Hay regularmente 50 µg PO₄-P/l. Además a veces se encuentra el fósforo total en concentraciones significativas. Así, se han medido dos valores casi similares de 120 a 130 µg P/l, lo que da a pensar que una parte no despreciable del fósforo podría encontrarse bajo forma orgánica. Estas fuertes concentraciones de fósforo podrían tener su origen en las actividades de ganadería río arriba del sitio o más probablemente de la vegetación en descomposición. Cabrá enfocar sobre este problema en el marco de los balances de los flujos de contaminantes. En efecto, tomando en cuenta los caudales de los ríos, los flujos de fósforo correspondiente podrían ser importantes.
- La DBO₅ es mediana puesto que se apuntó un pico a 8 mg O₂/l. Tal valor confirma la presencia de materia orgánica. El hecho de que la concentración de oxígeno disuelto no parece ser afectada por esta materia orgánica puede resultar de una buena autodepuración del río, o incluso puede ser el resultado de que las contaminaciones llegan al río no muy lejos del sitio de medición, lo cual no deja el tiempo de debutar la mineralización de la materia orgánica y, de consumir oxígeno.
- No hay contaminación fecal, lo cual se traduce por un número muy limitado de coliformes fecales. Hay algunos coliformes totales.

A modo de conclusión, este río tiene una calidad más bien correcta salvo una concentración de fósforo elevada y un poco de materia orgánica que no procede a priori de efluentes domésticos, excepto los vertidos del campamento militar (dichos militares participan en el programa de reforestación de Guanaja). El origen exacto de esta contaminación deberá ser confirmado.

Este río se analizó también en el sitio GD2 (sitio localizado río abajo de un sector con actividad ganadera, cerca de la desembocadura del río). Las principales conclusiones que se han sacado son las siguientes:

- Este sitio fue estudiado una parte del año solamente ya que se añadió este sitio a lo largo de la campaña de medición;
- Los caudales parecen ser bastante similares a los que se midieron en GD1, sitio que, sin embargo, está ubicado mucho más arriba. Esto da crédito a la idea según la cual la mayoría de los caudales se obtienen en la parte río arriba de la cuenca de este río. Este punto deberá ser objeto de una validación por el componente encargado de los ecosistemas terrestres.

- La temperatura parece ligeramente más alta que en GD1, lo cual traduce la extensión del tiempo de permanencia de las aguas y es, normal;
- El pH presenta las mismas tendencias que en GD1, lo que es lógico;
- La conductividad es mucho más importante que en GD1 (4550 – 925 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en GD2 contra 150 a 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en GD1). Esta diferencia podría provenir de una mezcla parcial de las aguas del río con aguas salobres río arriba de la desembocadura.
- Las concentraciones de oxígeno disuelto son más bien inferiores a las que se midieron en GD1. Esta reducción podría ser provocada por una mineralización de la materia orgánica aportada al río y confortaría la hipótesis que se ponía de manifiesto en el párrafo que trataba del sitio GD1.
- La turbidez y las concentraciones de MES son débiles a muy débiles y están en buena conformidad con los resultados obtenidos en el sitio GD1.
- Las concentraciones de nitratos son poco diferentes de las que se midieron en GD1, así mismo como las concentraciones de amonio. Los valores son más bien débiles para estos parámetros.
- Las concentraciones de fósforo son más bien parecidas a las que se midieron en GD1;
- Parece que hay pocos nutrientes y, pocos contaminantes entre los dos sitios de mediciones. Lo esencial de las contaminaciones recibidas por el río parecen llegar río arriba de GD1.
- Las concentraciones de materia orgánica entre los dos sitios no pueden ser comparadas fácilmente ya que ningún análisis de DBO5 fue realizado en el sitio GD2. En general, la diferencia no es muy importante entre los resultados de DQO obtenidos en ambos sitios.
- Por fin, el número de coliformes es superior en GD2 al que se ha obtenido en GD1, y esto tanto para los coliformes fecales como para los coliformes totales. Los valores correspondientes no son enormes (valor máximo de 8000 coliformes fecales/ 100 ml y de 13000 coliformes totales /100 ml contra 200 coliformes fecales y 4200 coliformes totales por 100 ml en GD1). Esta diferencia podría vincularse con el desarrollo de la biomasa bacteriana sobre la materia orgánica recibida por el río y tiene como tendencia dar crédito a esta hipótesis según la cual una contaminación orgánica (más bien vegetal) llega al río, río arriba de GD1. El aumento de la proporción de coliformes fecales podría estar vinculado a las contaminaciones generadas por el ganado que llegan al río entre los dos sitios.

En conclusión, el río Ensenada es un río de tamaño significativo para la isla de Guanaja. Se caracteriza por una débil turbidez y una débil carga de MES y de compuestos nitrogenados. Al contrario, está cargado en fósforo, una parte de la cual se encuentra bajo forma orgánica. Estas contaminaciones orgánicas y nutritivas llegan río arriba de GD1. Es posible que estas contaminaciones sean vinculadas a la cobertura vegetal, a la actividad ganadera y al campamento de los militares. En esta hipótesis el ganado que supuestamente pasta río abajo de GD1 puede ser que camine hasta río arriba de GD1.

5.4.1.2 Sitio GD17 (río Mitch Oeste)

Este río es uno de los tributarios que se va a unir a otro río más grande que desemboca en el fondo de la bahía de Savannah Bight. Allí se instaló un sitio de muestreo. Sin embargo, destacó que este río de tamaño pequeño tan sólo corría de vez en cuando. Por eso fue únicamente posible recoger una muestra en una ocasión. El agua de esta muestra no presentaba ningún carácter de contaminación fuerte, pero resulta difícil sacar una conclusión a partir de una sola medición. Además, siendo muy reducido el caudal correspondiente y se considerará que este río no es significativo.

5.4.1.3 Sitio GD18 (río Mitch Este 1)

El sitio GD18 está ubicado sobre otro tributario del río grande que desemboca en el fondo de la bahía de Savannah Bight. Esta quebrada es de pequeño tamaño y los resultados obtenidos se encuentran a continuación:

- El río no es totalmente permanente. Los caudales son únicamente significativos durante la temporada de lluvia.
- A pesar de los débiles caudales de estiaje, la temperatura de las aguas es bastante estable con un valor máximo de 28,6°C. Además, la conductividad es sensiblemente más fuerte que para los otros ríos de Guanaja, con unos 400 µS/cm. Estos dos datos darían pensar que el río es por lo menos en parte alimentado por aguas subterráneas pero de todo esto no se puede tener ninguna seguridad.
- El pH es más bien básico (entre 7,4 y 8);
- La concentración de oxígeno disuelto se aproxima a la saturación en temporada de lluvia pero presenta en periodo seco oscilaciones entre situaciones cerca del equilibrio y fuertes subsaturaciones de oxígeno disuelto (2 mg O₂/l).
- Se apunta que estas oscilaciones se han obtenido de manera concomitante con turbidez y con picos de MES;

- Las concentraciones de nitratos son ligeramente superiores a las que se obtienen generalmente en los ríos de Guanaja. Dicho esto, las concentraciones correspondientes siguen siendo débiles con un valor máximo de 0.5 mg NO₃-N/l. Las concentraciones de amonio son débiles (0.27 mg NH₄-N/l).
- Las concentraciones de fósforo son variables entre situaciones con concentraciones débiles (menos de 10 µg PO₄-P/l) y situaciones con concentraciones medianas a fuertes (90 µg P_{tot}-P/l). Esta variabilidad no parece estar vinculada al caudal o a la temporada. Se encuentra generalmente el fósforo bajo forma mineral.
- Además, la DBO₅ es más bien débil. Este resultado es coherente con los conteos de coliformes. Hay pocos coliformes fecales (siendo conseguido el valor máximo de 2200 unidades por 100 ml con un caudal muy débil) y un poco más de coliformes totales (máximo de 60 000 unidades por 100ml).
- Todos estos elementos confirman que hay pocos aportes de materia orgánica y que si hay contaminación, ésta se mineraliza río arriba del punto de muestreo. Además, tomando en cuenta los débiles caudales, este río drena pocas contaminaciones.

5.4.1.4 Sitio GD19 (río Mitch Este 2)

El sitio GD19 se parece al sitio GD18. Está ubicado en otro tributario del río que desemboca en el fondo de la bahía de Savannah Bight y está localizado a una distancia poco importante de la del sitio GD18. Este tributario es de pequeño tamaño y los resultados obtenidos se analizan a continuación :

- El río no es permanente. Los caudales son únicamente significativos durante la temporada de lluvia;
- Dada la ausencia de caudal (y de mediciones) en periodo estival, la temperatura máxima es relativamente baja con 27,3°C;
- La conductividad es casi igual que en el sitio GD18: es de unos 400 µS/cm;
- El pH es más bien básico y muy estable (entre 7,5 y 7,8);
- La concentración de oxígeno disuelto se acerca a la saturación durante la temporada de lluvia, pero presenta una fuerte reducción cuando el caudal se va reduciendo. Este resultado podría provenir del hecho de que el río recibe un poco de contaminación. Si el caudal es reducido estas contaminaciones tienen una tendencia a concentrarse, lo cual provoca alteraciones. Eso no significa tampoco que se trate de una contaminación extendida.

- Hay un pico de turbidez con un caudal débil que se debe probablemente a estas alteraciones. Se puede afirmar con más seguridad que dicha turbidez presenta un aumento durante la temporada de lluvia, estando vinculada a un pico de MES. El resto del tiempo, estos dos parámetros presentan valores débiles.
- Las concentraciones de nitratos así como de amonio son débiles. Se observa un aumento de las concentraciones de nitratos cuando disminuye el caudal, lo cual confirma que hay concentraciones de algunas de las contaminaciones que fueron arrastradas por la cuenca. Las concentraciones de fósforo son generalmente medianas a débiles, salvo un pico de fósforo total a 270 µg P/l, siendo concomitante este pico con el pico de nitratos (a 0,5 mg NO₃-N/l) y con el valor mínimo de oxígeno disuelto (1,6 mg O₂/l). Acordémonos de que hace falta ponderar estos valores con el caudal que en aquella ocasión era de 0,4 l/s.
- Para terminar, las dos mediciones de DBO₅ realizadas en este sitio confirman que no hay ninguna contaminación importante.

5.4.1.5 Sitio GD20 (río Mitch Este 3)

El sitio GD20 se parece a los sitios GD18 y GD19. Está ubicado en otro tributario del río que desemboca en el fondo de la bahía de Savannah Bight. Este tributario es de pequeño tamaño y se interpretan los resultados obtenidos a continuación:

- El río no es permanente. Los caudales son únicamente significativos durante la temporada de lluvia;
- Dada la ausencia de caudal (y de mediciones) en periodo estival, la temperatura máxima es relativamente baja con 29,1°C;
- La conductividad es casi igual que la del sitio GD18: es de unos 400 µS/cm;
- El pH queda cerca de la neutralidad y es muy estable;
- La concentración de oxígeno disuelto es muy irregular cuando no corre el río (de anoxia completa pasa a fuerte sobresaturación). Se aproxima a la saturación cuando corre el río es decir durante la temporada de lluvia. Cuando el caudal es débil, las contaminaciones tienen tendencia a concentrarse, lo cual provoca algunas alteraciones, entre las cuales figura una disminución de las concentraciones de oxígeno disuelto.
- La turbidez es sobre todo importante cuando el caudal es débil, lo cual es el resultado de la concentración de las contaminaciones y de la producción primaria. Las concentraciones de MES siguen siendo más bien débiles.
- Las concentraciones de nitratos son en la mayor parte de los casos más bien débiles. Se obtiene el valor máximo de 0,6 mg N₃-N/l cuando el caudal es nulo;

- Al contrario, parece que hay fuertes concentraciones de fósforo (valor máximo de 310 µg P_{tot}-P/l), una parte de la cual se encuentra bajo forma orgánica. La DBO₅ puede ser importante cuando el caudal es nulo (9,4 mg/l), lo cual confirma la presencia de un poco de materia orgánica en el agua, provocando alteraciones cuando el caudal se vuelve demasiado débil.

