

1. INTRODUCCION.

El desarrollo del proyecto “Estudio Integral para la planificación y desarrollo de la camaronicultura en la franja costera del sur del Estado de Sonora”, como ya se definió en el propio convenio de colaboración firmado entre la Universidad de Sonora y la Secretaria de Agricultura, Ganadería, Recursos Hidráulicos, Pesca y Acuacultura del Gobierno del Estado de Sonora, consta de dos etapas. La primera consiste en la elaboración del proyecto ejecutivo técnico financiero para el diseño de una escollera en la región del Parque Acuícola Los Mélagos y una segunda, que considera la continuación del Estudio Integral en el resto de la costa hasta el límite con el Estado de Sinaloa, que permita identificar la problemática ambiental, social y económica, en cada una de las regiones y que derive en propuestas de proyectos ejecutivos de escolleras o lo que se considere mas viable, para darle solución al abastecimiento de agua en cantidad y calidad requerida de cada uno de los parques y granjas acuícolas, tanto en el desarrollo actual como para futuros crecimientos.

En lo que respecta a la primera etapa lo que se esta informando abarca el 100% de los trabajos realizados considerando el programa de actividades presentado anexo al convenio, que a pesar de la serie de problemas que se presentaron no se tuvieron que hacer ajustes significativos en la fecha de entrega y por lo tanto tampoco no se tuvo repercusión por supuesto en la calidad de los resultados del estudio.

2. OBJETIVO.

Elaborar el estudio de factibilidad técnica, económica, estudio de impacto ambiental y proyecto ejecutivo para la construcción de la escollera, canales de llamada y drenes de descarga en el Parque Camaronícola de los Mélagos, que asegure el abastecimiento en calidad y cantidad de agua de mar para los desarrollos actuales y potenciales crecimientos.

3. RESULTADOS PARTE I. COMPONENTE AMBIENTAL Y SOCIOECONOMICO

A continuación se describen cada una de las acciones con sus respectivos productos.

3.1. Diagnóstico integral del sistema Mélagos-Nalga de Hule, el caso del Estero Mélagos.

3.1.1. Presentación.

El presente documento sintetiza los resultados de un análisis de caracterización y diagnóstico ambiental para elegir el sitio de instalación de una escollera que abastezca de agua de buena calidad a las granjas acuícolas del sistema Mélagos-Nalga de Hule (Figura 1). Los resultados se enmarcan dentro de la primera fase del proyecto “Estudio Integral para la planificación y desarrollo de la camaronicultura en la franja costera del sur del Estado de Sonora”, definido en el convenio de colaboración firmado entre la Universidad de Sonora y la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Recursos Hidráulicos, Pesca y Acuicultura del Gobierno del Estado de Sonora. El convenio establece que la primera fase del estudio consistirá en la elaboración del proyecto ejecutivo técnico financiero para el diseño de una escollera en la región del Parque Acuícola Los Mélagos-Nalga de Hule, que abastezca de agua de calidad a las granjas acuícolas del mismo sistema. En tal sentido, los resultados que aquí se presentan aportan elementos para asignar recursos públicos en un marco de sustentabilidad ambiental, a la construcción de dicha obra. El documento incluye una serie de apartados que muestran, bajo una estructura lógica, el proceso metodológico y de integración de resultados para lograr el diagnóstico ambiental y la propuesta de sitio para la obra, así como la descripción del proyecto ejecutivo de las obras a realizar, tanto de la escollera como de los canales de llamada y dren de descarga.

3.1.2 . Metodología para integrar el componente ambiental y socioeconómico.

3.1.2.1. Caracterización y Diagnóstico Ambiental General.

Este apartado contempló una caracterización y diagnóstico ambiental general que permitiera definir los elementos que conducen la evolución general del Sistema Mélagos Nalga de Hule, entendidos como los factores naturales y de presión humana que modelan sus tendencias de deterioro ambiental, así como su capacidad de respuesta frente a la construcción de infraestructura o a la instalación de nuevas actividades. Para ello se recurrió a metodologías ampliamente utilizadas en trabajos de planeación y diagnósticos ambientales a este nivel de detalle. En principio se realizó un trabajo exhaustivo de fotointerpretación, y procesamiento de imágenes satelitales recientes (2002 y 2003) de alta resolución (Plataforma Ikonos y Quick Bird de 1 m y 60 cm, respectivamente), así como una comparación histórica con imágenes del mismo sitio, pero obtenidas en las décadas de 1970, 1980 y 1990. El proceso de fotointerpretación se apoyó con verificaciones y obtención de datos en campo. Se realizaron varias salidas al sitio con el propósito de realizar una batimetría general del frente de playa e interior del estero, así como integrar datos referentes a condiciones oceanográficas y del medio biofísico. Los datos y observaciones obtenidas se corroboraron en gabinete, y se anexaron a la base de datos que se utilizó como insumo durante todo el estudio. El propósito de las comparaciones entre las décadas 1970 y 2003, fue definir las tendencias de cambio en términos del uso del suelo y la afectación de los ecosistemas, identificar y caracterizar los componentes relevantes, o sensibles, de la morfología litoral en la zona, y poder hacer una regionalización preliminar de la vulnerabilidad ambiental del deterioro del estero, que auxiliara posteriormente en la selección del sitio ideal, y además aportara elementos para el diseño de ingeniería de la obra.

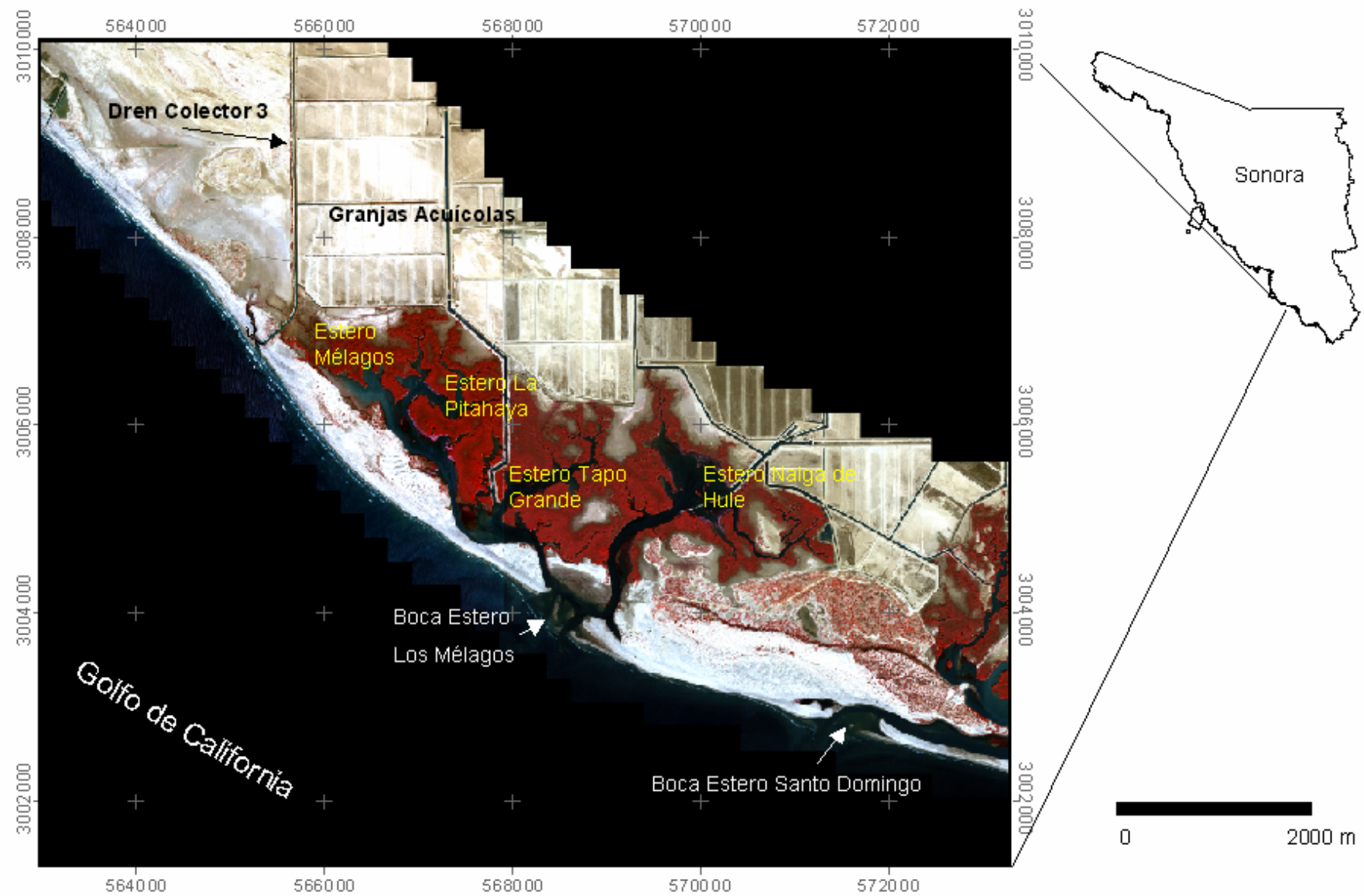


Fig. 1. Macrolocalización y detalle del sistema costero Los Mélagos. Las coordenadas se encuentran en unidades UTM.

También se realizaron una serie de mediciones *in situ* y corroboraciones bibliográficas de las variables descriptoras de la oceanografía costera: oleaje, mareas, vientos, corrientes, profundidad y dinámica litoral; entendidas estas como atributos que conducen la evolución de la morfología litoral, y su fragilidad a los cambios inducidos por la instalación de nueva infraestructura. La caracterización local de las variables oceanográficas requirió la aplicación y validación de modelos teóricos con probada eficiencia para determinar el comportamiento de estos parámetros. Dichos modelos se explican con detalle en el proyecto Técnico-Financiero de la escollera.

El levantamiento de datos también incorporó entrevistas directas y un cuestionario aplicado al personal técnico de las granjas acuícolas, consultas a informantes clave con amplia experiencia de pesca en la zona, viejos habitantes del campo pesquero local, y consultas a expertos en los temas de oceanografía, ecología y acuicultura. Para la obtención de esta información se recurrió al método de entrevista semiestructurada (Robson, 1993), en un formato flexible que permite agregar o cambiar el orden de las preguntas conforme el entrevistado abunde en sus respuestas (Anexo Entrevistas). Se buscaba hacer una caracterización integral de la problemática ambiental local, identificar sus factores causales, y definir los elementos sensibles a la introducción de nueva infraestructura en el lugar. Las entrevistas al sector acuícola tenían el propósito de caracterizar sus esquemas de producción e identificar las respuestas a la problemática ambiental. Cabe señalar que, tanto el método de impactos y sus fuentes como la entrevista semiestructurada, se han probado con éxito para la integración de diagnósticos ambientales, así como la definición de acciones de manejo y mitigación de impactos en otras latitudes del mundo (Bravo, 1998, Hernández ,1997; Leyva *et al*, 1997).

3.1.2.2. Selección de sitio en una perspectiva de sustentabilidad ambiental.

El proceso de selección de sitio consideró varias alternativas para la colocación de la escollera y obra de toma. Los recorridos de campo indicaron en principio tres sitios potenciales (Figura 2), cuya localización les daba estrecha conectividad a los ecosistemas marino, estuarino y de dunas arenosas.

Los sitios propuestos se distinguían entre sí por ofrecer diversas limitaciones ambientales, de ingeniería y viabilidad técnica; por lo que se caracterizaron por separado con

base en la información relevante para la instalación de la obra. La caracterización tuvo el propósito de identificar el sitio ideal por sus ventajas ingenieriles, pero también por su vulnerabilidad a los impactos ambientales que derivaran de la obra. De esta manera, la caracterización se realizó considerando elementos para el diseño de la estructura, pero también para la comprensión del funcionamiento ambiental del lugar.

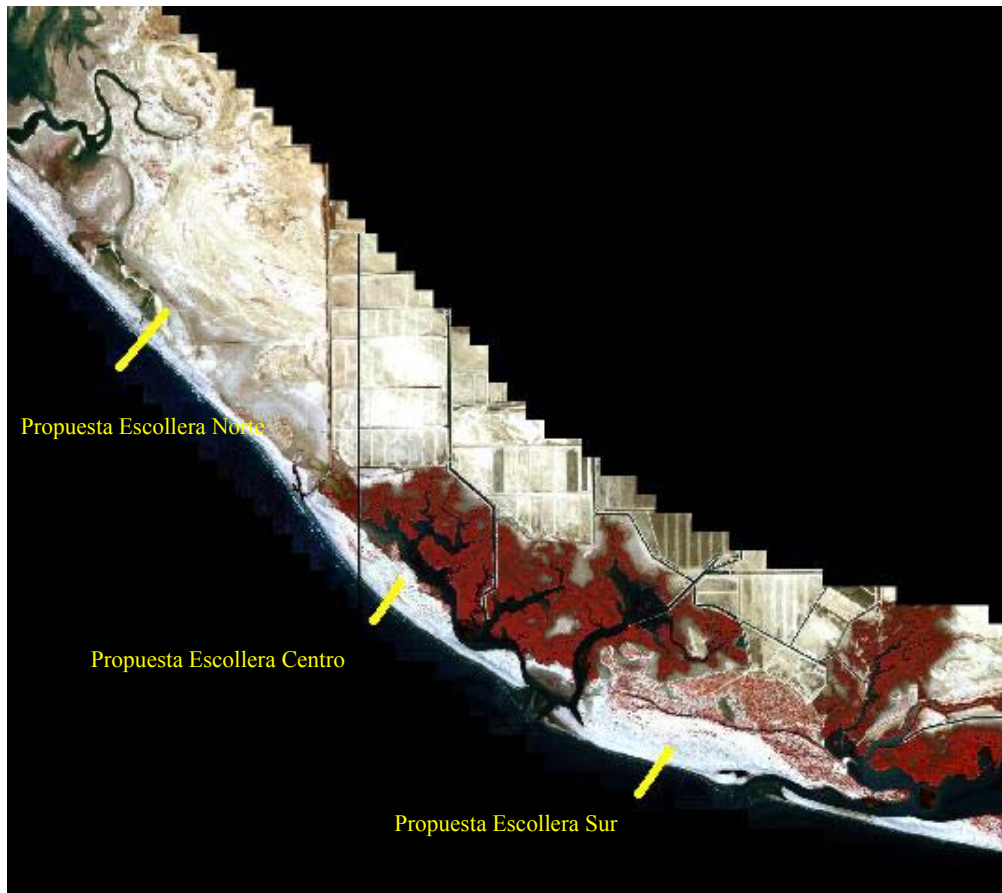


Fig. 2. Sitios propuestos para la instalación de una escollera.

3.1.2.3. Identificación de componentes ambientales relevantes.

Por lo que respecta a la dimensión ambiental, también se construyó un modelo descriptivo que permitiera establecer cuales son los componentes y funciones ambientales relevantes a nivel de sistema marino, dunas y estero, que se afectarían potencialmente por la construcción de esta obra de toma. Estos modelos identificaron los elementos nodales que, al ligar entre sí el funcionamiento de los tres ecosistemas, constituyen los componentes ambientales que definen la vulnerabilidad del macrosistema (Figura 3), y determinan la base para la elaboración posterior del manifiesto de impacto ambiental.

La construcción de los modelos requirió una revisión extensa de los fundamentos teóricos que explican el funcionamiento de cada uno de los ecosistemas mencionados previamente, así como la integración de los distintos resultados que fueron incorporándose durante el proceso de recogida de datos. Se buscaba explicitar las interrelaciones ecológicas en los biomas que se afectarían potencialmente, y contextualizar dichas interrelaciones a la luz de los distintos datos obtenidos en campo y gabinete. Esta contextualización ayudaría a articular un diagnóstico que no sólo describiera un inventario de problemas ambientales, sino que también explicara cuales son las tendencias de evolución actual del ecosistema bajo las condiciones imperantes de presión, y cuales serían las tendencias bajo un escenario alternativo: el que derivaría de la instalación de una nueva obra de toma para las granjas acuícolas.

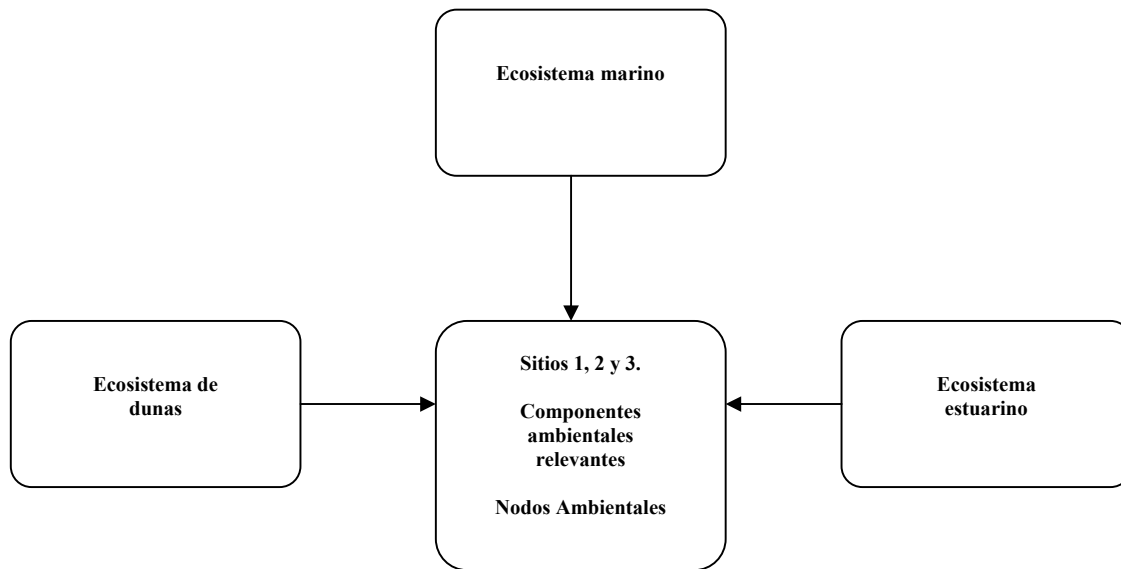


Fig. 3. Marco para analizar la vulnerabilidad del macrosistema. Identificación de Componentes Ambientales Relevantes.

3.1.2.4. Identificación de la vulnerabilidad de cada sitio a los impactos ambientales: Aplicación de La Técnica de Análisis de Impactos y sus Fuentes.

Una vez que se elaboró el modelo teórico del funcionamiento de cada ecosistema, se hizo una identificación prospectiva de impactos potenciales sobre los componentes ambientales relevantes y otros componentes ambientales críticos, derivados de la instalación y operación de la obra. Estos impactos fueron valorados en una escala cualitativa al interior de los tres sitios propuestos, a fin de identificar el sitio menos vulnerable a la instalación de la obra. El propósito de esta fase del proyecto, aportar a la selección de sitio a partir de una lógica de prevención de impactos, enriquecería definitivamente las consideraciones estrictamente ingenieriles. Este tipo de propuestas se han venido enfatizando desde hace tiempo dentro de los esquemas de planeación, y son totalmente coherentes con el paradigma de la sustentabilidad (Gustavson, 2003).

El proceso de valoración de impactos potenciales se realizó mediante un método inductivo que permite integrar la información relevante al estado y la presión que se ejerce o se ejercerá sobre el medio biofísico y la dimensión humana. Por las ventajas operativas, el método se apega al esquema propuesto por The Nature Conservancy (2000), en su manual de planificación para la conservación de sitios, o Técnica de Análisis de Impactos y sus

Fuentes. El proceso parte de identificar los elementos relevantes para la conservación en un sistema, los elementos de presión ambiental, y sus factores causales. Estos elementos se ordenan en una matriz que desagrega espacialmente sus valores de importancia, y que en el caso de este estudio permite acumular puntajes en cada uno de los tres sitios propuestos. Teóricamente los puntajes acumulados son un reflejo de la vulnerabilidad ambiental de cada lugar a la instalación de la obra, por lo que los valores permiten seleccionar el sitio con más ventajas ingenieriles y menos amenazado ambientalmente.

La Técnica de Impactos y sus Fuentes, y los criterios que conducen las preguntas clave, fueron modificados y adaptados al contexto ambiental del sistema Mélagos. A diferencia de lo que marca el método, en este caso no se obtuvieron medias aritméticas de los valores obtenidos por sitio, si no que sólo se consideró su puntaje acumulado. Para iniciar la evaluación se trazaron tres polígonos imaginarios 1500 por 3500 metros, que constituyen el área de afectación directa de la obra. Sobre este polígono y sus áreas de influencia se realizó una evaluación prospectiva de impactos ambientales en los componentes biótico, abiótico y medio humano, planteados en un formato que no desagrega los elementos, sino que los evalúa en términos de su estructura y función.

La evaluación se subdividió en dos fases:

Fase 1: Define la importancia ambiental de cada uno de los tres sitios en un marco regional y local.

Fase 2: Define la vulnerabilidad de cada sitio a los elementos de presión (impactos) que derivarían de la instalación de la obra.

Los criterios a considerar para cada una de las fases, y las preguntas que definen la importancia de cada factor fueron:

Fase 1:

1. Valor para los procesos ecológicos y la conservación en una escala regional.

Este criterio valora la unicidad o rareza del sitio y su importancia para la conservación de especies y los procesos ecológicos en una escala regional (En este caso Golfo de California).

La pregunta clave fue:

¿El sitio posee un ecosistema único a nivel regional, o no existe en otros lugares del Golfo de California?.

Opciones de respuesta:

Muy importante: El sitio constituye un ejemplo ecológico único a nivel regional.

Importante: El sitio es importante para los procesos ecológicos regionales, pero no constituye un caso aislado. Existen otros lugares con características similares o parecidas.

Poco importante: El sitio es importante para los procesos ecológicos regionales, pero su amplia distribución no le vuelve el sitio prioritario para la conservación.

2. Importancia y contribución ecológica al sistema local.

Este criterio define el papel que juega cada uno de los sitios para el mantenimiento de los procesos ecológicos, y la funcionalidad del sistema. La pregunta clave fue:

¿Es importante el sitio para el mantenimiento de las funciones ambientales que soportan la calidad ambiental del estuario?

Las opciones de respuesta:

Muy importante: Su contribución es fundamental e insustituible. De distribución local restringida, no puede entenderse la estabilidad y funcionalidad del estuario sin su presencia.

Importante: Su contribución es importante, pero existen otros elementos ambientales o componentes del sistema que juegan un papel similar para el mantenimiento de su estabilidad. Su distribución es amplia.

Poco importante: Su contribución a la estabilidad del sistema es irrelevante.

3. Importancia y contribución socio-económica directa:

Opciones de respuesta:

Este criterio define el papel que juega cada uno de los sitios para el mantenimiento de los procesos económicos y las actividades humanas locales. La pregunta clave fue:

¿Es importante el sitio para el mantenimiento de las actividades humanas, o tiene en su caso un valor económico o social directo por alguna actividad (recreación, zona de pesca, zona habitacional, zona de importancia histórica, etc.).

Muy importante: Su contribución es definitiva. Su alteración o desaparición tendría impactos potencialmente muy adversos sobre las actividades humanas o el patrimonio histórico-cultural.

Importante: Su contribución es muy relevante, pero una alteración podría mitigarse sin efectos adversos sobre las actividades humanas o el patrimonio histórico-cultural.

Poco importante: Su contribución a las actividades económicas locales es irrelevante o sumamente puntual en el tiempo.

La escala de valoración para las respuestas de esta primera fase fue:

Muy importante:.....	4
Importante.....	2
Poco importante.....	1
Sin importancia.....	0

Fase 2: En esta fase se pondera la severidad y el alcance potencial de los principales Impactos asociados a la construcción de la obra, así como la importancia que representa cada una de las causas de impacto. Severidad involucra factores como reversibilidad y persistencia. Alcance se refiere a la magnitud del impacto y su extensión espacial.

Los criterios para ponderar ambos criterios por sitio son:

Severidad

Muy alta: El impacto amenaza la existencia del sitio y los subsistemas asociados	4
Alta: El impacto no amenaza la existencia del subsistema, pero si es relevante	2
Media El impacto plantea una amenaza menor a la existencia del subsistema	1
Baja El impacto es irrelevante	0

Alcance

Muy alta: El impacto afectará todo el sitio y subsistemas asociados (Mayor a 75 % de su superficie).	4
Alta: El impacto afectará una parte significativa del sitio y subs. asoci. (50-75 % de su superficie)	2
Media: El impacto afectará menos del 50 % del sitio y subsistemas asociados.	1
Baja: El impacto no afectará el sitio y subs. Asoc	0

En principio la selección de sitio se realizará acumulando los puntajes obtenidos durante la fase 1 de la evaluación, y durante la estimación de la severidad y alcance de impacto por sitio. Posteriormente se realizará una identificación de las causas de cada impacto. Estas serán ponderadas de acuerdo a la siguiente escala:

Muy importante: Es la causa principal de impacto	4
Importante: Es una causa importante, pero secundaria	2
Poco importante: No es una causa importante pero puede serlo en el futuro	1
Sin importancia: No es, ni será, una causa importante	0

Estos valores de importancia por causa serán añadidos a la evaluación pero de una forma secundaria. Se considerarán *a posteriori* para definir acciones de mitigación de impactos una vez que se elija el sitio. Los resultados se indican en la Tabla V.

El esquema metodológico general del diagnóstico y la selección de sitio se describe en la figura 4.

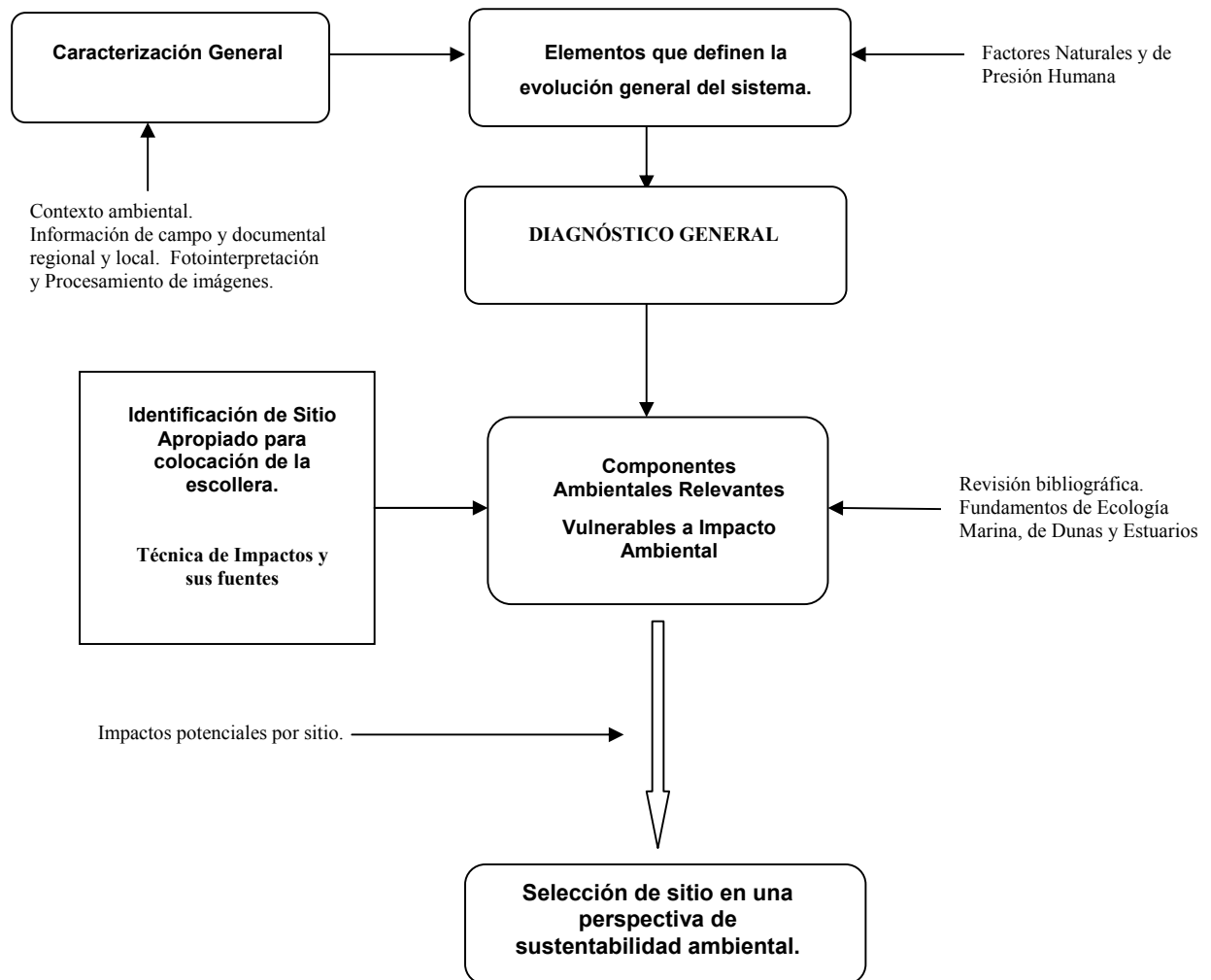


Fig. 4. Esquema metodológico general del diagnóstico y selección de sitio en una perspectiva de sustentabilidad ambiental.