Otra vez tenemos un río de pequeño tamaño, lo cual provoca la concentración de las contaminaciones cuando disminuye el caudal. Los diferentes ríos que se reúnen río arriba de la bahía de Savannah Bight drenan, un poco de materia orgánica. Parece ser que las contaminaciones involucradas corresponden a la ganadería. En el marco del balance de los flujos de los contaminantes, cabrá estimar el peso que representan todas estas contaminaciones a escala del río que desemboca en la bahía de Savannah Bight.

5.4.1.6 Sitio GD21 (río Savannah Bight 1)

Este sitio está ubicado sobre un pequeño río que desemboca en la grande quebrada de Savannah Bight, río arriba del sitio GD23. Este río tiene una pequeña cuenca, ocupada parcialmente por un perímetro urbanizado y por la ganadería. Los principales resultados obtenidos durante la campaña de mediciones se presentan a continuación:

- El caudal es muy débil, lo cual es coherente con el tamaño de la cuenca. Tan sólo corre el río durante la temporada de lluvia. Durante el resto del año, el río presenta un caudal débil pero regular (en torno a ½ l/s).
- La temperatura varía de 24 a 29,5°C;
- El pH es básico a muy básico (varía de 7,7 a 8,65);
- La conductividad es importante en comparación con los otros ríos de Guanaja (de 500 a 600 µS/cm) y podría ser el resultado de los aportes de efluentes urbanos más mineralizados que las aguas de los ríos;
- La concentración de oxígeno disuelto varía de 3 a 8,4 mg O₂/l. Queda cerca del equilibrio durante la temporada de lluvia y más bien en subsaturación el resto del tiempo, lo cual es normal tomando en cuenta los aportes contaminantes recibidos por el río y las condiciones de débil dilución.
- No hay pico de turbidez significativo pero la turbidez de las aguas es mediana de manera remanente, lo cual es el resultado de los aportes en contaminantes. Las concentraciones de MES son máximas cuando el caudal es débil, lo cual conforta la hipótesis de aportes de contaminantes.
- La concentración de nitratos es débil (con un pequeño pico a 0,5 mg NO₃-N/l). Así mismo siguen siendo débiles las concentraciones de amonio;

- Las concentraciones de fósforo son muy importantes (de 100 a 310 $\mu\text{g PO}_4\text{-P/l}$ y de 110 a 430 $\mu\text{g Ptot-P/l}$). Una fracción variable de fósforo se encuentra bajo forma orgánica (hasta 220 $\mu\text{g P/l}$).
- La DBO5 sigue siendo débil.

A modo de conclusión, esta pequeña cuenca recibe contaminaciones antrópicas que están probablemente vinculadas a las actividades ganaderas, más quizá un poco de efluente doméstico. Tomando en cuenta de débiles caudales, resulta de esto una concentración de las contaminaciones y algunas alteraciones de la calidad de agua en periodo seco.

5.4.1.7 Sitio GD22 y GD23 (Savannah Bight río arriba y río abajo)

El río principal que atraviesa el sector urbanizado de Savannah Bight se estudió gracias a dos sitios de muestreo. El primero está localizado río arriba del sector urbano propiamente dicho pero río abajo del potrero donde pasta el ganado. El segundo está ubicado justo río arriba de la desembocadura. Las principales conclusiones obtenidas en el sitio río arriba (GD22) son las siguientes:

- El caudal es más importante que en muchos ríos de este sector geográfico, lo cual resulta por parte de una cuenca más extensa. Esto no impide que el río se seque a finales del verano.
- La temperatura es particularmente importante ya que alcanza 34,5°C. Estas temperaturas podrían estar vinculadas a la orientación Sur del río;
- El pH es más bien básico pero es bastante estable a lo largo del año (entre 7,1 y 8,1);
- La conductividad es mediana a fuerte con respecto a los otros ríos de la isla (entre 300 y 500 $\mu\text{S/cm}$), pero sin carácter excesivo;
- La concentración de oxígeno disuelto es correcta y queda cerca del equilibrio y esto pese a la presencia ocasional de materia orgánica en el agua;
- La turbidez y las concentraciones de MES son débiles. Los únicos picos inventariados (a un nivel limitado), corresponden a la temporada seca, y más a la concentración de contaminaciones que a una erosión de los suelos. No obstante, como para la mayor parte de los ríos, los picos de crecida, no se pudieron analizar, lo cual subestima los picos de turbidez y de MES.
- Las concentraciones de nitratos y de amonio son débiles;
- Las concentraciones de fósforo son fuertes a muy fuertes: de 100 a 210 $\mu\text{g PO}_4\text{-P/l}$ y de 120 a 210 $\mu\text{g Ptot-P/l}$. La mayor parte de este fósforo se

encuentra bajo forma mineral pero también puede encontrarse bajo forma orgánica.

- Se apuntan valores más bien débiles de DBO5 y de DQO con, sin embargo, picos ocasionales significativos (DBO5 de 25 mg O₂/l y DQO de 41 mg O₂/l). Estos picos traducen aportes importantes de materia orgánica. No se puede explicar este fenómeno por una concentración de contaminaciones como se puso en manifiesto para otros ríos dado que el caudal que corresponde al valor máximo de materia orgánica era de 12,5 l/s. La tasa DBO5/DQO podría dar a pensar que se trata probablemente de contaminaciones antrópicas.
- Se apunta la presencia de coliformes fecales y totales en número importante (hasta 80 000 coliformes fecales/ 100 ml y 200 000 coliformes totales/100 ml). Además, una fracción no despreciable de los coliformes totales corresponde a coliformes fecales, lo cual da crédito a la hipótesis de contaminaciones antrópicas. Además, la débil concentración de amonio induciría más bien a pensar que se trata de contaminación vinculada a la ganadería.

Es probable que el río esté principalmente contaminado por la actividad de la ganadería y los lavados de ropa. La conclusión principal es, que el río ya está parcialmente contaminado antes de la travesía de la comunidad de Savannah Bight.

El estudio del sitio GD23 localizado río abajo de Savannah Bight nos da las indicaciones siguientes :

- Los caudales son parecidos a los del sitio GD22 río abajo de la comunidad;
- La temperatura del agua tiene como tendencia global la de aumentar cuando se atraviesa la ciudad, lo cual es normal;
- El pH tendría como tendencia la de disminuir ligeramente cuando se atraviesa la ciudad, lo cual podría traducir el impacto de los aportes en efluentes urbanos;
- La conductividad es muy fuerte, lo cual es seguramente la causa de un muestreo realizado demasiado río abajo, en un lugar en que el agua ha empezado a mezclarse con el agua de mar. Entonces, no se puede sacar ninguna conclusión particular sobre estos resultados.
- La concentración de oxígeno disuelto se acerca a la anaerobia en periodo seco, cuando el caudal es nulo. El resto del tiempo, la concentración de oxígeno disuelto tiene tendencia a ser subsaturada de manera más o menos importante. Los valores medidos son más bien más débiles que los que se obtuvieron en las mismas fechas río arriba de la comunidad. Este resultado es normal y tan sólo traduce que es más fuerte la demanda de oxígeno bajo el efecto de las contaminaciones.

- La turbidez y las concentraciones de MES son regularmente fuertes dados los aportes en contaminantes;
- Las concentraciones de nitratos son generalmente débiles mientras que las concentraciones de amonio son sistemáticamente fuertes (hasta 3,4 mg NH₄- N/l);
- También son muy elevadas las concentraciones en fósforo (de 210 a 920 µg PO₄- P/l y de 230 a 1610 µg P_{tot}-P/l). Se encuentra una fracción no despreciable de este fósforo bajo forma orgánica.
- La DBO₅ y la DQO son muy elevadas (hasta 95 mg O₂/l para la DBO₅ y hasta 150 mg O₂/l para la DQO);
- De hecho, es normal encontrar concentraciones muy importantes de coliformes totales (hasta 81 000 000 / 100 ml) y de coliformes fecales (hasta 15 000 000/100 ml). La proporción de coliformes fecales es característica de una contaminación por efluentes urbanos, reduciéndose dicha proporción cuando disminuye el caudal del río, lo cual traduce una mortalidad más importante de los coliformes fecales que de los coliformes totales en el medio natural.
- También se constata la presencia de un poco de hierro (lo cual es normal), de zinc y de cobre pero sobre todo de concentraciones excesivamente importantes de plomo (en torno a 2 mg/l). Este resultado tiene que ser considerado con mucha cautela por el hecho de que el protocolo analítico es poco preciso.

A modo de conclusión, si el río está contaminado por contaminaciones que proceden de la ganadería río arriba de la comunidad, recibe cantidades de contaminaciones mucho más importantes durante la travesía del pueblo. Los efluentes domésticos que allí son vertidos conducen a una agua que tiene poco oxígeno, turbia y fuertemente cargada de amonio y de fósforo, de materia orgánica, de coliformes fecales y de metales pesados. Además, si parece que hay una cierta depuración río arriba de la comunidad, ésta es mínima en el pueblo.

5.4.1.8 Río GD24 y GD25 (East End río arriba y río abajo)

De la misma manera que para el río que atraviesa Savannah Bight, un río atraviesa East End. Se han tomado muestras de dicho río en dos sitios, el primero, río arriba de la comunidad (GD24), y el segundo, río abajo de ésta, justo río arriba de la desembocadura (sitio GD25).

A continuación se presentan los principales resultados obtenidos en el primero de los dos sitios:

- El río no es permanente, su caudal es tan sólo significativo durante la temporada de lluvia;

- La temperatura máxima es muy alta (35,8°C) y resulta probablemente de la orientación Sur del río, como es el caso para el río de Savannah Bight;
- El pH queda casi siempre cerca de la neutralidad pero puede alcanzar más de 9. Este valor está seguramente vinculado a un pico de producción primaria. En efecto, se acompaña de una fuerte sobresaturación de oxígeno disuelto (13,6 mg O₂/l), de un pico de turbidez y de MES, y de un pico de DBO₅ (9,8 mg O₂/l).
- La conductividad se acerca a los 400 µS/cm, lo cual es sensiblemente idéntico a los resultados que se observaron en el río de Savannah Bight río arriba de la comunidad;
- La concentración de oxígeno disuelto fluctúa entre sobresaturaciones y fases de hipoxia más o menos marcadas. Esta variabilidad depende por una parte de la producción primaria y por otra parte de la mineralización de la materia orgánica.
- La turbidez y la concentración de MES son débiles, salvo un pico mencionado anteriormente;
- Las concentraciones de nitratos y de amonio son débiles;
- Se observan fuertes concentraciones de fósforo. Estas concentraciones son relativamente estables en torno a 180 µg P_{tot}-P/l, y la mayor parte del fósforo se encuentra bajo forma mineral.
- La DBO₅ sigue siendo débil menos el pico que se ha observado anteriormente;
- Hay pocos coliformes fecales (entre 0 y 1000 / 100 ml) y una concentración un poco más importante de coliformes totales (de 1000 a 47 000 / 100 ml).

En conclusión, todo induce a creer que este río está contaminado por contaminaciones difusas vinculadas a la ganadería, como es el caso para el río de Savannah Bight río arriba del pueblo. No se observa ninguna traza de contaminación urbana.