3.2 Diagnóstico del sistema costero e implicaciones sobre el medio humano.

Este apartado resume un análisis de la información ambiental anterior en el contexto de los impactos actuales por actividades humanas. Se hace énfasis en las implicaciones funcionales de los cambios ambientales.

3.2.1. Cambios en el patrón hidrológico y procesos asociados:

El intenso represamiento y encauzamiento del Río Yaqui (Figura 5), sumado a la transformación de la topografía costera por consecuencia de la estanquería para acuacultura, ha modificado el patrón hidrológico natural, con importantes repercusiones en la morfología y estructura de los sistemas costeros. A nivel local, parece que estas transformaciones rompieron el balance entre los procesos litorales y los continentales, afectando tanto la morfología y movilidad de la boca, como los patrones temporales y espaciales de inundabilidad con agua dulce. Ello, en conjunto con un incremento de la erodabilidad por remoción de la cubierta vegetal en la cuenca agrícola de drenaje, ha derivado en un progresivo azolvamiento del sistema costero.

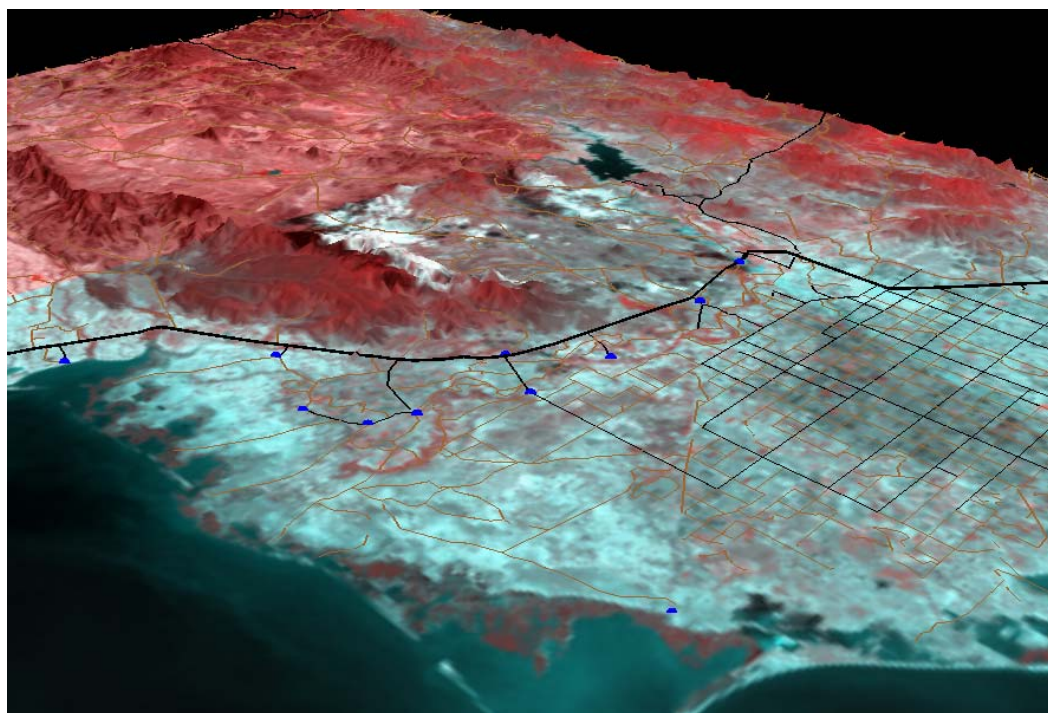


Figura 5. Modelo tridimensional de la porción baja del área de influencia del río Yaqui, evidenciando la extensa área agrícola, áreas urbanas e infraestructura que se extiende hacia la costa.

Las granjas acuícolas realizan sus bombeos en estas condiciones de azolvamiento, por lo que no se dispone del agua necesaria para cubrir las necesidades naturales del estero. De ahí se explica la mortandad de mangle hacia la cabeza norte del sistema (Figura 16), un aparente proceso de sucesión ecológica hacia especies vegetales halo-tolerantes, y una disminución general de su productividad pesquera. Debido a que las condiciones de azolvamiento, demanda de agua y presión de pesca, constituyen nuevos agentes que conducen la evolución natural del ecosistema, su capacidad de acogida a las actividades humanas se ha disminuido.

3.2.2 Transformaciones actuales del paisaje.

Uno de los agentes modeladores del paisaje con más relevancia para entender la evolución actual del sistema Mélagos-Nalga de Hule, y en general del sur de Sonora, se constituye sin duda por la camaronicultura. Esta actividad significó la remoción directa de grandes extensiones de vegetación costera, sin considerar en ningún caso la preservación de ecosistemas relictos o corredores ecológicos que aseguren la funcionalidad del paisaje en esta franja geográfica. La bordería asociada a las granjas de camarón también modificó las micro-cuencas locales, significando la interrupción de flujos de nutrientes y agua dulce para los ciclos biogeoquímicos y demás funciones ambientales del estero. La inadecuada canalización de las tendencias de escurrimiento prevalecientes, también se revirtió en problemas ambientales para el sistema y para los mismos acuacultores. Las “aguas broncas” buscan su salida por los puntos más vulnerables, regularmente dunas bajas no estabilizadas, puntos de descarga de los drenes, e inclusive por entre los bordos debilitados de la estanquería. Ese sería el caso de algunas rupturas al canal de llamada del ejido acuícola Santo Domingo (Figura 7). Además de las implicaciones ambientales, son evidentes las repercusiones económicas al mismo sector productivo. También significan un perjuicio para pescadores y turistas, quienes ven obstaculizado su acceso a las playas del estero.



Fig. 6. Detalle de la muerte de manglar en la cabeza norte del sistema. La superficie bajo esta condición es considerable.

La pérdida de manglar y de cubierta vegetal en general dentro de esta zona de operación de las granjas camaronícolas, también reduce su capacidad natural para servir como amortiguador o protector ante eventos naturales extremos, tales como marejadas, huracanes o lluvias.

3.2.3. Contaminación y otros elementos de presión humana.

Los cambios asociados al azolvamiento y configuración de la boca del estero también originan una disminución de la capacidad de limpieza frente a los aportes exógenos. La intrusión de agua contaminada del colector número tres, que incorpora una parte sustancial de las descargas acuícolas correspondientes a las granjas: Loma de Félix, S.P.R. de R.I., Loma de Manuel, S.P.R. de R.I., Loma de Fernando, S.P.R. de R.I., Acuícola Río Muerto, S.A. de C.V., Reforma Segunda S.P.R. de R.I., Acuícola Marcha al Mar, 18 de Mayo, S.A. de C.V., Estero Los Mélagos, S.P.R. de R.I., Sonora Mí Estado, S.P.R. de R.I., La Loma de Alberto, S.P.R. de R.I., Acuícola Castelo, S.P.R. de R.I., La Loma de Layo, S.P.R. de R.I., La Loma de Zavala, S.P.R. de R.I., y General Ignacio Pesqueira, S.P.R. de R.I. (Tabla I), pone en peligro la viabilidad de las granjas que se abastecen de este sistema costero.

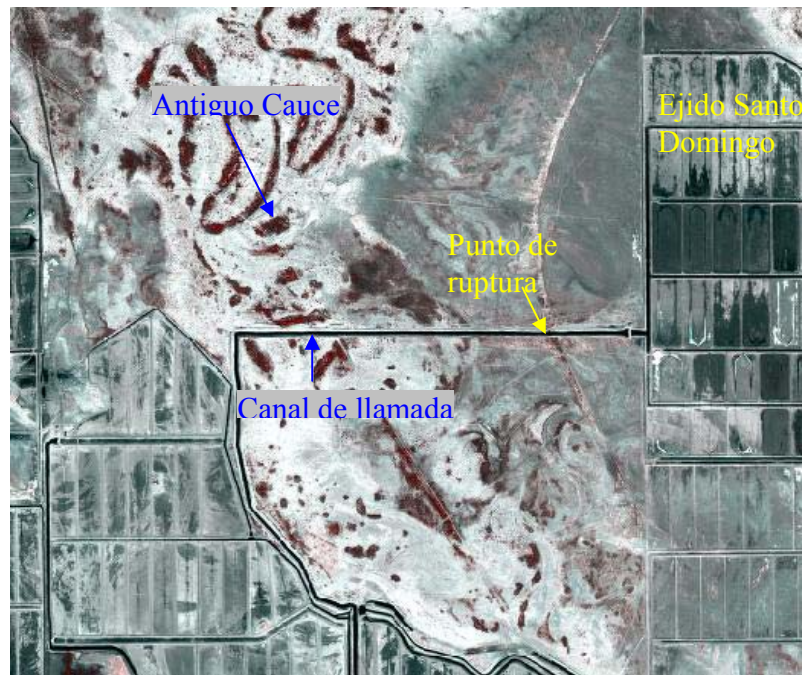


Fig. 7. Canal de llamada que interrumpe un antiguo cauce natural. Las aguas brancas rompen el canal durante eventos extremos. Se aprecia una situación de gran vulnerabilidad durante la época de lluvias.

Este dren colector, que antaño sólo drenaba aguas agrícolas y urbano-industriales, descarga en el frente de playa a unos 4 km al norte de la boca, alcanzando a inundar una parte la cabeza noroeste del estero. El proceso de inundación se magnifica bajo condiciones extremas de lluvia o marea, contribuyendo de manera definitiva al progresivo azolvamiento de esta zona (Figuras 8 y 9).

Tabla I. Volúmenes estimados de descarga diaria de las granjas acuícolas en el dren colector número 3.

NOMBRE DE LA GRANJA	ACTIVIDAD	DESCARGA	m3 RECAMBIO (15%)
ACUICOLA CASTELO SPR DE RI (AGRICOLA Y GANADERA LA ESPERANZA)	ACTIVOS EN EL CICLO 2004	DREN COLECTOR 3	77,729.76
ESTERO LOS MELAGOS SPR DE RI	ACTIVOS EN EL CICLO 2004	DREN COLECTOR 3	135,738.40
LA LOMA DE FELIX SPR DE RI	ACTIVOS EN EL CICLO 2004	DREN COLECTOR 3	248,393.90
LA LOMA DE FERNANDO SPR DE RI	ACTIVOS EN EL CICLO 2004	DREN COLECTOR 3	73,050.85
LA LOMA DE LALLO SPR DE RI	INACTIVOS EN EL CICLO 2004	DREN COLECTOR 3	354,010.56
LA LOMA DE MANUEL SPR DE RI	ACTIVOS EN EL CICLO 2004	DREN COLECTOR 3	85,639.13
LA LOMA DE PANTO SPR DE RI	INACTIVOS EN EL CICLO 2004	DREN COLECTOR 3	80,402.38
LA LOMA DE TONO SPR DE RI (ACUICOLA SANTA MAGDA SA DE CV)	ACTIVOS EN EL CICLO 2004	DREN COLECTOR 3	98,200.06
LA LOMA DE ZAVALA SPR DE RI	ACTIVOS EN EL CICLO 2004	DREN COLECTOR 3	90,898.00
SONORA MI ESTADO SPR DE RI (AGRICOLA Y GANADERA LA ESPERANZA)	ACTIVOS EN EL CICLO 2004	DREN COLECTOR 3	81,996.56
SPR DE RI ACUICOLA 18 DE MAYO	ACTIVOS EN EL CICLO 2004	DREN COLECTOR 3	25,749.37
SPR DE RI ACUICOLA MARCHA AL MAR	ACTIVOS EN EL CICLO 2004	DREN COLECTOR 3	52,611.01
SPR DE RI ACUICOLA RIO MUERTO	ACTIVOS EN EL CICLO 2004	DREN COLECTOR 3	81,891.03
SPR DE RI GENERAL IGNACIO F. PESQUEIRA	ACTIVOS EN EL CICLO 2004	DREN COLECTOR 3	66,118.22
SPR DE RI LA LOMA DE ALBERTO (AGRICOLA Y GANADERA LA ESPERANZA)	ACTIVOS EN EL CICLO 2004	DREN COLECTOR 3	84,860.30
SPR DE RI REFORMA SEGUNDA	ACTIVOS EN EL CICLO 2004	DREN COLECTOR 3	94,618.48



Fig. 8. Aspecto del dren colector número 3 (Derecha). Al fondo su salida al mar, pero por la izquierda de la foto se observa la cabeza noroeste del sistema Mélagos. Obsérvese la mortalidad de manglar.

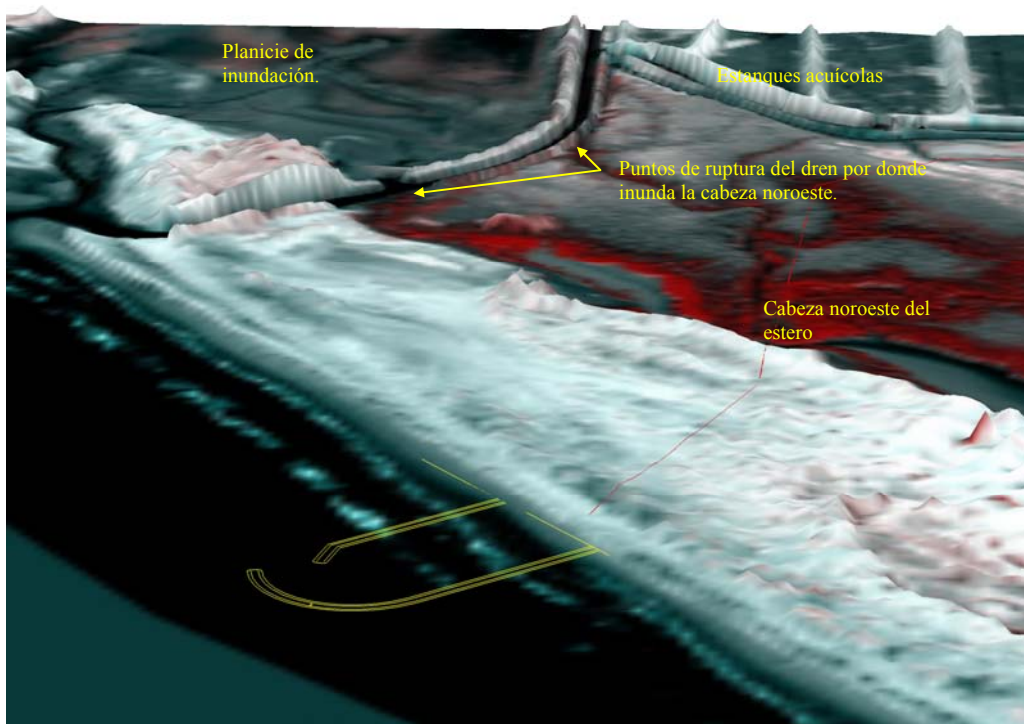


Figura 9. Modelo de vista aérea del punto de descarga del dren colector número 3.

Los impactos de las descargas vertidas no se han evaluado con detalle, pero es probable que su contenido orgánico, industrial, y de residuos medicados por sanidad acuícola, esté afectando la estructura del ecosistema a un nivel mucho menos visible que la mortalidad de manglar y la evidente acumulación de sedimento fino. Se sabe por ejemplo que la residualidad de medicamentos acuícolas puede afectar la composición de los tapetes microbianos bentónicos (Paez, 1999), impactando potencialmente uno de los elementos ambientales que sostienen la productividad primaria. Si ello se suma a la presión de pesca, al deterioro ambiental general por los cambios asociados a la transformación del paisaje, y a la extracción no controlada de organismos en fases larvarias por el bombeo acuícola, el sistema puede encontrarse severamente impactado. Esta condición también genera un riesgo sanitario para la población humana y la salud de los consumidores potenciales. Si las granjas llegaran a reciclar el agua provenientes de las descargas del dren colector, podrían generarse repercusiones de altísimo impacto para la misma actividad. Por lo que respecta a la contaminación fuera del estero, se desconocen las características contaminantes de la pluma de dispersión, pero es probable que sus efectos sean menos severos, fundamentalmente por el efecto diluyente de la corriente litoral (Fig. 10).

En otra vertiente de elementos de presión, tampoco puede ignorarse el impacto potencial de la fauna nociva (mosquitos, ratones, cucarachas), que usualmente se asocia a las condiciones de almacenaje de piensos e insumos en algunas granjas acuícolas, ni la basura industrial y doméstica generada en las mismas.



Fig. 10. Aspecto de la descarga del dren colector número 3 en el frente playa. Obsérvese el arrastre de basura.

3.2.4 Situación del Sector Pesca Local.

El poblado pesquero Los Mélagos se localiza en el Sur del Estado de Sonora, en el Municipio de San Ignacio Río Muerto, aproximadamente a 65 Km. de Ciudad Obregón; se trata de un asentamiento rural costero (Fig. 11) establecido contiguo a la boca del estero del mismo nombre y colindante con el Golfo de California.



Fig. 11. Poblado Los Mélagos, campo pesquero carente de la infraestructura básica para desarrollar competitivamente la actividad.

La principal actividad que se desarrolla en la comunidad de Los Mélagos es la pesca, ya que las condiciones de escasa disponibilidad de agua dulce y el ensalitramiento que caracteriza a la llanura costera local (Figura 12) reducen las posibilidades de desarrollar actividades agrícolas o pecuarias bajo los esquemas productivos tradicionales.



Fig. 12. Planicie costera del área de Mélagos, con predominancia de vegetación halófila y arbustos de porte bajo, en un sustrato con ensalitramiento evidente.

Esta localidad cuenta con aproximadamente con 25 individuos como población total fija, lo que generalmente representa únicamente hombres o mujeres adultas, sin niños como habitantes permanentes del lugar; de estos aproximadamente 16 hombres son los responsables de efectuar las actividades relacionadas a la captura de especies marinas.

En el periodo de Septiembre a Octubre conocido localmente como la *zafra del camarón*, llegan al lugar alrededor de 600 personas (que representan entre 30 a 40 familias) para emplearse en las labores relacionadas al procesamiento de la captura de camarón, donde las mujeres participan en el descabezado y faenado del crustáceo por lo que esta población se considera como estacionalmente flotante, las personas que llegan a este poblado para realizar esta actividad, provienen de las localidades que se encuentran cerca de Los Mélagos y del Municipio de San Ignacio Río Muerto entre otros.

Por su parte, usualmente los residentes permanentes son quienes asumen las labores de faenado y fileteado de las especies de escama que se capturan en este centro pesquero. Como consecuencia de una antigua bonanza en la actividad pesquera que se extendió hasta la década de los 80's, proliferó en este sitio una importante cantidad de Sociedades Cooperativas Pesqueras del sector social, de las cuales subsisten 6 organizaciones, que incorporan a los pobladores locales, y que tienen permiso para la pesca del camarón, sin embargo en la actualidad únicamente existen 45 pangas, pero a falta de recursos oportunos

para su avituallamiento o por la escasez de producto, a decir de los pescadores solo trabajan regularmente 6 u 8 embarcaciones, cada panga emplea entre dos y tres pescadores, y genera para cada pescador una remuneración semanal de aproximadamente entre \$600.00 a \$700.00 pesos libres, una vez que se ha cubierto el pago de insumos como la gasolina, lubricantes y el costo de mantenimiento del equipo.

La pesca se desarrolla tanto en mar abierto como dentro del estero; en mar abierto destacan como las especies de mayor interés, la jaiba *Callinectes bellicosus* cuya temporada de captura legal se limita a los meses de Julio y Agosto, así como del camarón blanco *Litopenaeus vannamei* y el azul *L. stylistrostris* que se pesca de Septiembre a Octubre; otras de las especies que se capturan en mar abierto son: Baqueta, *Epinephelus spp.*; cazón *Mustelus lunulatus*, corvina, *Scynoscion spp.*; berrugata, *Menticirrhus spp.* y chano, *Micropogonias megalops*; el período de captura de estas especies es aproximadamente de Noviembre a Abril. Adicionalmente, pero en menor medida se captura Tiburón Ángel *Squatina californica*; sierra, *Scomberomorus sierra* y eventualmente dorado *Coryphaena hippurus*.

Una de las especies que se captura durante casi todo el año es el caracol chino rosado *Hexaplex erythrostomus* y en menor volumen, el negro, *Muricanthus nigrilus*; también se captura pero no como especies principales a los caracoles de uña, *Strombus granulatus*, *S. gracilior* y con menor frecuencia el caracol burro *Strombus galeatus* y *Melongena patula*; en general la extracción de caracoles y algunas almejas es considerado por los pescadores como actividad de subsistencia en aquellos periodos en que no esta disponible el camarón, la escama o la jaiba, especies que sí consideran económicamente atractivas. El procesamiento del producto que se obtiene de la pesca lo realizan en áreas que acondicionan para esta actividad, se trata de sombreaderos rústicos con mesas de madera para el fileteo de las especies de escama; el producto terminado es conservado en cajas de vehículos acondicionadas como cuartos fríos o en hieleras abastecidas con hielo molido. Se comercializa aproximadamente el 90%, y solo el 10% es para autoconsumo. Los desechos que se generan en el faenado de pescado lo tiran en mar abierto para que esos desechos no sean un foco de contaminación en la comunidad; las conchas vacías de los caracoles se apilan en las inmediaciones del Poblado y se constituyen, por la capacidad de retener agua en su interior, en un riesgo sanitario en zonas donde abundan los mosquitos (Figura 13).



Fig. 13. Conchas de caracol Chino Rosa apilados en las inmediaciones del poblado constituyen un riesgo sanitario para sus habitantes.

Cuando no es época de captura de estas especies o cuando por las condiciones del clima es imposible salir a realizar esta actividad, los pescadores realizan el mantenimiento del equipo así como de las trampas, chinchorros, etc., sin embargo se reconoce por su parte que hay una importante cantidad de tiempo diario muerto o subutilizado, pero lo asumen como una compensación natural al alto grado de riesgo que lleva implícita su actividad que además exige iniciar jornadas de trabajo a las 4 o 5 de la mañana; en general, a pesar de los inconvenientes y la incertidumbre de su actividad los pescadores prefieren continuar en su actual actividad antes que dedicarse a trabajos alternativos o complementarios en tierra, ya que en general consideran que hay mayor pobreza entre los trabajadores de las áreas agrícolas aledañas.

En cuanto a las actividades dentro del estero podemos mencionar que existen 3 cooperativas que durante todo el año se dedican al cultivo del ostión *Crassostrea gigas* en charolas de plástico suspendidas en la columna de agua (Figura 14), también se capturan especies como el pargo, *Hoplopagrus guentheri*, *Lutjanus novemfasciatus*, y *Lutjanus* spp.; lisa, *Mugil cephalus* y *M. curema*; mojarra, *Eucinostomus* spp., y en menor medida cabrillas *Epinephelus* spp. y mantarrayas.



Fig. 14. Cultivo de ostión *Crassostrea gigas* en charolas suspendidas en la columna de agua.

En opinión de los pescadores, la pesca dentro del estero en décadas anteriores era mucho mejor a la condición actual; la Baqueta *Epinephelus* spp. se capturaba en cantidades importantes, de igual manera el Tiburón y el Dorado reportaban producciones abundantes e incluso la Caguama era presa frecuente y no era raro que una sola embarcación llegara a playa con varios individuos. Se menciona que hace algunos años los pescadores locales capturaban hasta 200 Kg. de camarón por día y aunque existe tendencia a exagerar la situación pasada, hay coincidencia entre los pescadores que hasta principios de los Noventa se tenían mejores condiciones de captura y reconocen que desgraciadamente ellos contribuyeron al actual deterioro el desorden y la sobre-explotación de especies que llevaron a cabo.

En años recientes este cuerpo de agua ha evidenciado un agudo problema de azolvamiento y cambios en los canales internos como consecuencia de la actual operación de granjas camaronícolas (Figura 15), lo que se ha expresado como una sensible disminución de sus capturas y argumentan, como soporte a dicha opinión la mejoría en la calidad del agua y la ligera recuperación en disponibilidad de especies que se presenta en los meses en que las granjas se encuentran secas.



Fig. 15. Áreas de manglar dentro del estero Los Mélagos cuyos canales tienden a secarse o modificarse.

Semana Santa es la época del año considerada como mejor por los pescadores ya que es cuando se da un gran flujo de visitantes a esta localidad por lo que los pescadores aprovechan para comercializar directamente su producto; sin embargo hay ambigüedad en cuanto al beneficio o perjuicio que respecto al turismo pudieran representar las granjas camaronícolas; por un lado aceptan que hay mayor mantenimiento a los difíciles caminos de terracería, pero por otro, argumentan que se ha intensificado el tráfico de vehículos pesados y eso al final de cuentas implica mayor deterioro de los accesos y no existen rutas directas que permitan a los visitantes llegar a la costa sin incursionar en las granjas o sin encontrar obstáculos o restricciones para desplazarse, y en su opinión, esto desalienta el flujo de personas al estero.