Si se analizan los resultados río abajo, de ahí se puede deducir que :

- Los caudales son parecidos a los que se observaron río arriba;
- La temperatura es sensiblemente idéntica: el valor máximo es de 35,7°C;
- El pH tiene tendencia a aumentar. Está incluido entre 7,5 y 9,2. Este aumento podría ser el resultado de la producción primaria.
- La conductividad aumenta de manera más o menos importante pero si se excluyen los valores demasiado fuertes (resultando probablemente de un muestreo a la orilla del mar), entonces el aumento es de 0 a 200 µs/cm;

- La concentración de oxígeno disuelto es muy fuerte fuera del periodo de lluvia (hasta 17 mg O₂/l), lo cual confirma el impacto de la producción primaria. Durante la temporada de lluvia, la concentración de oxígeno disuelto vuelve a tener un valor que queda cerca del equilibrio.
- La turbidez es fuerte durante el periodo seco y seguro que está vinculada a la biomasa algal;
- Las concentraciones de MES son muy débiles;
- Las concentraciones de nitratos así mismo como las de amonio son débiles;
- Las concentraciones de fósforo son sobre todo débiles durante el periodo de lluvia y el resto del tiempo son medianas. Si se les compara a las que se han medido río arriba, son muy parecidas durante la temporada de lluvia y 2 a 3 veces menos fuertes durante el periodo seco. Es muy probable que el fósforo esté entonces fijado por la biomasa algal in situ.
- La DBO₅ es fuerte durante el periodo seco (hasta 13 mg O₂/l), lo cual traduce un aumento de la concentración de la materia orgánica en el río con respecto a lo que se ha observado durante el periodo de lluvia. Esta materia orgánica es probablemente biomasa algal.
- Siempre hay coliformes fecales en concentración similar a lo que se observó río arriba en el sitio GD24. Se constata que los coliformes fecales tan sólo representan una fracción débil de los coliformes totales, lo cual confirma que la materia orgánica no procede de efluentes urbanos.

En conclusión, este río se caracteriza por contaminaciones que tienen que ver con la ganadería, siendo suficientes estas contaminaciones para provocar una eutrofización. Este río corre con un caudal muy débil durante una buena parte del año. La conjunción de una extensión importante del tiempo de permanencia, de aportes en nutrientes y de condiciones idóneas en sol y en temperatura debe probablemente conducir al desarrollo de una biomasa algal importante, que provoca a su turno algunas alteraciones (pH, O₂, turbidez, materia orgánica...). No parece que haya contaminación notable vinculada a los efluentes urbanos. Esto no significa que no hay efluentes urbanos sino que no llegan al río.

5.4.2 Medio marino costero

Se han implantado varios sitios en este sector antrópico. Se trata de los sitios siguientes:

- La Ensenada
 - GM9 para el análisis de la columna de agua marina.

- Savannah Bight:
 - GM8 para el análisis de la columna de agua marina;
 - GS8 para el análisis del sedimento superficial;
 - GB3 para el análisis bacteriológico marino.
- East End
 - GM7 para el análisis de la columna de agua marina.

Se analizan a continuación los resultados obtenidos en estos sitios.

5.4.2.1 La Ensenada

Un sitio de análisis en la columna de agua marina (GM9) está ubicado río abajo de esta cuenca de gran tamaño. Los resultados obtenidos en el medio marino permiten sacar las conclusiones siguientes:

- La calidad de las aguas marinas costeras es variable a lo largo del tiempo. Presenta una serie de oscilaciones durante la temporada de lluvia y que resulta seguramente de eventos lluviosos más bien localizados. Esto podría confirmar que las contaminaciones transportadas por los ríos son perceptibles sobre la calidad de las aguas marinas costeras;
- Esta calidad no está conectada con la de los otros sitios del sector (GM7 y GM8), lo cual daría crédito a un impacto relacionado con el río Ensenada. Salvo algunos picos que difieren de un sitio al otro, esta calidad de agua no es globalmente diferente de la que se midió en GM10 en medio de la laguna del otro sector. Esto prueba que a escala anual, desaparecen las diferencias;
- No hay relación directa entre la calidad del agua del río La Ensenada y la de la zona marina enfrente de este río. Para establecer esta relación, se hubiera tenido que hacer conjuntamente las mediciones a nivel de las aguas dulces y marinas. Además, se hubiera tenido que hacer estos muestreos durante las tormentas;
- Los datos de Clorofila a están todavía en vía de proceso. Por lo momento, tan sólo se puede disponer de uno. Corresponde al mes de marzo del 2000 y es de 0,16 $\mu\text{g Cl a/l}$. Este valor no es intrínsecamente muy elevado. Se apuntará que es ligeramente superior a los que se obtuvieron en los sitios alejados de las costas (GM1 y GM10) que se acercan más bien a los 0,1 $\mu\text{g Cl a/l}$, sin embargo, se debe evitar sacar conclusiones con demasiado rapidez.

5.4.2.2 Savannah Bight

Varios sectores de mediciones se han ubicado en esta zona geográfica importante por sus contaminaciones antrópicas. Los resultados permiten sacar las conclusiones siguientes:

- La calidad de las aguas marinas costeras es variable a lo largo del tiempo. Presenta una serie de oscilaciones durante la temporada de lluvia que resultan probablemente de eventos lluviosos localizados que provocan aportes terrígenos debidos a la lixiviación de los suelos;
- Esta calidad no está vinculada con la de los otros sitios del sector (GM7 y GM9);
- No hay relación directa entre la calidad del agua del río de Savannah Bight y la de la zona marina enfrente de este río, lo cual es normal. En efecto, primero el caudal del río es débil. Luego, la mayor parte de las contaminaciones llega directamente al medio marino sin pasar por el río;
- Las concentraciones de fósforo parece que son un poco más importantes que las de los otros dos sitios de este sector. Esto podría resultar de las aportes contaminantes que proceden del pueblo y del ganado;
- Dadas las contaminaciones urbanas litorales y una mezcla menor que en los otros sitios marinos, la calidad bacteriológica de las aguas marinas costeras es mala, sobre todo cuando los vientos van del Noreste hacia el Suroeste (lo cual es el caso entre el final de la primavera y el medio del verano). En efecto, en este caso, la bahía de Savannah Bight está protegida de los vientos dominantes, lo cual contribuye a reducir la mezcla de las aguas y limita, la dilución de los coliformes en el mar;
- Los sedimentos marinos costeros aparecen contaminados por el cadmio ya que los otros parámetros no son “desclasificantes”.

5.4.2.3 East End

Un sitio de medición a nivel del medio marino costero está ubicado enfrente del pueblo de East End. Los resultados obtenidos permiten sacar las conclusiones siguientes:

- La calidad de las aguas marinas costeras es variable a lo largo del tiempo. Esa calidad presenta una serie de oscilaciones durante la temporada de lluvia y que resultan probablemente de eventos lluviosos localizados y de aportes continentales correspondientes;

- Esta calidad no está vinculada a la de los otros sitios del sector (GM8 y GM9). Esta calidad no es globalmente diferente de la que se midió en GM10 en medio de la laguna en el otro sector geográfico;
- No hay relación directa entre la calidad del agua del río de East End y la de la zona marina enfrente de este río, lo cual es normal. En efecto, primero el caudal de este río es débil. Luego, la mayor parte de las contaminaciones llega directamente al medio marino sin pasar por el río.

5.4.3 Conclusiones

Contaminaciones antrópicas llegan al medio marino costero de este sector. Ante todo se trata de efluentes urbanos y de contaminaciones relacionadas con el ganado. Las contaminaciones correspondientes conciernen esencialmente materia orgánica, contaminaciones nutritivas (esencialmente fósforo), contaminaciones bacterianas y metales pesados. También es probable que MES lleguen en cantidad más o menos importante en la bahía dado que varias cuencas tienen una pendiente importante y algunas sufrieron daños importantes por el paso del huracán Mitch. La calidad de las aguas marinas parece mala durante la temporada de lluvia y buena durante el periodo seco, salvo la bacteriología que sigue siendo mala en primavera y en verano. Los sedimentos están parcialmente contaminados, especialmente con los metales pesados.

La renovación de las aguas es probablemente limitada en la parte Noroeste de la bahía de Savannah Bight. De hecho, no es sorprendente que el ecosistema se encuentre allí en mal estado, lo cual parece ser confirmado por los primeros resultados de los expertos del componente AMC. Desde luego, esta observación tendrá que ser validada en lo que resta del estudio.

Al contrario, es probable que la barrera arrecifal situada al Este de la bahía de Savannah Bight esté poco afectada por las contaminaciones antrópicas que llegan a la bahía. En efecto si se renuevan poco las aguas en la bahía, las contaminaciones se quedarán en esta bahía. El arrecife situado al Norte del canal que une la bahía al alta mar parece estar en buen estado. Pero todavía eso tiene que ser confirmado por los expertos del componente AMC.

5.5 De East Cliff al Oeste de Mangrove Bight

Este sector corresponde a toda la costa Norte de la isla de Guanaja. Esta constituido de tres zonas distintas:

- La primera zona corresponde a la bahía situada entre East Cliff y el gran manglar del Norte de Guanaja. Incluye la comunidad de North East Bight. North East

Bight queda aislado del resto de la isla por un relieve accidentado y por su orientación geográfica. La bahía esta rodeada de un arrecife atravesado por dos canales estrechos en el eje de la bahía;

- La segunda zona corresponde a los grandes manglares de North East Bight. Estos manglares de una superficie de 125 Ha son accesibles solamente en barco. Empiezan en la bahía de North East Bight y terminan en las cercanías de la comunidad Brisas del Mitch. Estos manglares que estaban esencialmente constituidos de *Rhizophora*, *Avicennia* y de *Laguncularia* están prácticamente muertos, debido al huracán Mitch (Lebigre, 2000). Cabe notar que los suelos son principalmente turbosos, por lo tanto potencialmente sulfatados – ácidos (Lebigre, 2000);
- La tercera zona geográfica corresponde a la bahía de Mangrove Bight donde se ubica la comunidad de Mangrove Bight.

5.5.1 Ríos

Las tres zonas que limitan este sector geográfico pueden ser descritas de la manera siguiente:

- La primera zona corresponde a la bahía situada entre East Cliff y los grandes manglares de North East Bight. Incluye la comunidad de North East Bight. Este lado de la isla tiene una cierta cantidad de cuencas. Debido a la fuerte pendiente del terreno, y a la débil superficie de estas cuencas, no se ha podido identificar ningún sitio de análisis. La comunidad de North East Bight es en realidad un pueblo de pescadores con pocos habitantes, y sus aguas servidas son prácticamente en su totalidad vertidas directamente al mar sin ningún tratamiento anterior;
- La segunda zona corresponde a los grandes manglares de North East Bight. Estos manglares drenan un cierto número de ríos secundarios de las cuencas que los rodean por el Sur. Es imposible seguir estas aguas en el marco de un programa de seguimiento, tanto por problemas de accesibilidad que por la débil superficie de las cuencas y por lo tanto de caudal muy débil;
- La tercera zona es la bahía de Mangrove Bight. Consta de dos conjuntos urbanizados. El primero está constituido por la instalación anárquica de poblaciones a lo largo de la pista que va a Mangrove Bight y a Savannah Bight. Esta instalación sucedió después el huracán Mitch. Por lo tanto esta zona ha sido recientemente urbanizada a lo largo de un eje perpendicular a la bahía. Este conjunto se llama Brisas del Mitch. Ningún río lo atraviesa. El segundo conjunto urbanizado es la comunidad de Mangrove Bight. Esta comunidad esta situada a la orilla del mar y tiene una población de 430 habitantes. Sufrió mucho con el paso del huracán Mitch y está en reconstrucción. Las viviendas sobre pilotes (en

el mar) fueron totalmente destruidas por el huracán Mitch. Aunque ahora no es permitido construir justo a la orilla del mar, los habitantes han vuelto allí sus viviendas. Un río atraviesa esta comunidad. Dos sitios de mediciones han sido elegidos, el sitio GD15 río arriba del sector urbanizado, y el sitio GD16 en medio del pueblo, río arriba de la desembocadura del río. El diagnóstico de cada uno de estos ríos se presenta a continuación.

5.5.1.1 Ríos GD15 y GD16 (Mangrove Bight)

Se tomaron muestras en dos sitios de este río, el primero río arriba de la comunidad (sitio GD15) y el segundo río abajo de la comunidad, justo antes de la desembocadura del río (sitio GD16).

Los principales resultados obtenidos sobre el primer sitio son presentados a continuación :

- El río no es permanente. Su caudal es significativo solamente en otoño y en primavera. Presenta sequía en verano;
- La temperatura máxima es de 30,7°C. Este río está probablemente parcialmente protegido del sol debido a su orientación geográfica hacia el Norte;
- El pH es más bien ligeramente ácido (entre 6,3 y 7,1);
- La conductividad es débil (de 100 a 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$) lo cual es normal para un hidrosistema tropical;
- La concentración de oxígeno disuelto está más bien bajo saturación. Esta subsaturación es ligera en periodo de lluvia o de fuerte sequía;
- La turbidez y la concentración de MES son débiles pero se puede notar una turbidez remanente de mediana amplitud en periodo de sequía. Como para los otros ríos, los picos de MES son probablemente subestimados, porque los picos de crecidas de los ríos no pudieron ser analizados;
- Las concentraciones de nitratos y de amonio son débiles;
- Se puede observar concentraciones medianas de fósforo. Estas concentraciones son relativamente estables de 30 $\mu\text{g PO}_4\text{-P}/\text{l}$ y de 30 a 80 $\mu\text{g P}_{\text{tot}}\text{-P}/\text{l}$. El fósforo está presente en proporciones variables pero frecuentemente importantes en fósforo orgánico;
- La DBO5 es muy débil lo cual es contradictorio con los resultados obtenidos en fósforo. Este resultado esta también en contradicción con la presencia ocasional de coliformes fecales;

- Hay pocos coliformes fecales (entre 0 y 6000 /100 ml) y un poco más de coliformes totales (de 1000 a 21 000 /100 ml).

En conclusión, parece ser que este río está parcialmente contaminado por contaminaciones ocasionales, pero de débil amplitud. Podría tratarse de ganado itinerante o de la población de Mangrove Bight que lava la ropa en el río.

Si se analizan los resultados obtenidos río abajo de la comunidad, podemos concluir que:

- Los caudales son sensiblemente más estables que en el sitio GD15. Efectivamente, además de ser permanente, el río tiene caudales importantes durante la temporada seca, lo que no es el caso río arriba. Tal fenómeno es sorprendente. Este podría resultar de la presencia de un derrame por la capa aluvial en la parte de arriba de la cuenca, derrame que volvería por parte un derrame superficial arriba de la desembocadura. Otra explicación posible podría ser de un complemento de aportes significativos entre los dos sitios de muestreos. Hasta ahora no tenemos ninguna certidumbre sobre las características del medio;
- La temperatura tiende a calentarse de río arriba por río abajo en verano, lo cual es normal, con un máximo de 32,2°C contra 30,7°C en GD15;
- El pH tiene tendencia a aumentar. El pH está entre 6,9 y 7,9 contra 6,3 y 7,5 en GD15. Este aumento podría resultar de la producción primaria, o de aporte de agua que ha circulado en un medio geoquímicamente diferente;
- La conductividad aumenta fuertemente, puesto que llega de 600 a 2200 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Aparentemente este aumento no está relacionado a una mezcla de agua salobre río arriba de la desembocadura. Efectivamente en este caso habría una fuerte variabilidad de la conductividad en función de las circunstancias de la medición (lo que se observó a menudo en los otros sitios de muestreo cerca de las desembocaduras de otros ríos). Cabe notar que es más probable que el río reciba aguas subterráneas más mineralizada, lo que acredita una de las hipótesis sobre el aumento de los caudales;
- La concentración de oxígeno disuelto es más fuerte que la del sitio GD15. Se queda globalmente cerca del equilibrio, pero existen algunos casos de sobre saturación entre los dos sitios. Este aumento de concentración entre los dos sitios podría resultar de un poco de producción primaria, lo que coincidiría con un aumento del pH;
- La turbidez es mediana a fuerte en toda época (sin llegar a valores muy elevados), lo que refuerza la hipótesis del desarrollo de una biomasa algal en el río. Esta turbidez también se encuentra de manera conjunta a la presencia de MES. Un poco de lixiviación de los suelos debido a las lluvias es previsible

debido al relieve accidentado de la cuenca, y de la desestabilización de los suelos después del paso del huracán Mitch;

- Las concentraciones de nitratos son débiles, igual que las concentraciones de amonio. No hay una real diferencia entre los dos sitios de medición;
- Las concentraciones de fósforo son más fuertes que en el sitio GD15. Los valores varían de 20 a 200 $\mu\text{g PO}_4\text{-P/l}$ (el valor más común es aproximadamente 50 $\mu\text{g PO}_4\text{-P/l}$) y de 60 a 240 $\mu\text{g Ptot-P/l}$ (el valor más común es aproximadamente 70 $\mu\text{g P/l}$). Una parte no despreciable del fósforo está bajo la forma orgánica o de partículas. Esto podría resultar de la biomasa algal;
- La DBO5 es fuerte en comparación al sitio GD15 (hasta 85 mg O₂/l) lo que traduce un aumento de la concentración de la materia orgánica en el río. Esta materia orgánica probablemente se debe en parte a la biomasa algal y en parte a los efluentes urbanos. Es probable que esta diferencia entre los dos sitios de mediciones corresponda a aportes antrópicos entre los dos sitios;
- Hay coliformes fecales en cantidades a veces muy importantes (hasta 1000 000 coliformes fecales / 100 ml). Los valores más bajos son obtenidos en periodo de lluvia. La mayor parte de los coliformes totales (máximo de 61 000 000 coliformes /100 ml) no corresponde a coliformes fecales, lo que confirma que la materia orgánica sólo proviene en parte de los efluentes urbanos;
- Se encuentra en las aguas un poco de hierro (hasta 0,7 mg/l) lo que es normal, zinc (hasta 0,76 mg/l), cobre (hasta 0,23 mg/l), y sobre todo plomo (hasta 0,59 mg/l);

En conclusión, este río se caracteriza por contaminaciones. Estas contaminaciones son suficientes para provocar una eutroficación del río, y esto a pesar del caudal continuo y significativo. El desarrollo probable de una biomasa algal importante aparece sobre el pH, el oxígeno disuelto, la turbidez, y la DBO5.

Por otra parte, cabe notar la presencia de metales pesados.

Estos diferentes elementos podrían explicarse por las contaminaciones antrópicas.

5.5.2 Medio marino costero

El medio marino costero está constituido de los siguientes elementos:

- Una primera bahía con una laguna integralmente cubierta de pastos marinos. Esta laguna está rodeada al Norte por una meseta arrecifal extensa, y al Noreste por una barrera arrecifal atravesada por dos canales muy estrechos;

- Una meseta arrecifal que se extiende a lo largo de los grandes manglares de North East Bight, cubierta de pastos de fanerógamas marinas y de macizos coralinos dispersos;
- Una segunda bahía con una laguna cubierta integralmente de pastos de fanerógamas marinas. Esta laguna está cerrada al Norte por una barrera arrecifal, y comunica con el exterior por un ancho canal situado en el eje de Mangrove Bight.

Varios sitios de mediciones han sido establecidos en este sector. Se trata de:

- Subsector de North East Bight: tiene un sitio de mediciones en la columna de agua marina (GM6) localizado a proximidad de los manglares;
- Bahía de Mangrove Bight: un sitio de mediciones de la columna de agua marina esta frente a Mangrove Bight (GM5). Más un sitio marino de análisis bacteriológico (GB4) y un sitio de medición de los sedimentos marinos superficiales (GS5).

El análisis de este sector se presenta a continuación.

5.5.2.1 North East Bight

Este sector está fuertemente sometido a la influencia de los grandes manglares adyacentes. Estos manglares están en mal estado, y la vegetación que está muerta se encuentra en descomposición. Por otra parte, el hecho de quitar las raíces de los arboles muertos provoca la creación de un fenómeno de lavado del suelo, lo cual provoca una exportación de MES, de nutrientes y de compuestos reducidos. Este efecto se hace sentir a nivel de la calidad de las aguas frente al sitio GM6. Efectivamente se puede notar:

- Una temperatura cuya amplitud es superior a la de los otros sitios, lo cual podría venir de la conjunción de una débil profundidad y de la proximidad de los manglares;
- El pH es más bien ligeramente inferior al del sitio GM5 localizado en la bahía de Mangrove Bight. Esta ligera reducción es perceptible en, periodo de lluvia, y podría estar relacionado a la exportación de compuestos reducidos y ácidos desde los manglares. Este flujo existe solamente en caso de fuertes lluvias;
- Una concentración fluctuante de oxígeno disuelto. Esta concentración está más bien en equilibrio o en sobre saturación a finales del periodo de lluvia o a finales de verano y en ligera subsaturación en periodo de lluvia. Esta diferencia podría explicarse de nuevo por la presencia y la influencia de los manglares;

- Fuertes concentraciones de compuestos nitrogenados durante la temporada de lluvia y a principio de primavera. Esta tendencia se concretiza a la vez en términos de nitratos y de amonio, aunque el manglar exparte más probablemente amonio bajo una forma parcialmente nitrificada. Es interesante comparar estos resultados con los resultados obtenidos en GM5 en la bahía de Mangrove Bight. Desde este punto de vista, las concentraciones son globalmente superiores en GM6 durante el periodo de lluvias, y esto, tanto para los nitratos que para el amonio. Hay manifiestamente exportación de compuestos nitrogenados desde el manglar moribundo hacia las aguas marinas costeras por tiempo de lluvia;
- Al contrario, las concentraciones de ortofosfatos no son muy elevadas, salvo dos mediciones a 30 $\mu\text{g PO}_4\text{-P/l}$ en diciembre y enero. Estos resultados son sin embargo inferiores a los resultados obtenidos en Mangrove Bight para los mismos meses. Es posible que los sedimentos finos provenientes de los manglares tengan una función de trampa de ortofosfatos, lo que podría explicar este fenómeno;
- La única medición de clorofila a de momento disponible concierne el mes de marzo 2000. La concentración correspondiente es de 0,1 $\mu\text{g Chl}_a\text{/l}$ lo que es más bien débil. Sin embargo, podría tratarse de un valor bajo sobre este sitio. Efectivamente, la concentración de oxígeno disuelto presenta un mínimo en marzo mientras que en enero – febrero 2000 y de abril a agosto 2000 eran muy fuertes. Si se puede razonablemente alcanzar una adecuación entre la sobre saturación en oxígeno disuelto y la clorofila a, es posible que la medición del mes de marzo 2000 corresponda a un mínimo de clorofila a. Esta hipótesis tendrá que ser confirmado o rechazada.

5.5.2.2 Bahía de Mangrove Bight

La bahía de Mangrove Bight es interesante porque recibe las contaminaciones urbanas de las comunidades de Mangrove Bight y de Brisas del Mitch. Sin embargo, el huracán Mitch provocó graves destrozos a la vegetación, lo que podría conducir a una erosión particularmente fuerte. Los resultados obtenidos a nivel de la bahía son los siguientes:

- El pH y la concentración de oxígeno disuelto tienden a ser un poco más fuerte que en GM6 que es el sitio de medición en el mar el más cercano. Esto podría suponer que hay un poco más de producción primaria en esta bahía. Será interesante estudiar los resultados de clorofila a cuando estén disponibles;
- Las concentraciones de compuestos de nitrogenados presentan picos en periodo de lluvia, pero estos picos son más débiles que los picos obtenidos en GM6;

- Las concentraciones de fósforo son particularmente elevadas en periodo de lluvia, y podría resultar de aportes contaminantes por lavado de los suelos (urbanizados y no urbanizados). Esta hipótesis no está confirmada por las mediciones practicadas en el río GD15, pero es verdad que la mayor parte de los contaminantes urbanos van directamente al mar sin pasar por un río;
- Los análisis bacteriológicos practicados en el sitio GD4 muestran que hay una fuerte contaminación del medio marino, lo que confirma el impacto de las contaminaciones antrópicas, y sobre todo de los efluentes urbanos que son directamente vertidos a la orilla del mar;
- Al contrario, los sedimentos parecen poco contaminados, puesto que están clasificados en la mejor categoría tanto para los metales pesados que para los compuestos orgánicos, y para los nutrientes.