3.2.5 Limitantes para la actividad pesquera.

Aunque subsiste de manera precaria la actividad pesquera que se desarrolla en la localidad de los Mélagos ha estado expuesta en los últimos 10 años a una situación bastante difícil, debido, entre otras causas, a los siguientes factores que los propios pescadores consideran como los más relevantes:

- 1) En la actualidad ya no existen los programas de subsidios para la compra del equipo requerido para realizar esta actividad; la drástica eliminación de estos apoyos sin mediar un proceso gradual de transición golpeó la endeble economía del pescador, frecuentemente individuos carentes de nociones de administración y sin los ahorros elementales que les permitiera tener una base económica para responder, por si solos por equipos cuyo precio de mercado es bastante elevado para su adquisición y su mantenimiento.
- 2) Cada vez es mas frecuente el fenómeno de renta de embarcaciones; personas con capital suficiente tienen los medios de producción y los permisos necesarios y los rentan a los pescadores para que puedan realizar su actividad.
- 3) El intermediarismo.
- 4) El guaterismo.
- 5) El campo pesquero no cuenta con la infraestructura adecuada para la actividad como muelles de atraque, áreas especiales para el faenado, espacios refrigerados para almacenamiento del producto, seguridad sanitaria en la zona, caminos permanentes, electricidad, agua potable, etc.
- 6) El alto costo del combustible que los pescadores utilizan para esta actividad es una de las limitantes mas fuertes que tienen, y a diferencia de los armadores nunca ha habido un subsidio que ayude a amortiguar el alto costo que representa para cada embarcación la gasolina y el lubricante necesario para cada viaje de trabajo.
- 7) Los actuales caminos de terracería se encuentran en mal estado, pero son generalmente transitables por la mayoría de los vehículos de tracción sencilla, sin embargo en la épocas de lluvias el acceso se torna casi imposible, difícil incluso para vehículos con doble tracción o 4x4 por lo que en ocasiones el Poblado se queda incomunicado por espacio hasta de 7 días, lo que afecta en gran medida a las operaciones diarias de esta comunidad. Adicionalmente los pescadores exponen que el deterioro de las brechas ha aumentado debido al incremento en el tráfico y en el peso de los vehículos relacionados a las granjas camaroneras (Figura 16).



Fig. 16. Caminos inundados y de muy difícil tránsito en época de lluvia.

Por último se puede comentar que los pescadores que viven en esta comunidad de el Estero Mélagos aseguraron que ellos están a favor del desarrollo de la camaronicultura local, siempre y cuando esta actividad se practique de una manera ordenada y respetuosa de los otros usos productivos presentes en la zona, para que así el beneficio sea tanto para los inversionista que apuestan por la acuacultura, como para los pescadores, que en definitiva reconocen que dependen de que este estero recupere una mejor calidad ecológica para que de esta manera, aprendiendo de su experiencia, pueda ser explotado en una forma compatible con el ambiente y así aspirar a mejorar su condición socio-económica.

3.2.6 Situación del sector acuícola:

El deterioro de la calidad ambiental en el estero Los Mélagos constituye una desventaja para el productor de camarón local. Las granjas operan bajo condiciones de insuficiente disponibilidad de agua para garantizar los recambios que requieren las granjas conectadas al sistema Mélagos. Ello genera un círculo adverso que se distingue por un bajo rendimiento (regularmente menor o igual a 2 Toneladas de camarón entero por Hectárea), y por derivar en gastos defensivos frente a una pérdida de la calidad ambiental. Estos gastos defensivos, representados en forma de maniobras recurrentes para mejorar la calidad del agua durante las noches (como aireación mediante el uso de lanchas o jet skys), les genera a la larga una desventaja económica frente a otros productores. El rendimiento alcanzado, que no es suficiente para cubrir los costos de operación y amortiguar la deuda financiera de las granjas, también establece un contraste con aquellas granjas que operan en la costa central del Estado. Dichas granjas reportan (haciendo uso de la misma base tecnológica, pero optimizada) producciones de 4 a 6 toneladas de camarón entero por hectárea. Si a ello se suma un desfase en los apoyos oficiales para poder habilitar la producción, y a los precios fluctuantes que a veces ofrece el mercado, puede entenderse que algunas granjas se encuentren en situación económica muy precaria.

No todas las granjas locales trabajan con los mismos estándares de eficiencia y productividad. Las pertenecientes al sector privado se distinguen por un mayor nivel de organización respecto a las granjas del sector social. Esta diferencia les reporta una mayor capacidad de respuesta frente a la problemática ambiental del sitio. Es ejemplar por ejemplo, como la granja privada “11 de Diciembre de 1996 S.P.R. de R.I.”, cuenta con un muestreo sistemático de los parámetros que constituyen la calidad del agua para camarón. Disponen de una serie de tiempo de dos años para algunas partes del estero, lo que evidentemente les da una ventaja predictiva en caso de una situación ambiental adversa.

Por lo que respecta a las condiciones de la infraestructura, algunas de las granjas se construyeron sin considerar aspectos de ingeniería que serían fundamentales para la producción. El tamaño del canal reservorio es insuficiente para satisfacer las condiciones requeridas de recambio, además de que las profundidades son inadecuadas (menores a 1.20 metros como mínimo en estanques, por ejemplo), generando tales condiciones de exposición al sol, que las altas temperaturas resultantes pueden estar sinergizando algunos problemas sanitarios derivados del agua de mala calidad. En las condiciones actuales de canal reservorio y capacidad instalada de bombeo, no se alcanza a cubrir el volumen requerido para la

producción acuícola, y de hecho existen algunas granjas en situación de vulnerabilidad extrema (Sonora Mi Estado, S.P.R. de R.I., La Loma de Alberto S.P.R. de R.I. y Acuícola Castelo S.P.R. de R.I.). Estas granjas deben abastecerse de un canal que pasa por encima de un dren de descarga, pero la estructura que permite el paso del agua es muy pequeña para el volumen de agua requerido (Figura 17).

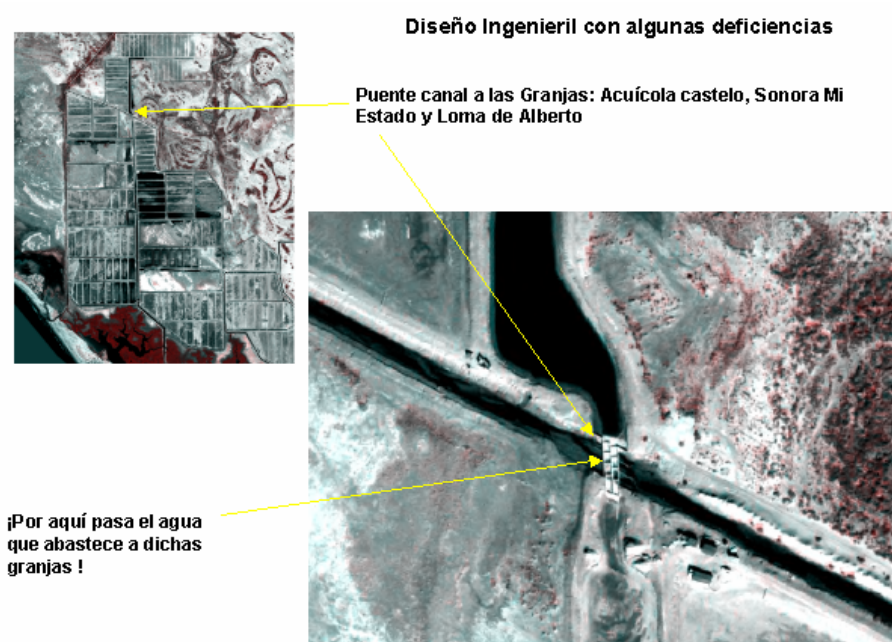


Figura 17. Paso a desnivel para el canal de llamada que evidencia fallas graves de ingeniería.

Se ha calculado que las granjas del parque acuícola Mélagos, requieren un volumen diario de $1,731,906 \text{ m}^3$ de recambio (considerando un 15 %), pero la capacidad de almacenaje del canal reservorio es de tan solo $888,876.894 \text{ m}^3$, adicionalmente la capacidad de las bombas no alcanza a llenar el volumen actual del canal de llamada en un periodo de 24 horas continuas de bombeo. Si se considera que este recambio de 15 por ciento tiene que darse, idealmente, entre las 10 de la noche y seis de la mañana, se sobre-entiende que la capacidad del canal queda bastante por debajo de lo requerido (su tamaño actual constituye apenas un 50 % del tamaño ideal), por lo que el canal reservorio tendría que ampliarse al doble, ya sea con más altura de los bordos de contención o con más sección transversal. También en algunos casos no se realizan las actividades requeridas de mantenimiento, por lo que la bordería y demás instalaciones se encuentran erosionadas y en muy mal estado (Figura 18).

También es evidente como las granjas imponen restricciones de acceso al campo pesquero. Se ha dado el extremo, incluso, de haber desviado el camino que conduce al poblado, obstaculizando definitivamente las posibilidades de acceso para camiones con

capacidad de refrigerar los productos pesqueros. La instalación de las granjas significó la interrupción del camino original y la destrucción de la tubería que conducía el dulce al Tináco del Campo Pesquero Los Mélagos. Por lo que respecta al camino, los granjeros se habían comprometido a habilitar una nueva ruta de acceso, pero no se ha concluido. Se construyeron algunos puentes para facilitar el acceso en tiempo de lluvias, pero se encuentran prácticamente abandonados (Figura 19). Por lo que respecta a la infraestructura para la conducción del agua dulce, los habitantes del campo pesquero se quedaron sin este servicio.



Fig. 18. Detalle de estructura de desagüe en una de las granjas locales. Se observa deterioro del bordo.



Fig. 19. Detalle de puente en el camino que conduciría a Mélagos.

Las condiciones de trabajo en las granjas son muy heterogéneas. Si bien todas se caracterizan por sus extensas jornadas (hasta doce horas diarias) y su marcada estacionalidad (ciclos que duran usualmente entre 7 y 8 meses al año), no todas reúnen las mismas condiciones de higiene y comodidad para el personal de trabajo. Algunas, fundamentalmente del sector privado, cuentan con dormitorios y comedores más o menos cómodos, contruidos de materiales como block y ladrillo. Otras, principalmente del sector social, se distinguen por construcciones precarias o de bajo equipamiento. Naturalmente estas condiciones influyen en la calidad de vida de los trabajadores.

3.2.7. Factores naturales y antropogénicos que conducen el deterioro del paisaje costero en el sistema Mélagos-Nalga de Hule y su cuenca de drenaje.

Los incisos anteriores describen una problemática ambiental compleja, que tiene causas históricas rastreables desde los inicios de la transformación agrícola de la cuenca, y desde los primeros años de instalación de la acuacultura en la zona. La presión del desarrollo de la región ha modificado mas del 85% de la superficie total terrestre contenida en la franja de 50 km a partir de la línea de costa. Estas transformaciones, que no son ajenas a la cuenca del sistema costero Mélagos-Nalga de Hule, dejan entrever los factores naturales y de presión humana que conducen los cambios del paisaje costero. Estos factores serían, por tipo de ambiente:

3.2.7.1 Para el Ambiente Terrestre:

- Un intenso represamiento y encauzamiento del Río Yaqui, que modificó los procesos naturales de flujo de biota, materiales, nutrientes y energía, hacia los ambientes costeros y marinos.
- Un cambio en los patrones naturales de escurrimiento debido a las modificaciones de la cuenca agrícola y las alteraciones de los cauces.
- Un importante volumen de aguas residuales de carácter agro-industrial y urbano, drenado hacia el mar. Estos drenes alcanzan la playa y el ambiente marino y su impacto acumulado es evidente en los sistemas costeros. Este es el caso del Dren Colector Número 3, que descargando próximo al estero Mélagos, alcanza a inundar su cabeza noroeste.
- Cambios consecuentes en la morfología y estructura de los sistemas costeros (modificando planicies deltáicas, lagunas costeras, patrones de depósitos aluviales, etc.), afectando la biodiversidad y comunidades vegetales asociadas. Estas han transitado de vegetación característica de ambientes riparios dulceacuícolas o salobres, a vegetación distintiva de ambientes salobres e hipersalinos.
- La insuficiencia de infraestructura de tratamiento de aguas residuales y desechos sólidos, que sumado al factor cultural, repercute en la proliferación de tiraderos a cielo abierto y la incidencia de fauna nociva.
- La explotación intensa de los bosques relictos de matorral espinoso, principalmente de Mezquite y Palo fierro; utilizados para la producción de carbón y leña. Sus niveles de

explotación han incrementado la vulnerabilidad de los hábitats críticos para la biota local y migratoria.

- La pérdida de cubierta vegetal ha reducido el potencial de infiltración de agua de origen pluvial al subsuelo y favorece el escurrimiento, la velocidad del torrente, y la erodabilidad de los suelos.

3.2.7.2 Para el Ambiente Costero:

- Las granjas acuícolas demandan prácticamente el 100% del agua de recambio diario por marea. El estero se ha convertido en un mero intermediario para conducir el agua a la estanquería, no le queda agua disponible para sus necesidades y servicios ambientales.
- El efecto físico de la operación de las obras de toma se refleja en cambios en el patrón de circulación del estero, en un aumento en el transporte de sedimentos dentro del cuerpo de agua y un cambio en la morfología, estructura y estabilidad de la boca del sistema lagunar.
- Las descargas de catorce granjas acuícolas se dirigen hacia el Dren Colector Número 3, que a su vez conduce aguas residuales de origen urbano e industrial. Este dren descarga en el frente de playa, pero alcanza a inundar el interior del estero.
- La suma de efectos, principalmente los referidos a cambios en la hidrodinámica del estero, la alteración en el patrón natural de escurrimientos y la influencia del dren, se traducen en una pérdida sustancial de áreas de manglar, y en un cambio en la estructura, composición y abundancia de las comunidades bióticas remanentes.
- La pérdida de manglar y de cubierta vegetal en general dentro de esta zona de operación de las granjas camaronícolas reduce su capacidad natural para servir como amortiguador o protector ante eventos naturales extremos, como marejadas, huracanes o lluvias.
- La posibilidad de mezcla de agua del Dren Colector Número 3 con el agua del interior del Estero Mélagos, incorpora un riesgo sanitario para las poblaciones silvestres, para los organismos en cultivo y para la salud de los consumidores. Este riesgo podría tener repercusiones muy graves para la misma actividad y para los consumidores de productos pesqueros locales.

3.2.7.3 Para el Ambiente Marino:

- Cambio local en el patrón de circulación litoral debido al azolvamiento y cambio en la configuración de la boca del estero.