5.5.3 Conclusión

En conclusión, el sector está marcado por el impacto de los grandes manglares de North East Bight. Estos condicionan la calidad del agua de este sector, por los flujos de elementos disueltos y los MES que provienen en periodo de lluvia.

El agua cerca de estos manglares es probablemente de peor calidad de la que era en años anteriores. Esta degradación está directamente relacionada al hecho que los manglares están casi muertos y por lo tanto ya no desarrollan el papel de reguladores del ecosistema marino costero. Al contrario hay un riesgo de liberación y transporte hacia el mar de los elementos que estaban en stock hasta entonces en estos manglares, por lo tanto el sustrato no está fijado por la vegetación. Este fenómeno de degradación del medio marino costero podría empeorar progresivamente a medida de la desestabilización de los suelos de los manglares. Se puede temer a la vez una eutrofización y una sedimentación de los pastos marinos, y también de los arrecifes cercanos.

En toda lógica tenían que haber sido los pastos marinos poco profundos que rodean los manglares los que tenían que haber sufrido las primeras consecuencias. Sin embargo, es más probable que las condiciones hidrodinámicas son favorables a una dispersión de los contaminantes sobre las costas Este y Oeste de los manglares de North East Bight. Las dos bahías que lindan estos manglares corresponden a un medio más cerrado que el de los arrecifes que bordean los manglares en el Norte. Además, estas dos bahías reciben aportes terrígenos debidos a los lavados de los suelos desestabilizados por el huracán Mitch.

Desde ese punto de vista, es normal que estas dos bahías presenten una tendencia a la sedimentación, lo cual tiene que ser confirmado por los expertos del componente AMC. Dos diferencias significativas aparecen cuando se comparan las dos bahías.

La bahía de North East Bight está mucho más en contacto con los grandes manglares, estos avanzan en el mar y constituyen la costa Oeste de esta bahía. Es probable que la tendencia sea una sedimentación sistemática y progresiva de todo el fondo de la bahía, esto podría provocar la desaparición de los pastos de fanerógamas marinas. Sin embargo sólo hay un canal estrecho que atraviesa el arrecife, pero la cresta arrecifal parece ser más bien profunda entre 2 y 4 m (esto queda a confirmar por los expertos del componente AMC). En este caso, los intercambios con el medio marino podrían ser más significativos de lo que parece a primera vista. Esto podría permitir evitar una sedimentación demasiado grande de los arrecifes.

La bahía de Mangrove Bight es una bahía más cerrada, y la cresta arrecifal se acerca más de la superficie. Sin embargo está unida al alta mar por un canal derecho y ancho que favorece los intercambios entre la bahía y el mar. Relativo a las contaminaciones recibidas, esta bahía está rodeada al Noreste por los manglares. Por lo tanto seguramente recibe las contaminaciones emitidas por los manglares. Por otra parte tiene la particularidad de recibir las contaminaciones urbanas de las comunidades de Mangrove Bight y de Brisas del Mitch.

Parece que la población de estas comunidades sea todavía suficientemente débil en relación con la capacidad de autodepuración del medio marino costero para que no haya un fenómeno masivo de acumulación de las contaminaciones en los sedimentos. Esta constatación vale para hoy y es probable que esta capacidad de autodepuración vaya disminuyendo a medida que la comunidad aumenta en tamaño, y que la erosión de los suelos (que se trate de manglares muertos o de las montañas de los alrededores) asfixiara progresivamente los pastos marinos. Estos últimos tienen un papel fundamental en el mantenimiento de una calidad de agua correcta, y convendría tener cuidado para preservarlos. Este estado de sedimentación progresiva de los pastos marinos parece ya iniciado lo cual queda por ser confirmado por los expertos del componente AMC.

5.6 Del Oeste de Mangrove Bight a Ochre Rock

Este sector concierne toda la costa Noroeste de la isla de Guanaja. Este sector está caracterizado por:

- La casi ausencia de manglar (excepto una pequeña porción del litoral situada en el eje de la pista del aeropuerto);
- La casi ausencia de urbanismo;
- Estas dos observaciones resultan en parte del relieve accidentado;

- Las cuencas son también de una gran superficie, y se pueden ver varios ríos de tamaño importante, como el río de Michael Rock (Big Gully) o el río de El Soldado.

5.6.1 Ríos

Entre las cuencas de la costa Noroeste, se pudo seguir los ríos principales.

Los ríos considerados son los siguientes:

- GD14 (río Michael Rock – Big Gully);
- GD12 y GD13 (Río El Soldado).

El diagnóstico de cada uno de estos ríos es presentado a continuación.

5.6.1.1 Río GD14 (Michael Rock – Big Gully)

Este río tiene las características siguientes:

- Es un río permanente, lo cual es normal debido a la importante superficie de su cuenca. Los caudales más importantes son obtenidos en periodo de lluvias, con un máximo registrado de 200 l/s. Es probable que el máximo real sea bien superior a este valor;
- La temperatura máxima es de 30,4°C, sensiblemente igual a la obtenida para el río de Mangrove Bight;
- Poniendo a parte el pico importante de junio 1999 (con 8,9) el pH es generalmente cercano a la neutralidad;
- La conductividad es variable. Los valores más fuertes han sido obtenidos en septiembre y octubre con aproximadamente 1200 a 2250 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Es posible que estos fuertes valores estén relacionados al lavado de los suelos salinizados durante las primeras lluvias de otoño. El resto del tiempo la conductividad fluctúa entre 140 y 730 $\mu\text{S}/\text{cm}$, lo cual es normal;
- Las concentraciones de oxígeno disuelto son generalmente en ligera subsaturación. Se notan dos picos de saturación de oxígeno disuelto en periodo estival (hasta 18 mg/l), que podría ser debido a picos de producción primaria. Esta hipótesis esta apoyada por la simultaneidad del pico de pH a 8,9 y de oxígeno disuelto a 18 mg/l;
- La turbidez es más bien débil así como la concentración de MES. Los máximos son probablemente obtenidos durante los eventos lluviosos que no pudimos estudiar durante la campaña de mediciones mensuales;

- Las concentraciones de nitratos y de amonio son débiles;
- Las concentraciones de fósforo son de medianas a fuertes (entre 60 y 100 $\mu\text{g Ptot-P/I}$) cuya fracción orgánica es variable. Este fósforo podría provenir de la descomposición vegetal, puesto que no parece haber actividad antrópica;
- La DBO5 es mediana.

En conclusión, este río es un grande río de buena calidad, el cual recibe probablemente materias orgánicas proveniente de los lavados de los vegetales. Cabe notar más específicamente la presencia de fósforo en cantidad apreciable, sin llegar a los valores excesivos de los sitios localizados río abajo de los perímetros antrópicos.

5.6.1.2 Río GD12 y GD13 (El Soldado 1 y 2)

El río El Soldado es la conjunción de dos ríos que se unen un poco río arriba del mar. Estos dos ríos han sido seguidos en el marco del programa de análisis. Se trata de los sitios siguientes:

- El Soldado 1 (sitio GD12);
- El Soldado 2 (sitio GD13).

El río El Soldado 1 es diagnosticado como sigue

- El caudal es generalmente importante, pero se puede reducir drásticamente a finales de periodo estival;
- La temperatura máxima (31,2°C) se obtiene cuando el caudal es débil, lo cual es característico de una extensión del tiempo de permanencia de las aguas y de su calentamiento al sol;
- El pH es cercano a la neutralidad (de 6,7 a 7,7);
- La conductividad es variable pero es generalmente débil (alrededor de 150 y 200 $\mu\text{S/cm}$);
- La concentración de oxígeno disuelto es generalmente cercano del equilibrio, con algunas subsaturaciones cuando el caudal se vuelve débil, y algunas sobre saturaciones ocasionales en la primavera;
- La turbidez es débil excepto un máximo cuando el caudal esta débil. La concentración de MES es limitada. Estos dos parámetros presentan seguramente valores mucho más elevados durante las tormentas del invierno, debido a un relieve importante de la cuenca;
- Las concentraciones de nitratos y de amonio son débiles;

- Si se excluye un pico sorprendente de fósforo en abril 2000, las concentraciones de fósforo son de medianas a débiles (tanto por los ortofosfatos que se acercan a $30 \mu\text{g PO}_4\text{-P/l}$ como por el fósforo total que varía de 30 a $70 \mu\text{g P}_{\text{tot}}\text{-P/l}$);
- La DBO5 es generalmente débil;
- Hay casi ausencia de coliformes fecales durante el periodo de lluvia. Un máximo de 2000 coliformes fecales/100 ml fue obtenido a principio de la temporada seca. Los coliformes totales están presentes en pequeñas concentraciones en periodo de lluvia, para culminar a principio del periodo seco con 43 000 /100ml. Estas contaminaciones podrían provenir del ganado que pasta en la cuenca del río.

El diagnóstico del segundo río es presentado a continuación:

- El caudal es muy importante, ya que su cuenca tiene una de grande superficie. Así lo mínimo al estiaje es todavía de 55 l/s, lo cual constituye el récord de los ríos donde se han tomado muestras en el marco del programa de análisis mensual. El caudal máximo es de 500 l/s, pero es probable que sea superior a favor de una fuerte tormenta;
- La temperatura máxima es de $33,5^\circ\text{C}$. Esto traduce una extensión del tiempo de permanencia de las aguas del río y de su calentamiento con el sol;
- El pH es más bien básico (varía de 7,1 a 8,7);
- La conductividad es bastante estable, con valores cercanos a $170 \mu\text{S/cm}$. Estos valores son bajos pero normales para este tipo de ecosistema tropical;
- La concentración de oxígeno disuelto es equilibrada o en ligera sobre saturación (hasta $9,7 \text{ mg O}_2\text{/l}$: este valor corresponde al pico del pH). Parece haber un poco de producción primaria sin que puedan resultar situaciones distroficadas;
- La turbidez y las concentraciones de MES son muy limitadas, lo que confirma el papel de la vegetación y la buena calidad del agua del río. Es probable que los picos de MES sean superiores en periodo de crecidas;
- Las concentraciones de nitratos y de amonio quedan bajas;
- Las concentraciones de fósforo son variables. Excepto un pico en abril 2000, las concentraciones fluctúan entre 25 y $70 \mu\text{g PO}_4\text{-P/l}$ y entre 50 y $80 \mu\text{g P}_{\text{tot}}\text{-P/l}$. La mayor parte del fósforo está generalmente bajo la forma mineral;
- Excepto algunos picos en temporada seca, la DBO5 queda limitada;
- Hay pocos coliformes fecales (de 0 a 200/100 ml) y coliformes totales (de 500 a 7100 /100 ml).

En conclusión, la presencia de ganado en la cuenca de El soldado se traduce por picos ocasionales de fósforo y de DBO5 (y un poco de NH4), pero la calidad del agua queda a menudo muy buena, debido a una fuerte disolución. Esto explica la buena calidad obtenida en temporada de lluvia. Por otra parte, la cobertura vegetal puede servir para proteger el río contra la erosión de los suelos y regular los picos de crecidas.

5.6.2 Medio marino costero

El medio marino costero consta de los siguientes sectores:

- Una laguna paralela a la costa y cubierta de pastos de fanerógamas marinas;
- Una barrera arrecifal paralela a la línea de costa situada aproximadamente a 1 km de esta. Esta barrera tiene varios canales anchos, perpendiculares a la costa y están sensiblemente en el eje de los dos grandes ríos de este sector (Michael Rock – Big Gully de una parte y El Soldado de otra parte), y en el eje de la pista del aeropuerto;
- Un sistema idéntico pero más pequeño existe al Suroeste de la bahía del aeropuerto. La laguna es más pequeña y los canales son más estrechos.

Varios sitios de mediciones están ubicados en este sector. Se trata de los sitios siguientes:

- Canal de Big Gully:
 - GM4 para los análisis de la columna de agua marina frente a la desembocadura del río Michael Rock – Big Gully (GD14);
 - GCR6 y GCR7 en la pendiente externa de la barrera arrecifal para el estudio de la fauna arrecifal.
- Península de Michael Rock:
 - GCR5 en la pendiente externa de un arrecife de bordo para el estudio de la fauna arrecifal.
- Canal de El Soldado:
 - GM3 para el análisis de la columna de agua marina frente a la desembocadura del río El Soldado (GD12 y GD13).
- Bahía del aeropuerto:
 - GM2 para el análisis de la columna de agua marina en la bahía del aeropuerto;

- GCR3 y GCR4 en la pendiente externa de la barrera arrecifal a la extremidad del canal, para el estudio de la fauna arrecifal;
- GSE para el estudio de los pastos marinos a fanerógamas situados al Norte de la bahía del aeropuerto;
- Blue Rock Point:
 - GM1 para el análisis de la columna de agua marina en alta mar;
 - GCR1 y GCR2 en la pendiente externa de la barrera arrecifal para el estudio de la fauna arrecifal.

El análisis de los resultados obtenidos se presenta a continuación.

5.6.2.1 Canal de Big Gully

El sitio de medición en la columna de agua GM4 está a proximidad de la desembocadura del río Michael Rock – Big Gully. Los resultados correspondientes son interpretados a continuación:

- La concentración de oxígeno disuelto parece más bien estable alrededor de 6 mg O₂/l en otoño y a principio de invierno y alrededor de 8 mg O₂ /l a la primavera y en verano. Esta tendencia traduce una concentración cercana del equilibrio entre la primavera y el verano, y una ligera bajo saturación durante el periodo de lluvias;
- Cabe notar picos de nutrientes (nitratos, amonio, fósforo). También cabe notar dos picos de fósforo total particularmente importantes en diciembre 1999 y enero 2000. Los valores medidos son tan importantes que conviene tomar estos dos resultados con precaución;
- Parece que no hay correlación directa entre los resultados obtenidos a nivel del río y a nivel del medio marino costero. Es probable que el régimen hidrológico de los ríos de Guanaja sea bastante cercano del de los ríos de Roatán, a saber que las tormentas son muy puntuales espacialmente, y que hay aumento y disminución rápida de los caudales y por lo tanto de los flujos de contaminación. Como el mar tiene un papel tampón, es probable que las mediciones mensuales realizadas no permitan mostrar una relación entre la calidad de las aguas dulces y marinas, pero esas relaciones intrínsecas existen de verdad;
- La única medición disponible para la clorofila a es la del mes de marzo 2000, con únicamente 0,073 µg Chl_a/l lo que es poco.

Los sitios GCR6 y GCR7 están ubicados en la pendiente externa de la barrera arrecifal en Alison Wall: GCR6 entre 10 y 12m de profundidad y GCR7 entre 3 y 5m de profundidad.

Relativo a estos sitios se puede hacer el diagnóstico preliminar siguiente (según Bouchon *et al.*, 2000):

- Sitio GCR7: corresponde a un sitio característico de la parte superior de las pendientes externas arrecifales. La cantidad de especies de peces es débil (17 especies contra 36 en Jack's Cay a la misma profundidad en el otro lado de la isla). Los índices de biodiversidad son débiles en relación a los otros sitios de Guanaja (con 2,96 para el índice de Shannon y 0,72 para el índice de Pielou, estos valores no son débiles). Cabe notar también una débil proporción de especies carnívoras (sobre todo la ausencia de peces púscivos).
- Sitio GSR6: corresponde a un sitio característico de una pendiente externa de arrecifes. El número de especies de peces aparece bajo (con 20 especies contra 44 especies a Jack's Cay). La biodiversidad es correcta (a la vez traducida por un buen índice de Shannon igual a 3,6 y por un buen índice de Pielou de 0,83). Cabe notar la débil proporción de especies carnívoras y más particularmente de púscivos.

5.6.2.2 Península de Michael Rock

El sitio GCR5 esta localizado en Michael Rock a 3 m de profundidad.

Sobre este sitio se puede hacer el diagnóstico preliminar siguiente (según Bouchon *et al.*, 2000). Este sitio es característico de la parte superior de un arrecife de bordo. El número de especies es muy elevado con 51 especie lo que constituye el mejor número obtenido en Guanaja. Los índices de biodiversidad son también muy buenos (con 4,51 por índice de Shannon y 0,79 por índice de Pielou).

5.6.2.3 Canal de El Soldado

Un único sitio es localizado en esta zona geográfica específica (GM3). Cabe notar lo siguiente de los resultados correspondientes:

- La concentración de oxígeno disuelto es globalmente al equilibrio en sobresaturación durante la mayor parte del año. El máximo de concentración de oxígeno disuelto es obtenido en junio 2000, con 9,3 mg O₂/l;
- Como es el caso en la mayoría de los sitios de mediciones en medio marino costero, hay picos de concentraciones de nutrientes (nitratos, amonio, fósforo) entre el otoño y el mes de enero. Estos picos pueden ser muy elevados. Cabe notar una cierta correlación entre las concentraciones de amonio en el medio

marino y en los ríos de la cuenca El Soldado, lo que indicaría que esta tiene una influencia tangible sobre el medio marino costero;

- La concentración de clorofila a medida en marzo 2000 es débil con solo 0,086 $\mu\text{g Chla/l}$.

5.6.2.4 Bahía del aeropuerto

Un sitio de medición de la calidad del agua marina costera está en el fondo de esta bahía (GM2). Este sitio presenta las siguientes características:

- El oxígeno disuelto presenta más bien fases de sobre saturación entre enero y junio 2000, con un máximo alrededor de abril 2000. Estas sobre saturaciones podrían deberse a la producción primaria de la biomasa (en particular del fitoplancton y de los pastos marinos a fanerógamas) y del manglar;
- Como es el caso en los otros sitios, se observan picos de concentraciones de nutrientes en diciembre 1999 y enero 2000. Es coherente tener picos de contaminaciones en periodo de lluvia, que podrían resultar del lavado de los suelos de los manglares. Sin embargo es menos normal tener picos de amplitud tan fuertes;
- La concentración de clorofila a medida en marzo 2000 es más bien mediana con 0,37 $\mu\text{g Chla/l}$. Eso traduce el impacto de los manglares y de los aportes en nutrientes que llegan a esa bahía.

Los sitios GCR3 y GCR4 están localizados en Pine Ridge Channel, GCR3 entre 8 y 12 m de profundidad y GCR4 a 3 m de profundidad.

Los dos sitios están situados en la pendiente externa de la barrera arrecifal a proximidad del canal que atraviesa el arrecife en el eje de la bahía del aeropuerto. Referente a estos sitios se puede hacer el diagnóstico preliminar siguiente (según Bouchon *et al.*, 2000):

- Sitio GCR4: corresponde a un sitio característico de la parte superior de las pendientes externas de arrecifes. El número de especies de peces es mediano a débil (22 especies). Los índices de biodiversidad son medianos en relación con los otros sitios de la isla (con 3,06 para el índice de Shannon y 0,69 para el índice de Pielou). También se puede notar una fuerte proporción de especies planctívoras;
- Sitio GSR3: corresponde a un sitio característico de una pendiente externa de arrecifes. El número de especies de peces es muy débil (con 19 especies, eso constituye el mínimo censado a esta profundidad en Guanaja). La biodiversidad es correcta (a la vez traducida por un buen índice de Shannon igual a 3,44 y por un buen índice de Pielou de 0,81). También cabe notar una proporción de

especies carnívoras más importantes que en los otros sitios de pendiente externa seguidos de Guanaja.

El sitio GSE corresponde a un pasto marino que está esencialmente constituido de *Thalassia testudinum* y de *Syringodium filiforme*. Este está localizado a poca distancia de los manglares que rodean por el Oeste la pista del aeropuerto. Esta parte del manglar es una de las pocas que presenta un principio de rebrote (Lebigre, 2000). Esta presencia tiene un impacto significativo sobre el funcionamiento del pasto marino. Efectivamente, la presencia concomitante de un pasto de fanerógamas marinas y de un manglar explica que el número de especies de peces encontrados sea importante con 21 especies, contra por ejemplo solamente 5 en el sitio GSF al otro lado de la isla. El pasto marino y el manglar tienen un papel de refugio y de vivero para numerosos peces. Además el manglar es una fuente de alimentación para ciertas especies acuáticas.

No es tampoco sorprendente que el pasto marino tenga una fuerte biomasa total con 1520 g/m², lo que constituye un valor elevado, a la vez con relación a los otros sitios y con relación a la zona Caribe. Del mismo modo, la producción es significativa con 5 g/m²/día.

El medio hidrodinámico es supuesto relativamente calmo a la orilla de los manglares. Por otra parte, la alimentación por ramoneo es más débil que en los pastos marinos situados cerca de los arrecifes coralinos (Bouchon *et al.*, 2000). Esto explica una tasa de renovamiento de las hojas más débiles en el sitio GSE que para los pastos marinos situados en un fondo arenoso como el del sitio GSF.

5.6.2.5 Blue Rock Point

El sitio GM1 es un sitio de alta mar localizado a lo largo de la barrera arrecifal. Los resultados obtenidos son los siguientes:

- Es sorprendente de tener tan poca diferencia de salinidad en las aguas entre este sitio de alta mar y el sitio GM2 que esta ubicado en el fondo de la bahía. Efectivamente, esta diferencia es pequeña en comparación a las variaciones mensuales de esta salinidad. La misma constatación se aplica al conjunto de las mediciones de salinidad en mar. Esto deja pensar que las variaciones mensuales de la salinidad dependen de fenómenos regionales como las corrientes marinas, o los penachos (plums) de los grandes ríos continentales;
- La concentración de oxígeno disuelto es relativamente cercano del equilibrio, lo cual es normal en alta mar;
- Cabe notar algunos picos de concentraciones de nutrientes, lo cual es normal debido a la disolución que interviene entre un vertido contaminante cerca de la costa, y la medición a nivel del sitio GM1. Es probable que los datos

correspondientes (mes de diciembre 1999 y enero 2000) sean por lo menos por parte erróneos;

- La concentración de clorofila a medida en marzo 2000 fue de 0,093 $\mu\text{g Chla/l}$. Este valor es semejante a los valores obtenidos en los sitios de alta mar, tanto en Roatán como en Guanaja.

Los sitios GCR1 y GCR2 están localizados en Blue Rock Point, GCR1 entre 3 y 7 m de profundidad y GCR2 a 1 m de profundidad. Los dos están ubicados en la pendiente externa de la barrera arrecifal. Se puede hacer el diagnóstico preliminar siguiente en estos sitios (según Bouchon *et al*, 2000):

- Sitio GCR1: corresponde a un sitio característico de la parte superior de las pendientes externas de arrecifes. El número de especies de peces es elevado (38 especies contra por ejemplo 22 a Pine Ridge Channel a la misma profundidad). Los índices de biodiversidad son buenos (con 3,77 para el índice de Shannon y 0,72 para el índice de Pielou). Cabe notar la débil proporción de especies herbívoras y la fuerte proporción de especies planctívoras en relación con los otros sitios de pendiente externa estudiados en Guanaja;
- Sitio GSR2: corresponde a un sitio característico de una meseta arrecifal. El número de especies de peces es mediano (con 25 especies). La biodiversidad es correcta (traducida por un índice de Shannon igual a 3,77 y por un buen índice de Pielou de 0,72). Cabe notar también una débil proporción de especies carnívoras (o la ausencia de especies carnívoras de segundo orden y de peces piscívoros) y una fuerte proporción de especies herbívoras.