- La intrusión de agua contaminada proveniente del Dren Colector Número 3, a cuya carga orgánica y de compuestos no deseados de origen urbano e industrial habría que sumar la carga orgánica derivada de las propias granjas.

3.3 Alternativas de solución a la problemática ambiental del sistema costero y su cuenca de drenaje.

Los factores anteriores configuran una situación crítica que tiende a agravarse con el tiempo. La persistencia del modelo agrícola de la cuenca, y una intensa transformación del territorio para uso acuícola, no permiten pensar en cambios auto-inducidos de corto plazo. De continuar la tendencia actual, es de esperarse que el deterioro de sistemas costeros como Mélagos-Nalga de Hule se incremente, con evidentes repercusiones de carácter económico y social para los sectores usuarios de sus recursos. En ese sentido, si bien es cierto que algunas medidas de corrección deben enfocarse sobre las causas regionales del deterioro ambiental, su complejidad no permite pensar en soluciones de corto plazo. Harían falta cambios jurídicos, culturales, de infraestructura, y tecnológicos, tales que la cantidad de sectores a involucrar dificulta su viabilidad en el corto plazo. Ante esta panorama, sin soslayar la importancia de las medidas de carácter regional, resulta mucho más viable por lo pronto, implementar medidas locales de mitigación del deterioro que permitan asegurar la integridad del sistema costero, su funcionalidad en el tiempo, y la permanencia de las actividades económicas que dependen de su calidad ambiental. Visto en esta perspectiva, la construcción de una escollera y obra de toma que mitigue las condiciones de deterioro del sistema, y el reencauzamiento de las aguas drenadas por el dren colector número tres, se convierten en medidas no sólo deseables, sino también urgentes. La escollera permitiría asegurar un abasto de agua para las necesidades ambientales del estero, mientras que el reencauzamiento del dren eliminaría un factor de estrés ambiental que agrava las condiciones locales. Ambas medidas mejorarían las condiciones ecológicas y capacidades productivas del sitio. También permitirían disponer de agua de calidad para el sector acuícola, contribuyendo de esta manera a su fortalecimiento y sano desarrollo.

Sin menoscabo de la importancia que merecen otro tipo de medidas, los contenidos subsecuentes del apartado **RESULTADOS PARTE 1 COMPONENTE AMBIENTAL Y SOCIOECONÓMICO** discutirán una serie de consideraciones ambientales que deben incorporarse durante el proceso de selección de sitio y planeación de la escollera. Estos contenidos subsecuentes, inician con un análisis de los componentes ambientales a considerar para que el impacto ambiental de la obra sólo resulte benéfico. Coherente con este

propósito, se discuten modelos descriptivos que permiten establecer cuales son los componentes y funciones ambientales relevantes a nivel de sistema marino, dunas y estero, que se afectarían potencialmente por la construcción de esta obra de toma (Figuras 20, 21 y 22). Dichos modelos identifican componentes ambientales que definen la vulnerabilidad del sistema costero, y que fueron considerados durante la planeación de la obra y proceso de selección de sitio. Posteriormente se describirán los tres sitios propuestos, finalizando con la identificación del sitio más recomendable en una perspectiva de minimizar los impactos ambientales.

3.4. Componentes ambientales relevantes para la planeación y selección de sitio: un análisis de elementos vulnerables a nivel de ecosistema.

3.4.1. Ecosistema marino frente al estero Mélagos: funciones ambientales y afectaciones potenciales por la construcción de una obra de toma.

La figura 20 esquematiza el funcionamiento del sistema marino frente a Mélagos. Constituye un modelo descriptivo que no pondera los pesos de cada variable en el funcionamiento real del sistema, pero establece las rutas e interrelaciones que tienen los distintos elementos físicos, biológicos y químicos que lo conforman. Coherente con lo que se ha reportado en la literatura, el modelo reconoce que los factores determinantes del funcionamiento ecológico en zonas márinas son de orden físico (corrientes litorales, amplitud de marea, intensidad o violencia del oleaje, exposición al sol, tipo de sustrato y escurrimientos continentales), estos modulan dinámicas biológicas y de naturaleza química que permiten el flujo de nutrientes, diversidad y riqueza de especies, y productividad global del sistema (Margalef, 1981).

Son las corrientes litorales y los escurrimientos terrestres quienes permiten un aporte relativamente constante de nutrientes a la zona, mientras que el oleaje permite la estratificación, movimiento del agua, y resuspensión de sedimentos que se han depositado por la vía detrítica. Parte de estos sedimentos resuspendidos se encuentran bio-disponibles para los productores primarios por acción de la biogeoquímica local, favoreciendo el afloramiento de poblaciones fitoplanctónicas y comunidades de fanerógamas marinas en el fondo, con un crecimiento posterior de los eslabones tróficos superiores. Otra parte del detritus, que puede ser significativa, puede estarse incorporando a los ciclos biológicos locales por consumo directo de algunas especies bentónicas.

De acuerdo al modelo, los trabajos y modificaciones requeridas por la construcción de una escollera pueden tener un efecto directo en dos componentes del sistema: 1) Material y nutrientes disueltos en la columna de agua, 2) Morfología litoral. En el primer caso, la realización de un dragado podría resuspender a tal grado la materia orgánica depositada en el fondo, que se originarían condiciones limitantes de luz para los productores primarios. Esto a su vez tendría un efecto en cascada sobre otros eslabones de la cadena alimenticia, originando la migración de los organismos pelágicos o la muerte de los organismos bentónicos con poca movilidad. Si las condiciones de corriente litoral no aseguran la remoción rápida de las partículas suspendidas, puede inferirse fácilmente una disminución global en la productividad de la zona marina. Ello puede tener repercusiones en la estacionalidad y zonación actual de la actividad pesquera. Si estas condiciones persistieran, afectarían de manera negativa bombeos posteriores de las granjas acuícolas, cuando el cárcamo entrara en operación. Dependiendo del sitio elegido para la realización del dragado, la corriente litoral o el efecto del flujo de mareas podrían ingresar los sedimentos suspendidos por la boca del estuario Mélagos, cambiando sus condiciones biogeoquímicas, afectando su productividad global, y reduciendo aún más la capacidad de acogida para actividades como la acuicultura, que dependen estrechamente de la calidad ambiental del estero como un insumo de producción.

3.4.2 Ecosistema de barra costera y dunas: afectaciones potenciales por la construcción de una obra de toma.

La figura 21 resume los componentes físicos y procesos asociados a la formación de las dunas en la zona de estudio, así como los elementos sensibles a la construcción de una obra de toma para las granjas acuícolas. El modelo reconoce a la arena transportada por la corriente litoral, y las condiciones de viento, como los factores primarios que definen el patrón local de erosión-acreción. La arena transportada se acumula por vegetación u obstáculos físicos que favorecen la depositación y formación subsecuente de dunas, si estas se colonizan por vegetación tienden a estabilizarse, mientras que su tamaño también se determina por la velocidad de las corrientes de viento y por el límite superior de la marea más alta (Boorman, 1977). El viento originará formas convexas para el sotavento de las dunas, y formas concavas para el barlovento; mientras que si sus corrientes no son muy fuertes, se formarán pequeñas arrugas, las más jóvenes con dirección al mar.

La colonización de especies vegetales favorece su estabilización y la disponibilidad de hábitat para avifauna costera, reptiles, y pequeños mamíferos. Si la duna es estable protege

el ecosistema estuarino de vientos y tormentas moderadas, contribuyendo a un ambiente favorable para los productores primarios y el resto de la cadena trófica. Por el contrario, si se rompe la estabilidad de la duna por remoción de la cobertura vegetal que la protege (construcción, caminos, infraestructura), esta puede migrar muchos metros tierra adentro, disminuyendo la superficie inundable y volumen de agua ingresado por mareas al estuario. En algunos casos esta ruptura de la estabilidad no precisa necesariamente de una remoción completa de la vegetación, pues la sola exposición al sol de las raíces de las plantas, debido a la apertura de más veredas para acceder a la playa, puede afectar su velocidad de crecimiento y regeneración (Priskin, 2003). Con ello se afecta indirectamente la estabilidad de la geoforma. Si esto sucede, la duna migrará y tendrá afectaciones potenciales directas a la infraestructura construida (caminos, casas, drenes de granjas acuícolas), además de una repercusión en los ciclos biogeoquímicos y condiciones de calidad del agua del cuerpo costero. Ello reduciría la capacidad del estero para soportar actividades humanas.

El modelo permitió identificar dos componentes sensibles a la alteración humana por la construcción de una escollera: 1) Alteración en las condiciones de la corriente litoral y disminución potencial del sedimento transportado que alimenta a la duna; 2) Remoción de la cobertura vegetal y rompimiento de las condiciones de estabilidad de la geoforma. La habilitación del sitio e instalación de la obra deberá prever acciones para evitar cambios significativos en ambos componentes. El análisis de las imágenes indicó, por lo pronto, que las dunas menos estables parecen localizarse alrededor del sitio propuesto al norte de Mélagos, mientras que las más estables parecerían localizadas entre la boca del estero Mélagos y la boca del estero Santo Domingo.

3.4.3 Ecosistema estuarino y afectaciones potenciales por la construcción de una obra de toma.

La figura 22 describe las interrelaciones de los principales componentes físicos del estero Mélagos. El modelo es general, y los componentes ambientales descritos pueden tener una relevancia distinta a nivel de las unidades funcionales que componen al estero (Boca, Estero la Pitahaya, Estero Tapo Grande, Estero Nalga de Hule y Cabeza del Estero). Las condiciones actuales indican que el movimiento de mareas a través de la boca constituye el componente ambiental que define la funcionalidad general del estuario, por lo que afectaciones potenciales a la morfología litoral, derivados de un cambio en las condiciones locales de la corriente, inducirán efectos en cascada sobre otros componentes asociados.

En principio la selección inadecuada del sitio para la construcción de la escollera y obra de toma, puede afectar los patrones de erosión o depositación del litoral, con una modificación potencial de la forma o tamaño de la boca, y un efecto posterior en la funcionalidad global del estuario.

Una reducción en el tamaño de la boca disminuirá el ingreso de agua de mar, incrementará aún más el tiempo de residencia de los materiales exógenos y cambiará la biogeoquímica lagunar. Estos cambios a su vez tendrán un efecto negativo en la productividad del sistema, así como en su capacidad para soportar actividades humanas. El efecto se combinará con la tendencia actual de salinización del sitio (derivada también de un decremento en los aportes de agua dulce), mortandad de especies no tolerantes de alta salinidad y disminución de la disponibilidad de hábitat para especies de importancia pesquera, ecológica o carismáticas. En la actualidad, la boca del estero se está ampliando, pero su profundidad ha disminuido paulatinamente. Dicho fenómeno afecta la disponibilidad de agua que corre por los canales de marea, particularmente en los canales secundarios y áreas inundables supralitorales. La construcción de un canal de llamada que atraviese y subdivida el estuario puede aislar todavía más del efecto de mareas, y cambiar localmente los patrones de inundabilidad por agua de escorrentías continentales. En tal caso tiene que seleccionarse una zona que no represente impactos a la conectividad ecológica, y al funcionamiento de patrones hidrológicos que favorecerían la productividad global.

Las condiciones actuales de bombeo acuícola del estero, parecen estar afectando la disponibilidad de agua en las partes mas distales de la boca, hacia la cabeza noroeste del sistema. Esta condición, variaciones en los ingresos de agua dulce por la ribera continental, y un cambio en la cantidad de terrígenos ingresados desde las tierras agrícolas de la cuenca, explicarían la salinización de superficies extensas en esta zona, y el colapsamiento de los brazos secundarios del estero. Ello se refleja en la evidente mortandad de mangle y dominancia de especies vegetales que toleran muy alta salinidad. También se corrobora por un proceso de azolvamiento general de todo el sistema, mucho más acentuado en los brazos secundarios La Pitahaya y Estero Los Mélagos (Figura 23), hoy conocidos como “La Cienita” por los pescadores locales.

Los bombeos acuícolas tienen un efecto de succión sobre el volumen de agua disponible en los canales principales (estero Nalga de Hule y Tapo Grande), pero reducen todavía más el volumen ingresado a canales secundarios. Aunque generan una aparente

mayor disponibilidad de agua en los canales principales durante cada periodo de bombeo, no permiten el tiempo suficiente para estimular los procesos locales de productividad primaria, y convierten al estero en un mero intermediario entre las granjas y el mar. La alta dinámica de recambio por los canales principales también impide la satisfacción de necesidades básicas del estero en una perspectiva ambiental. Dada las condiciones de la boca, los acuacultores tienen que sincronizar sus bombeos con los periodos de marea alta, independientemente de que no se requiera agua de buena calidad en ese momento. Por el contrario, pueden requerir agua en horas de la madrugada, pero si la altura de marea es insuficiente, tendrán que aplicar medidas subsidiarias (aireación mecánica, movimiento del agua con lanchas o jet sky, fundamentalmente) para paliar las condiciones ambientales adversas. Estas medidas subsidiarias generan un gasto defensivo a la disminución de la calidad ambiental del estero, percibido empíricamente por los acuacultores, pero no cuantificado todavía en términos monetarios. La obra de toma fuera del estero permitiría disponer de agua en todo momento y evitaría muchos de los gastos defensivos actuales. También facilitaría la residencia de las aguas marinas ingresadas por la boca durante la pleamar, y contribuiría a mejorar en el mediano plazo la funcionalidad ecológica de todo el sitio. Esta obra de toma, sin embargo, no debe amenazar la estabilidad de la boca ni de la barra arenosa que protege al estero.