5.6.3 Conclusión

Este sector es amplio pero bastante uniforme. Efectivamente, salvo la bahía situada al Oeste del aeropuerto, el resto de este sector se caracteriza por cuencas más o menos extensas, presentando un relieve accidentado y por lo tanto susceptible de arrastrar mucho MES. Por otra parte, la laguna es suficientemente ancha y está cubierta de pastos marinos que sirven de trampa a los sedimentos. Por lo tanto es probable que la barrera arrecifal esté más bien protegida contra los aportes terrígenos. Esta hipótesis tiene que ser validada por los expertos del componente AMC.

Hay poca contaminación antrópica, excepto algún ganado. Es probablemente la materia orgánica aportada por la cobertura vegetal que tendría que ser el primer proveedor de nutrientes del ecosistema marino costero de este sector. Puede también que haya corrientes más bien fuertes que circulen en la laguna paralelamente a la costa, lo cual aseguraría una buena mezcla de las aguas.

La única parte que presenta un verdadero riesgo de eutroficación sería la bahía contigua al Oeste a la pista del aeropuerto. Esta bahía recibe aparentemente nutrientes y MES provenientes de los manglares, y es más bien confinada, lo cual permite explicar un desarrollo de biomasa fitoplanctónica. Por lo tanto hay tendencia a una eutroficación de las aguas. Este sector es particularmente importante, constituye un vivero para los juveniles, debido a la presencia conjunta de manglares y de un pasto marino a fanerógamas. Es lo que explica el número importante de especies de peces en el pasto. El punto positivo, es que parece ser que los manglares brotan de nuevo. Convendría seguir de cerca la evolución de esta bahía que es frágil y que presenta signos actuales de sedimentación.

En conclusión, la principal problemática de todo este sector tiende a la erosión de los suelos y no a las contaminaciones antrópicas. Sin embargo, el ecosistema marino debe ser menos sensible a estas contaminaciones que en otros sitios, debido a las buenas condiciones hidrodinámicas supuestas y a una laguna de cierta anchura.

6

CONCLUSION

Después de haber estudiado el conjunto de los indicadores de calidad de las aguas (balance de las fuentes de contaminación, calidad de las aguas dulces, calidad de las aguas marinas costeras, calidad de los sedimentos) y después de haber cruzado estos resultados con el estado del medio receptor (se trata únicamente de elementos preliminares), es posible hacer una síntesis de los principales problemas de la calidad de agua a los que son confrontados los diferentes ecosistemas marinos costeros de la isla de Guanaja. Esta síntesis será completada cuando los datos sobre el estado de los arrecifes estén disponibles, lo cual no pudo ser cuando se redactó el presente informe. Desde este punto de vista, las informaciones parciales disponibles para Roatán como la tasa de cobertura del substrato arrecifal por corales vivos, por césped algal, o también por micro algas hubiesen sido muy útiles. Además, la evolución de las biomasas piscícolas hubiese completado de manera muy útil los datos disponibles sobre la biodiversidad. En fin, la repartición espacial y de la especificación de las poblaciones de esponjas hubiese permitido caracterizar el estado trófico del medio. Sin embargo, es posible de establecer un balance de la calidad de las aguas, los datos disponibles siendo suficientes para esto.

En primer lugar signos de eutroficación y de contaminación tóxica del litoral así como la sedimentación de los pastos marinos han podido ser identificados en diferentes partes de la isla. Con el fin de resumir los resultados obtenidos, los diferentes sectores de la isla son brevemente descritos a continuación:

- Sector de Ochre Rock al basurero de West End: Este sector es poco antrópico. Esta abierto a las corrientes marinas y está bordeado por cuencas de pequeña superficie. Es probable que la principal problemática de este sector sea la llegada de los desechos sólidos que flotan provenientes del sector urbanizado de Bonacca y del basurero de West End. Por otra parte, los principales daños sufridos por los arrecifes podrían ser relacionados al paso del Huracán Mitch (o al fenómeno de blanqueamiento ocurrido en septiembre 1998?).

- Sector del basurero West End a El Bight: Este sector es de lejos el más antrópico de la isla. Recoge la mayor parte de la población (Bonacca y Armadores), las tres plantas empacadoras de mariscos, una flota significativa de barcos de pesca, y tanques de hidrocarburos. Así, el triángulo que une Armadores al Cayo y al basurero de West End está en mal estado, tanto desde el punto de vista de la calidad de las aguas, como de los sedimentos, y del ecosistema. Las contaminaciones disueltas tienden a mezclarse rápidamente en la columna de agua debido a las corrientes marinas que circulan por la orilla del Cayo. Esto evita que crisis distróficas muy agudas hayan intervenido.

Por otra parte, la bahía de Sandy Bay aparece fragilizada por un débil hidrodinamismo, y por la urbanización mal controlada que llevan aportes en contaminantes (principalmente por lavados de los suelos no consolidados).

Igualmente, la barrera arrecifal presenta un número de especies de peces limitado, lo que deja entrever su fragilidad (convendría esperar un retorno de información de los expertos del componente AMC sobre este tema).

En conclusión, este conjunto geográfico está sometido a rudas pruebas por las actividades antrópicas, convendría regular las contaminaciones emitidas para evitar una degradación brutal, principalmente del litoral.

- Sector de El Bight a Brick Point: este sector es relativamente corto. Está localizado entre dos sectores antrópicos, pero no parece sufrir demasiado las consecuencias, debido a las buenas condiciones hidrodinámicas y a la mezcla agua. Probablemente sea la razón por la cual la barrera arrecifal enfrente presenta un número importante de especies de peces.

Sector de Brick Point a East Cliff: Este sector está esencialmente constituido por una gran bahía cerrada sobre dos lados (Norte y Oeste) por las tierras, y rodeada al Este por una barrera arrecifal. Las cuencas localizadas al Oeste de esta bahía drenan seguramente grandes concentraciones de MES, que tienden probablemente a depositarse en el triángulo que une Savannah Bight a La Ensenada y a lo largo de la costa. El huracán Mitch contribuyó seguramente a aumentar este proceso, dañando los suelos, desestabilizando la cobertura vegetal, y destruyendo los manglares costeros que regularizaban anteriormente estos aportes. Por otra parte, este sector protegido de las corrientes principales, recibe las contaminaciones de la comunidad de Savannah Bight, y del ganado. Por lo tanto hay un riesgo de desestabilización de los pastos marinos que bordean el litoral y de algunos pináculos coralinos que se encuentran a proximidad de la comunidad de Savannah Bight.

Parece que la laguna de la bahía esté abierta a las corrientes, que la calidad de las aguas sea más bien correcta. Su profundidad explica sin duda que sea poco cubierta por los pastos de fanerógamas marinas;

- Sector de East Cliff al Oeste de Mangrove Bight: Este sector está caracterizado por el impacto de los grandes manglares de North East Bight. Estos manglares están muy deteriorados, lo que explica que exporten MES y nutrientes susceptibles de contaminar el medio receptor. Debido a la configuración de este conjunto, estas dos bahías de North East End y de Mangrove Bight corren el riesgo de sufrir una sedimentación progresiva, un fenómeno de eutroficación, etc.

La bahía de Mangrove Bight recibe también aportes contaminantes desde las comunidades de Mangrove Bight y Brisas del Mitch. La capacidad de regeneración del medio receptor es todavía suficiente para permitir absorber estas contaminaciones. Pero hay un riesgo que eso cambie, debido a la sedimentación progresiva de los pastos marinos a fanerógamas. Conviene ser vigilante y intentar controlar los aportes contaminantes provenientes de las comunidades.

El problema más crucial es de llegar a provocar el rebrote de los manglares de forma a evitar que su deterioración genere contaminación, las cuales tendrían un impacto significativo sobre el conjunto del sector. Es evidente que la destrucción de los manglares tendrá también un impacto importante sobre la fauna de todo el sector.

- Sector de Mangrove Bight a Ochre Rock: Este sector es el más grande por su tamaño. Es bastante homogéneo, y es caracterizado por cuencas de gran tamaño y con un relieve importante. Estas cuencas drenan probablemente concentraciones importantes de MES hacia la laguna costera. Esta es relativamente ancha. Debería ser recorrida por corrientes bastante importantes, lo que debería permitir de cierto modo que estos sedimentos no vengán a perturbar la barrera arrecifal. Esta hipótesis ganaría en ser validada por los expertos del componente AMC.

Cabe notar que la bahía que rodea al Oeste la pista del aeropuerto está en vía de eutroficación bajo el efecto de los aportes terrígenos, particularmente desde los manglares adyacentes. Estos manglares presentan signos de recuperación parciales, lo que podría estabilizar la situación. Conviene ser vigilantes y seguir de cerca esta evolución, porque este ecosistema costero es rico y constituye un verdadero vivero para los juveniles. Sería una pena dejarlos deteriorarse.

Integrando nuestro conocimiento de las contaminaciones continentales y de los impactos efectivamente constatados sobre el medio marino costero y analizando los datos disponibles sobre la columna de agua marina y los sedimentos marinos, podemos concluir que las aguas marinas de Guanaja presentan concentraciones elevadas en sales nutritivas en periodo de lluvia, factores favorables a la aparición de distrofias. Estas contaminaciones de las aguas litorales son esencialmente el hecho de contaminaciones antrópicas (urbanas y relacionadas al

ganado) pero también al lavado de los suelos de los manglares y de los suelos no urbanizados donde la vegetación ha sufrido del huracán Mitch. Es probable que el estado deteriorado de los manglares no permita fijar correctamente los sedimentos, y que el flujo de sustancias disueltas que resulta perjudica el buen funcionamiento del conjunto de los ecosistemas marinos costeros limítrofes. Parece también haber una buena circulación de las aguas en las lagunas, debido a la anchura de estas y de sus orientaciones en el sentido de los vientos dominantes. Esta mezcla y estas corrientes marinas litorales tienen un impacto significativo sobre la calidad del agua.

7

Bibliografía

- Agence de l'Eau Loire Bretagne, 1988. Méthodologie de mise à jour des cartes de qualité.
- Alzieu C., Galcani F., 1992, Les toxiques à l'état de traces en milieu marin : indicateurs biologiques et biochimiques d'exposition, *Actes des Rencontres Internationales d'Océanologie Côtière – bordomer 92*, Ed. Bordomer Organisation, Bordeaux – France, 53-56
- Alzieu, C. 1999. Dragages et environnement marin : état des connaissances, IFREMER Editions, Nantes - France, 223 p.
- Atkinson, M. J., Smith S. V., 1983. C :N :P ratios of benthic marine plants. *Limnol. Oceanogr.* 28, pp 568 – 574.
- Bastidas C., Bone D., Garcia E.M., 1999, Sedimentation rates and metal content of sediments in a Venezuelan coral reef, *Marine Pollution Bulletin*, Vol 38 : 16-24
- Baumard P., Budzinski H., Garrigues P., Sorbe J.C., Burgeot T., Bellocq J., 1998, Concentrations of PAHs (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons) in various marine organisms in relation to those in sediments and to trophic level, *Marine Pollution Bulletin*, Vol 36 : 951-960
- Baur J.E., Capone D.G., 1985, Degradation and mineralization of the polycyclic aromatic hydrocarbons anthracene and naphthalene in intertidal marine sediments, *Applies Environmental Microbiology*, Vol 50 : 81-90
- Beaupoil C., Bornens P., 1997. Oxygène dissous et toxicité de l'ammoniaque en zones estuariennes : seuils d'acceptabilité, Rapport de synthèse Agence de l'Eau Loire – Bretagne, Nantes – France

- Benlahcen K., Chaoui A., Budzinski H., Bellocq J., Garrigues P., 1997, Distribution and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons in some Mediterranean coastal sediments, *Marine Pollution Bulletin*, Vol 34 : 298-305
- Bernard D., 1995, Metals in sediments from two lagoons off Guadeloupe, *Marine Pollution Bulletin*, Vol 30 : 619-621
- Beum Kim G.I., Maruya K., Lee R., Koh C.H., Tanabe S., 1999, Distribution and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments from Kyeonggi Bay – Korea, *Marine Pollution Bulletin*, Vol 38 : 7-15
- Bouchon C., Bouchon-Navvaro Y., de Lavigne S., Louis M., Thompson W., 2000. Les écosystèmes marins côtiers des îles de la Baie, Honduras. Résultats préliminaires. Rapport d'étude. 97 pages.
- Bothner M.H., Aruscavage P.J., Ferrebee W.M., Baedecker P.A., 1980, Trace metal concentrations in sediments cores from the continental shelf off the South eastern United States, *Estuarine Coastal Marine Science*, Vol 10 : 523 –541
- Boutier B., Cossa D., 1988, Evaluation critique des dosages de cadmium et de mercure dans les sédiment superficiels prélevés le long du littoral français, *In : Réseau National d'Observation de la qualité du milieu marin. Dix années de surveillances 1974-1984, Document technique IFREMER n°4*, Brest – France, 127 p.
- Brisou J.F., Denis F., 1980. Techniques de surveillance de l'environnement maritime, Ed. Masson, Paris - France
- Cabelli V.J., Dufour A.P., Levin M.A., Mc Cabe L.J., Haberman P.W., 1979. Relationship of microbial indicators to health effects at marine bathing beaches, *Amer. Jour. Public Health*, Vol 69 : 690-696
- Carreira R., Wagener A., 1998, Speciation of sewage derived phosphorus in coastal sediments from Rio de Janeiro – Brazil , *Marine Pollution Bulletin*, Vol 36 : 818-827
- Chizhikov D., 1966, Cadmium, Pergamon Press, London – England, 276 p.
- CEE, 1997. Qualité des eaux de baignade – saison 1996, Office des publications officielles des Communautés européennes – Luxembourg
- CNEXO, 1983. Manuel des analyses chimiques en milieu marin, Ed. CNEXO, Brest - France
- Consortio Lotti, 1999a. Revisión de Diseños Finales y Supervisión de Construcción de Obras de los Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario de

- Coxen Hole, French Harbor y Oak Ridge- Roatán- Islas de la Bahía. Rapport final. Honduras.
- Consorcio Lotti, 1999b. Estudio Hidrológico e Hidrogeológico de la Isla de Roatán- Islas de la Bahía. Rapport d'étude. Honduras.
- Consorcio Safege- Sogreah- Moncada y Moncada, 2000. Priorización de Cuencas. Rapport d'étude. Honduras.
- Consultores en Recursos, 1996. Los ecosistemas forestales en las islas de la Bahía : Reconocimiento técnico forestal, Contrato COLPROFORH 0476-C, APRODIB, Roatan - Honduras
- Contreras F., Castañeda O., Garcia-Nagaya A., Gutiérrez F., 1996. Nutrientes en 39 lagunas costeras mexicanas, Revista de biología tropical, Vol 34 Issue 20
- Corredor JE, Wilkinson CR, Vicente VP, Morell JM, Otero E, 1988, Nitrate release by Caribbean reef sponges, *Limnol. Ocean.*, Vol 33 : 114-120
- Cosandey C., 1999. Genèse des crues cévenoles et fonctionnement hydrologique de bassins élémentaires de moyenne montagne. In Les bassins versants expérimentaux de Draix, laboratoire d'étude de l'érosion en montagne. Cemagref édition, pages 29 – 39.
- Cossa, D., Elbaz-Poulichet F., Guassia-Barelli M., Roméo M., 1993. Le plomb en milieu marin. Biogéochimie et écotoxicologie. Repère océan n°3 – IFREMER – 75 pages.
- El-Sayed S.Z., Sackett W.M., Jeffrey L.M., Fredericks A.D., Saunders R.P., Conger P.S., Fryxell G.A., Steidinger K.A., Earle S.A., 1972. Serial atlas of the marine environment : chemistry, primary productivity and benthic algae of the Gulf of Mexico, American Geographical Society, Texas University, Folio 22
- Faivre, V., 2000. Prediseño de las presas de control de sedimentos y de las obras de drenaje vial en las cuencas piloto. Rapport d'étude. Honduras.
- Faure G., 1993. Principales dégradations de l'écosystème récifal, Note de synthèse, Laboratoire d'hydrobiologie marine et continentale, Université Montpellier II, Montpellier - France
- Gaujous, D. 1995. La pollution des milieux aquatiques : aide mémoire. Edition Tec et Doc. 224 pages.
- Goldman J C, Mc Carthy J. J., Peavey D. G., 1979. Growth rate influence on the chemical composition of phytoplankton in oceanic waters. Nature, vol. 279, pp 210 – 215.

- Goraud T.J., 1991. NOAA Report 137, Charleston – USA.
- Gouvernement du Honduras, 2000. Precenso de Población y vivienda Año 2000. Rapport d'étude. Honduras.
- Herrera-Silveira J.A., J. Ramirez-Ramirez, 1998. Laguna de Celestun, Yucatan, Mexico. In CARICOMP - Caribbean coral reef, seagrass and mangrove sites ; Coastal region and small island papers n°3, UNESCO, Paris – France, pp 43 – 56.
- IFREMER, 1989a, Le cadmium en milieu marin : biogéochimie et écotoxicologie, *Rapports scientifiques et technique de l'IFREMER n°16*, IFREMER Editions, Brest – France, 111 p.
- IFREMER, 1989b, Les PCB en milieu marin : biogéochimie et écotoxicologie, *Rapport interne IFREMER*, 43 p.
- La Barbera – Sanchez A., J F Gamboa – Marquez, W. Senior, 1999. Fitoplancton del golfo de Cariaco, estado sucre, Venezuela. *Rev. Biol. Trop.* 47 (Supl 1), pp 57 – 63.
- Lafforgue, M. ,1990. Modélisation du fonctionnement d'un écosystème lacustre : le lac d'Aydat. Thèse de doctorat de l'Ecole des Mines de Paris. 318 pages.
- Landis W. G., Yu M. H., 1999. Introduction to environmental toxicology. Impacts of chemicals upon ecological system. Lewis publishers.
- Landgraff O., Kammann U., Steinhart H., 1992, The distribution of cyclic organochlorines in sediments from the North Sea and the German Bight : an overview, *Analisis Magazine*, Vol 20 : M74-M77
- Larsonneur C., 1977, La cartographie des dépôts meubles sur le plateau continental français, *J.Rech. Océanogr.*, Vol 2 : 33-39
- Lebigre, J. M., 2000. Les marais à mangrove de l'archipel de la Bahia. Honduras, 79 pages.
- Lyons B., Fitzgerald F., 1980, Trace metals fluxes to nearshore Long Island sound sediments, *Marine Pollution Bulletin*, Vol 11 : 157 – 161
- Maneux E., Clément O., Charriton X., Dumas J., Barrière L., 1999. Dynamique sédimentaire d'un petit fleuve côtier du Piemont Pyrénéen soumis à un climat océanique. In Les bassins versants expérimentaux de Draix, laboratoire d'étude de l'érosion en montagne. Cemagref édition, pages 135 – 142.

- Martinez – Arroyo A., S Abundes, I Rosas, 1999. Respuestas fotosinteticas del fitoplancton de una zona costera del golfo de Mexico que recibe descargas terminas. *Rev. Biol. Trop.* 47, pp 71-76.
- Mauvais J.L., 1991, Les ports de plaisance : impacts sur le littoral, IFREMER Editions, Brest – France, 165 p.
- Means J.C., Wood S.G., Hassett J.J., Banwart W.L., 1980, Sorption of polynuclear aromatic hydrocarbons by sediments and soils, *Environmental Science and Technology*, Vol 14 : 1524-1528
- Montgomery, W. L., 1990. Zoogeography behavior, and ecology of coral reef fishes. In coral reefs (ed. Z Dubinsky). *Ecosystem of the world 25*. Elsevier. pp 329-364.
- Neff J.M., 1979, Polycyclic aromatic hydrocarbons in the aquatic environment. Sources, fates and biological effects, Applied Science Publishers, Barking – England, 262 p.
- Olivieri, R. A., 1997. Eutrophication of coral reefs. National Center for Environmental Research report, US EPA. 10 pages.
- Pateron, C, 1999. Etude de la qualité des eaux continentales des îles de la Baie. Rapport de stage. 52 pages.
- Pommepuy M., Guillard J. F., Martin Y., Dupray E., Derrien A., L'Yavanc J., Cormier M., 1996. Le devenir des bactéries en zones littorale. In *La mer et les rejets urbains*. Actes du colloques n°11. Ifremer, pp 89-100.
- Redfield, A. C., 1934. On the proportions of organic derivatives in seawater and their relation to the composition of the plankton. In James Johnstone Memorial Volume. Liverpool Univ. Press, Liverpool, pp 176 – 192.
- Richard D., Mathys N., 1999. Historique, contexte technique et scientifique des BVRE de Draix. Caractéristiques, données disponibles et principaux résultats acquis au cours de 10 ans de suivi. In *Les bassins versants expérimentaux de Draix, laboratoire d'étude de l'érosion en montagne*. Cemagref édition, pages 11 – 28.
- Romaña L.A., Boutier B., Marchand M., Loarer R., Brisset P., Caillot A., Arnoux A., 1990, Apports en micropolluants organiques et minéraux, *Actes du colloque La Mer et les Rejets Urbains – Bendor 13-15 juin 1990*, 11 : 153-170
- Ruben S., 2000. Análisis de la producción pecuaria en Roatán y Guanaja y alternativas de manejo sostenible dentro de microcuencas prioritarias. Rapport préliminaire. Honduras: Consorcio Safege- Sogreah- Moncada y Moncada.

- Salbert, V., 1999. Variations de la concentration en phytoplancton dans le golfe du Honduras déterminées par analyse de données satellitales. 19 pages.
- Sbriz L., Aquino M., De Rodriguez N., Fowler S., Sericano J., 1998, Levels of chlorinated hydrocarbons and trace metals in bivalves and nearshore sediments from the Dominican Republic, *Marine Pollution Bulletin*, Vol 36 : 971-979
- Schindler, D.W., 1974. Eutrophication and recovery in experimental lakes. Implications for lake management. *Science*, vol. 184, pp 897-899.
- Sorokin, Y. I., 1995. Coral reef ecology. Ecological studies Vol 102. Analysis and synthesis. Springer, 465 pages.
- Tomar M., 1999. Quality assessment of water and wastewater. Lewis publishers
- Tobin R.S., Dutka B.J., 1977. Comparison of the surface structure, metal binding and fecal coliform recoveries of nine membrane filters, *Appl. Environ. Microbiol.*, Vol 34 : 69-79
- US Environmental Protection Agency, 1996. ICR Microbial Laboratory Manual, *Office of research and development*, Cincinnati - Ohio
- Vial P., 1977. Méthode de dénombrement des coliformes, coliformes fécaux, streptocoques fécaux adaptée aux eaux superficielles, Contrat CEE n°222-77-1 ENVF, Bruxelles - Belgique
- Vazquez G.F., Sanchez G.M., Virender K.S., 1993, Trace metals in the oyster *Crassostrea virginica* of the Terminos Lagoon, Campeche Mexico, *Marine Pollution Bulletin*, Vol 26 : 398 - 399
- Viaroli P., Bartoli M., Bondavalli C., Christian R. R., 1996. Macrophyte communities and their impact on benthic fluxes of oxygen, sulphide, and nutrients in shallow eutrophic environments. *Hydrobiologia* 329, pp 105 - 119.
- Vivares C., 1991, Consommer des coquillages est il dangereux ?, *La Recherche*, n°228 : 120-128
- Wakham S., Schaffner C., Giger W., 1980, Polycyclic aromatic hydrocarbons in recent lake sediments, *Geochim. Cosmochim. Acta*, Vol 44 : 403-413
- Wolanski E., J. Sarsenski, 1997. Dispersion in coral reefs and mangroves. Australian Institute of Marine Science report, 7 pages.