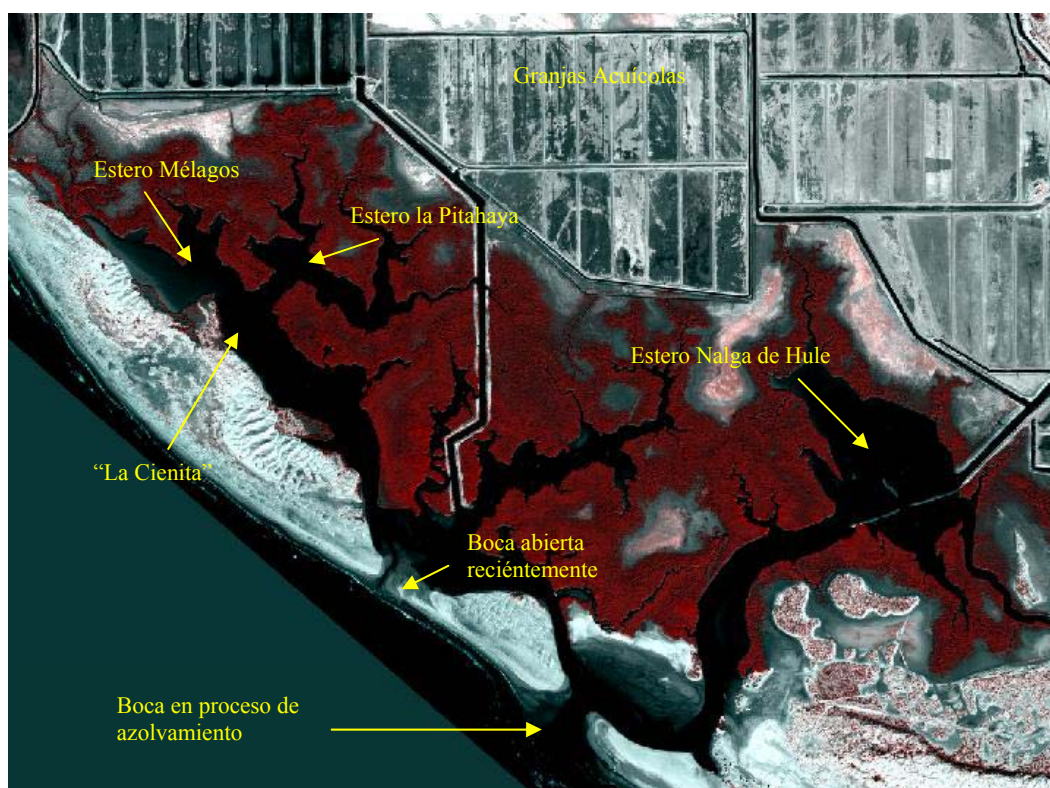


Fig. 23. Esquema que muestra las zonas con mayor azolvamiento y otros elementos de ubicación en el sistema costero Mélagos-Nalga de Hule. Destaca cabeza noroeste "La Cienita".

Los pescadores locales refieren, de manera empírica, que las condiciones de azolvamiento han modificado la estructura y productividad global del ecosistema; pues la diversidad y abundancia de las especies de pesca ha disminuido. Si bien históricamente se registraban capturas de organismos propios de fondos consolidados en algunos brazos del estero (Ostiones, Pargos, etc.), hoy su captura se ha vuelto incidental. Por lo que respecta al volumen de las capturas actuales, se ha pasado de un volumen que aseguraba la rentabilidad económica (200 Kg de Lisa por jornada de pesca hasta hace unos cinco años) a un volumen y tipo de capturas que sólo permite el autoconsumo o ventas marginales de poca utilidad (50 Kg de lisa muy pequeña, para carnada, en la actualidad), a la vez que revela un cambio en las condiciones de fondo. Estos cambios les han generado una disminución en sus condiciones de calidad de vida.

3.4.4 Componentes ambientales relevantes a nivel de macrosistema: elementos nodales que ligán el funcionamiento de la zona marina, duna y estuario en Mélagos.

La identificación de los componentes ambientales relevantes a nivel de macrosistema, es una referencia obligada para elegir el sitio de instalación de una escollera bajo una perspectiva ambiental y de prevención de impactos. El análisis de los modelos indica, a nivel local, que los elementos nodales fueron:

- a) Corriente costera: por su papel en el aporte de nutrientes y como su efecto diluyente de contaminantes y materiales suspendidos en la columna de agua.
- b) Transporte litoral, que determina los Patrones de erosión-acreción, configurando la morfología litoral y aportando material para la formación de dunas,.
- c) Cobertura vegetal: que favorece la disponibilidad de hábitat al interior del estero, el reciclaje de nutrientes, estabiliza dunas y frentes de avance del manglar, y protege la infraestructura construida de condiciones extraordinarias de tormenta.
- d) Detritus y sedimentos depositados en el fondo marino: que contribuyen a la biogeoquímica costera, disponibilidad de nutrientes para los productores primarios, y que en condiciones de resuspensión pueden limitar las condiciones de luz y afectar la productividad global.

Estos elementos nodales ligán el funcionamiento de los tres ecosistemas, y son a su vez factores que definen la vulnerabilidad global a los impactos ambientales por la instalación de la obra. Coinciden con otras variables para la selección de sitio en una perspectiva de

ingeniería (profundidad, pendiente, accesibilidad, corrientes costeras, etc.), pero constituyen variables prioritarias desde una perspectiva ambiental. Su alteración tendría repercusiones directas al interior de un ecosistema particular, e impactos en cascada sobre los ecosistemas restantes. Destacan los impactos que derivan de afectar factores físicos como transporte litoral y corrientes. Como se ha reconocido en numerosos estudios (Barnes, 1977; DGIP, 1981; GESAMP, 1993; Aldeco y Salas, 1994; Viles and Spencer, 1995), estos determinan mucho de la capacidad de un cuerpo costero para acoger la construcción de infraestructura.

A diferencia de los factores anteriores, la cobertura vegetal, y los detritus y sedimentos, tienen contribuciones mucho menos evidentes para la estabilidad del macrosistema, pero también son relevantes. Además de su importancia para las cadenas tróficas y la productividad primaria, ambos aportan funciones ambientales que se incorporan cotidianamente en las actividades que dependen del estero. El bio-tratamiento de aguas residuales que escurren por la margen noroeste, y el control de la erosión brindado por el manglar en condiciones de tormenta; representan contribuciones que tampoco deben soslayarse durante la selección de sitio.

3.4.5 Otros componentes ambientales críticos.

Además de los elementos que ligan el funcionamiento de dunas, estero y porción marina, los modelos mostraron la existencia de otros componentes que también conducen la evolución del ecosistema bajo las condiciones actuales de presión, y que deben considerarse prioritariamente durante el proceso de selección de sitio. Un elemento básico, que no aparece necesariamente en los tres ecosistemas, pero que determina calidad ambiental y capacidad de respuesta del estero, son los escurrimientos continentales. Estos constituían un aporte de nutrientes y agua dulce que favorecía la productividad y procesos ecológicos del sitio, pero fueron modificados inicialmente por las transformaciones agrícolas de la cuenca. La construcción posterior de infraestructura acuícola impuso bloqueos adicionales a los antiguos escurrimientos, cortando significativamente el ingreso de nutrientes y agua dulce para el sistema. Los ingresos de agua dulce actuales, derivados del aporte que representa el dren colector número tres, no satisfacen las condiciones de calidad requerida para la funcionalidad del estero. Sus aguas ricas en carga orgánica y urbana-industrial, significan más un factor adicional de presión que un elemento benéfico. En este sentido, la infraestructura propuesta debe evitar la ruptura de los escurrimientos hidrológicos remanentes, así como minimizar la presión ambiental que actualmente ejerce el dren colector número tres.

Existen además elementos ambientales que pueden jugar un papel básico para sostener el funcionamiento de ecosistemas o comunidades locales, contribuyendo de manera relevante a la estabilidad general. La conectividad ecológica de algunos ecosistemas relictos puede definir la resiliencia de un sitio particular frente a los impactos ambientales derivados por la construcción de una nueva obra o actividad humana (Farina, 1998). No son pocos los trabajos que han documentado como la pérdida de conectividad ecológica determina la abundancia y riqueza de especies en un ecosistema particular (Kattan *et al* 1994, Wilcove 1985, Leimgruber *et al* 1994), y como dichos valores definen en muchos casos la funcionalidad de un ecosistema. De esta manera, a nivel local, el aislamiento impuesto a parches de matorral espinoso, o incluso a ciertos parches de manglar por consecuencia de la infraestructura ya instalada, constituye un factor adicional para la selección de sitio y propuesta de medidas mitigatorias a la nueva obra. Cualquiera de los sitios elegidos debe satisfacer condiciones mínimas de conectividad que aseguren el flujo y supervivencia de especies o poblaciones potencialmente impactadas por su trazo.

3.5 . Descripción ambiental a nivel de sitio:

3.5.1 Sitio propuesto para la escollera sur.

El sitio propuesto para la escollera sur (Figura 24) se distingue por la presencia de tres geoformas bien diferenciadas topográficamente, y con importantes variaciones de cobertura vegetal. La primera geoforma, una marisma intermareal que forma parte del subsistema Nalga de Hule; se encuentra sustancialmente modificada por infraestructura acuícola. Algunos de sus canales de marea fueron transformados por la construcción de un canal de llamada a las granjas acuícolas, y por los drenes de salida al estero Santo Domingo. Los canales no modificados experimentan un proceso de azolvamiento acelerado, con una disminución gradual de la productividad pesquera. Las zonas no transformadas se encuentran cubiertas por bosque de manglar, fundamentalmente de las especies *Rizophora mangle* y *Avicennia germinans*, con una distribución espacial que obedece las condiciones de inundabilidad, calidad del agua y salinidad dominante. *Rizophora mangle* se encuentra bordeando los canales de marea, mientras que la segunda especie se encuentra más alejada de la superficie inundable. Debe decirse que esta comunidad de manglar formaba un parche continuo con los manglares del estero Santo Domingo, pero las transformaciones por acuicultura, y probablemente la alteración del patrón hidrológico natural, han fragmentado este parch

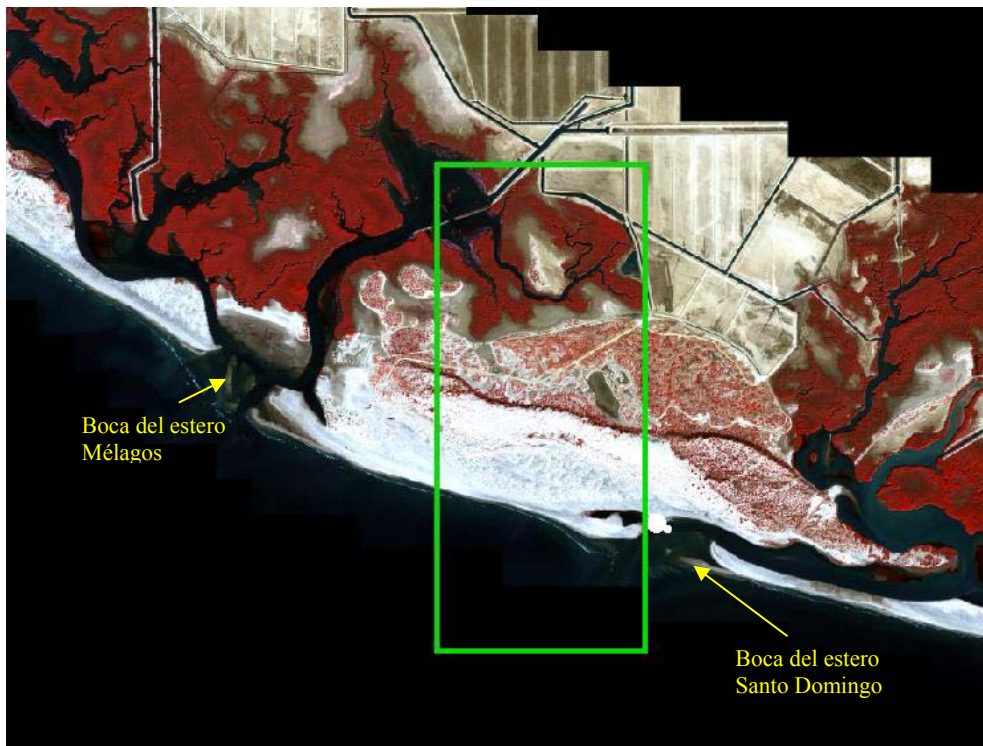


Fig. 24. Sitio propuesto Escollera Sur. El rectángulo verde enmarca el área inmediata de afectación del proyecto.

La segunda geoforma se constituye por un conjunto de dunas aparentemente estables, subdivididas espacialmente por su altura y orientación geográfica. Hacia el sur forman una barrera arenosa de más de tres mil metros de longitud, que corre de este a oeste (desde la boca del estero Santo Domingo, hasta casi alcanzar la boca del estero Mélagos) con una altura máxima de diecinueve metros. Al norte de esta barrera arenosa, por el barlovento, se encuentra un conjunto de dunas más pequeñas que colindan con el estero, y que tienen una altura promedio de dos metros. Estas dunas están cubiertas por una asociación de matorral espinoso y vegetación halófila (Figura 25). Por el sotavento se presenta una playa arenosa con muy poca vegetación. Esta playa arenosa tiene importancia recreativa y turística durante los días de Semana Santa. Por lo que respecta a las perturbaciones, no se observa modificación aparente en el sistema de dunas o playa arenosa, salvo la fragmentación asociada al trazo del camino que conduce al Campo Pesquero Mélagos. Se considera que este problema es de baja relevancia, debido a que el camino se construyó sobre áreas naturalmente desprovistas de vegetación. El camino tampoco parece afectar los patrones de circulación hidrológica durante las lluvias.



Fig. 25. Aspecto de la vegetación que cubre el sistema de dunas.

La boca del estero Mélagos localizada al norte del sitio propuesto, está migrando hacia el oeste (Figura 26 a y b). Ha experimentado una reducción progresiva de profundidad, particularmente evidente desde el año 2001 (año del último huracán que azotó la zona). El azolvamiento obstaculiza la entrada de agua al sistema, y aunque es parcialmente compensado por el efecto de succión de agua marina que representan los bombeos acuícolas, se constituye efectivamente en un elemento crítico para sostener la productividad y actividades humanas en el estero.

Las condiciones oceanográficas en el área propuesta se corresponden con la descripción general que se enunció al inicio del escrito.

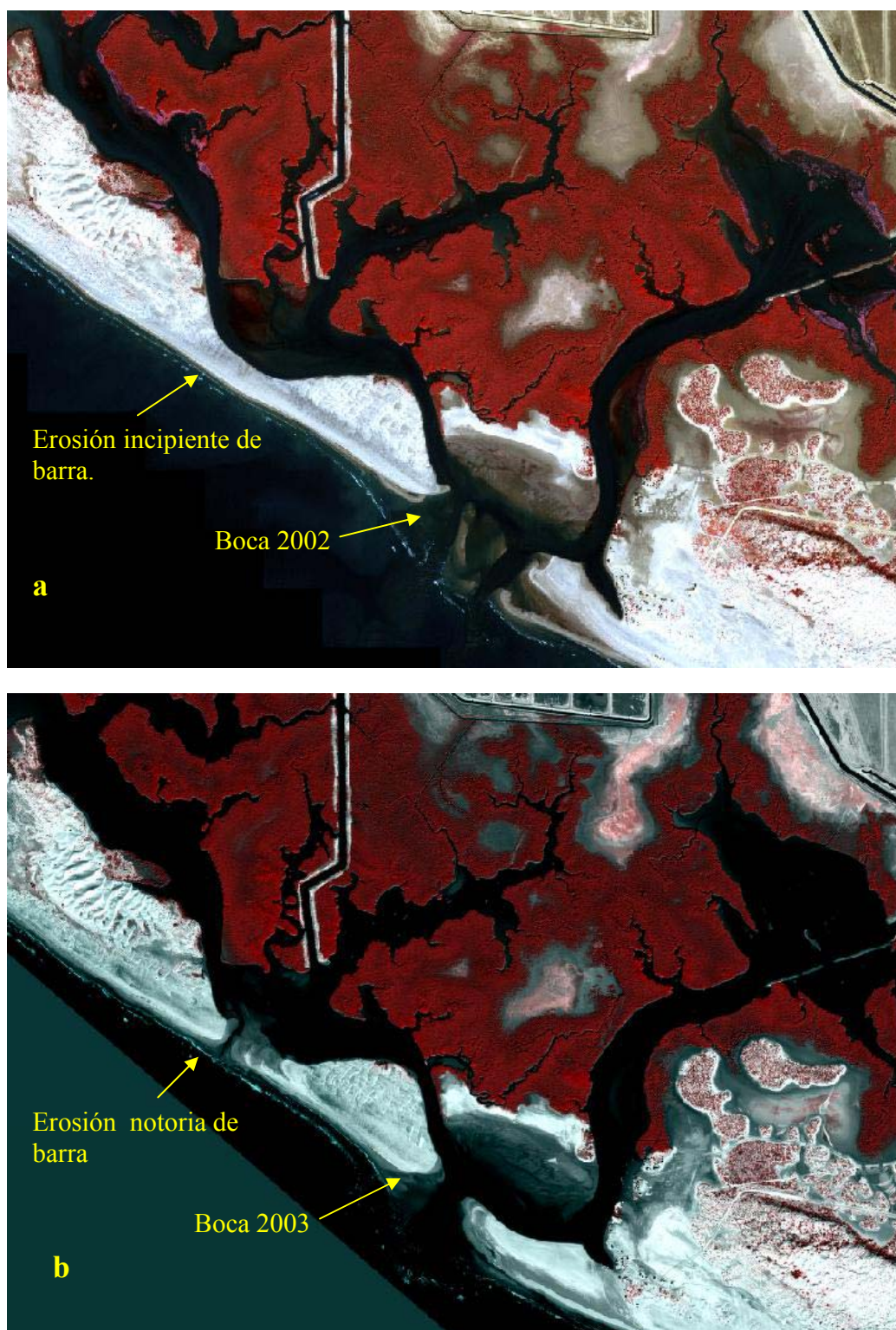


Fig. 26. Cambios de la morfología litoral. a) Boca y barra arenosa que protege al estero en el año 2002; b) Boca y barra arenosa en el año 2003.

Las condiciones de profundidad imperantes en el sitio Escollera Sur, que son sumamente importantes para la planeación de la obra (fundamentalmente entre los 0 y -3.5

metros), indican menos ventajas económicas y ambientales respecto a los dos sitios restantes. La pendiente media de este sitio (0.8 % respecto a 1.3 % en el sitio Escollera Norte y 1.11 % en el sitio Escollera Centro), muestra que se requeriría un mayor volumen de material rocoso para la obra que en cualquiera de ambos, además de una mayor superficie de afectación potencial de comunidades bentónicas. Las condiciones oceanográficas en el área propuesta se corresponden con la descripción general que se enuncia en el apartado 4.2. **(RESULTADOS PARTE II, PROYECTO EJECUTIVO-TÉCNICO)**, pero por lo que se refiere a variables bióticas, la inexistencia de zonas aledañas de pesca sugiere condiciones ordinarias de productividad.

3.5.2 Sitio propuesto para la escollera centro.

El sitio propuesto para la Escollera Centro se localiza sobre una barra arenosa que tiene una extensión cercana a los cuatro mil metros (Figura 27). Aunque la topografía es relativamente plana en el área tentativa del proyecto, la barra arenosa presenta una superficie con dunas que van incrementando su altura hacia el sureste (alcanzan hasta 11 metros en la porción central de la barra). El análisis de imágenes de alta resolución para la zona indica que estas dunas tienen una aparente menor estabilidad que las dunas situadas entre la boca de Mélagos y la boca del estero Santo Domingo. No se observan perturbaciones como trazo de caminos y despalmes, por lo que ello podría atribuirse, de manera natural, a su menor cobertura vegetal, un ángulo distinto de incidencia del viento, y a una distinta tasa de aporte de sedimentos.

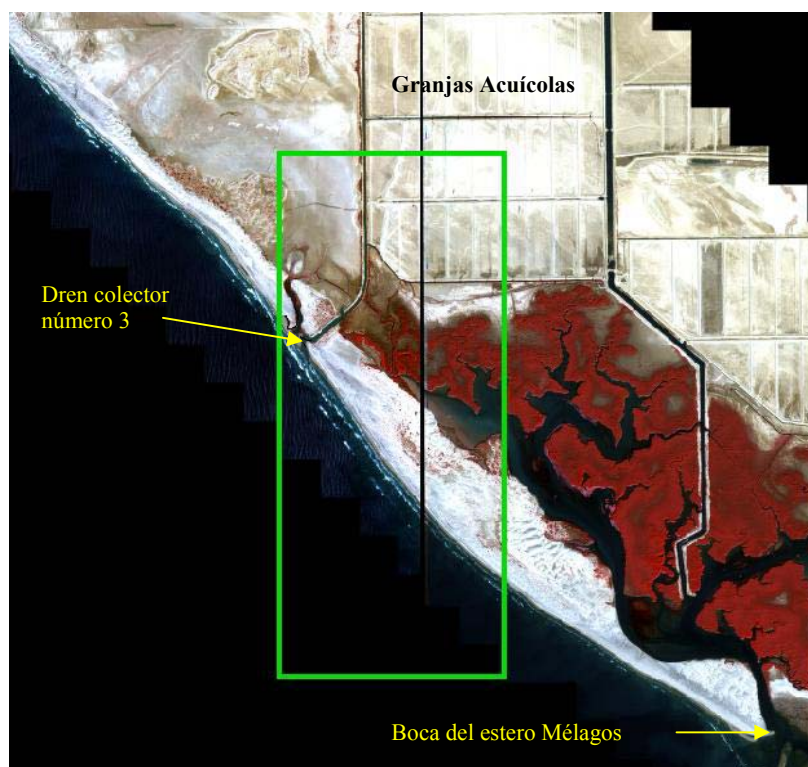


Fig. 27. Sitio propuesto Escollera Centro. El rectángulo verde enmarca el área inmediata de afectación del proyecto.

Se dispone de imágenes con resolución de 30 a 60 metros para las décadas 70-90s, correspondientes al área de estudio. No se aprecian cambios significativos de la morfología litoral durante ese periodo; pero un análisis posterior con imágenes de más alta resolución para el periodo 2000-2003 refleja dos fenómenos interesantes:

- 1) La apertura de una nueva boca frente al estero Tapo Grande. Esta nueva boca, que los pobladores locales atribuyen a condiciones de tormenta, tiene una extensión aproximada de 128 metros.
- 2) Un aparente proceso de erosión general en el área inmediata a la nueva boca y en el extremo sur de la barra. De hecho en el extremo sur la barra parece haber retrocedido poco más de 260 metros.

Aunque el comportamiento histórico de la barra muestra una aparente estabilidad durante las décadas 70-90s, los fenómenos observados a partir del año 2000 (También esquematizadas en la figura 26 a y b) son muy importantes de considerar para la construcción

de una escollera. Esta obra podría modificar la dirección y periodicidad de los cambios, acelerando en el peor de los casos la velocidad de azolvamiento. De ocurrir este fenómeno, las repercusiones en la funcionalidad ambiental del estero serían muy severas, particularmente para los pescadores y las granjas acuícolas que no pudieran disponer de agua del nuevo canal de llamada. Además de los impactos ambientales, pueden preverse conflictos sociales de muy difícil solución. En tales circunstancias, debe enfatizarse que la obra propuesta debe minimizar los impactos negativos, así como contribuir a la estabilidad de la geoforma.

Por la margen continental, hacia el norte de la barra arenosa se localizan, de este a oeste, los esteros Mélagos, La Pitahaya y Tapo Grande. Estos esteros conforman sub-unidades funcionales del sistema general, y se distinguen entre sí por diferentes condiciones de inundabilidad, profundidad, tipo de sustrato y evolución ambiental. Como se mencionó en los párrafos anteriores, los esteros Mélagos y la Pitahaya se encuentran fuertemente impactados por una disminución severa del ingreso de agua por mareas, y un aporte periódico de aguas residuales agro-industriales y urbanas por el dren colector número tres. Debido a que el azolvamiento y el intenso bombeo de las granjas acuícolas han reducido la disponibilidad de agua marina en ambos esteros, se ha acelerado un proceso de desecación y muerte de extensas superficies de manglar. Este proceso se evidenció recientemente, pero pudo originarse desde mucho tiempo atrás. Probablemente desde las primeras transformaciones agrícolas de la cuenca. El incremento en la demanda de agua dulce, el represamiento de los efluentes, y el cambio en las condiciones de erodabilidad del suelo, tuvieron impactos locales varias décadas previas al primer bombeo acuícola.

Por lo que respecta al estero Tapo Grande, este también se encuentra transformado por el canal de llamada para las granjas acuícolas. Dicho canal significó la remoción y fragmentación de una superficie considerable de manglar, y no se ha cuantificado su efecto sobre la producción neta y funciones ambientales de esta comunidad. Tampoco se ha cuantificado el efecto sobre las fases larvarias que son succionadas durante cada periodo de bombeo. Los pescadores locales argumentan que la producción pesquera se redujo por esta causa, pero dicha aseveración debe validarse.

Las condiciones de profundidad imperantes en el sitio Escollera Centro, sumamente importantes para la planeación de la obra entre los 0 y -3.5 metros, indican más ventajas

económicas y ambientales respecto al sitio Escollera Sur. Su pendiente media, de 1.11 % respecto a 0.8 % en el sitio Escollera Sur, muestra que se requeriría un menor volumen de material rocoso para la obra, además de una menor superficie de afectación potencial de comunidades bentónicas que en dicho lugar.

Las condiciones oceanográficas en el área propuesta se corresponden con la descripción general que se enunció al inicio del escrito, pero por lo que se refiere a variables bióticas, la inexistencia de zonas aledañas de pesca sugiere condiciones ordinarias de productividad.

Las condiciones ambientales del sitio propuesto para la escollera centro, revelan un conjunto de atributos que determinan una condición especial de vulnerabilidad a la instalación de la obra. Algunos de estos factores, como la estabilidad actual de las dunas y el patrón local de erosión-acreción en la barra arenosa, constituyen elementos prioritarios para planificar el diseño en una perspectiva ingenieril y de mitigación de impactos. Seguramente se requerirá de manejo *a posteriori* de las dunas para evitar su desestabilización, así como de un diseño estructural que favorezca la eficiencia de la obra, y no contribuya a la erosión de la barra. Por lo que respecta a cercanía de las descargas agrícolas por el dren colector número tres, este tendría que desviarse hasta una distancia de seguridad que minimice las posibilidades de alcance por la pluma de dispersión. Como se ha venido enfatizando en los párrafos precedentes, el proceso de reencauzamiento de sus aguas puede eliminar un factor de presión que contribuye sin duda al deterioro del sitio.

3.5.3 Sitio propuesto para la escollera Norte.

El sitio propuesto para la escollera norte (Figura 28) no presenta extensas comunidades de manglar o vegetación halófila. Se localiza en una extensa playa arenosa de varios kilómetros de longitud, bordeada en el flanco continental por un cordón de dunas de poca altura, aparentemente inestables (Figura 29). Tras las dunas se localiza una extensa planicie aluvial que forma parte del delta inactivo del sistema (Figura 30). Esta planicie se inunda con cierta periodicidad en época de lluvias, llegando a mezclarse con las aguas residuales del dren colector número tres. Cuando este evento sucede, las aguas drenadas rebosan y tienden a agravar el recurrente efecto de inundación de la cabeza noroeste del estero Mélagos. Dados los impactos ambientales que está representando el dren, dicha tendencia de inundación debe reencauzarse por alguna vía.

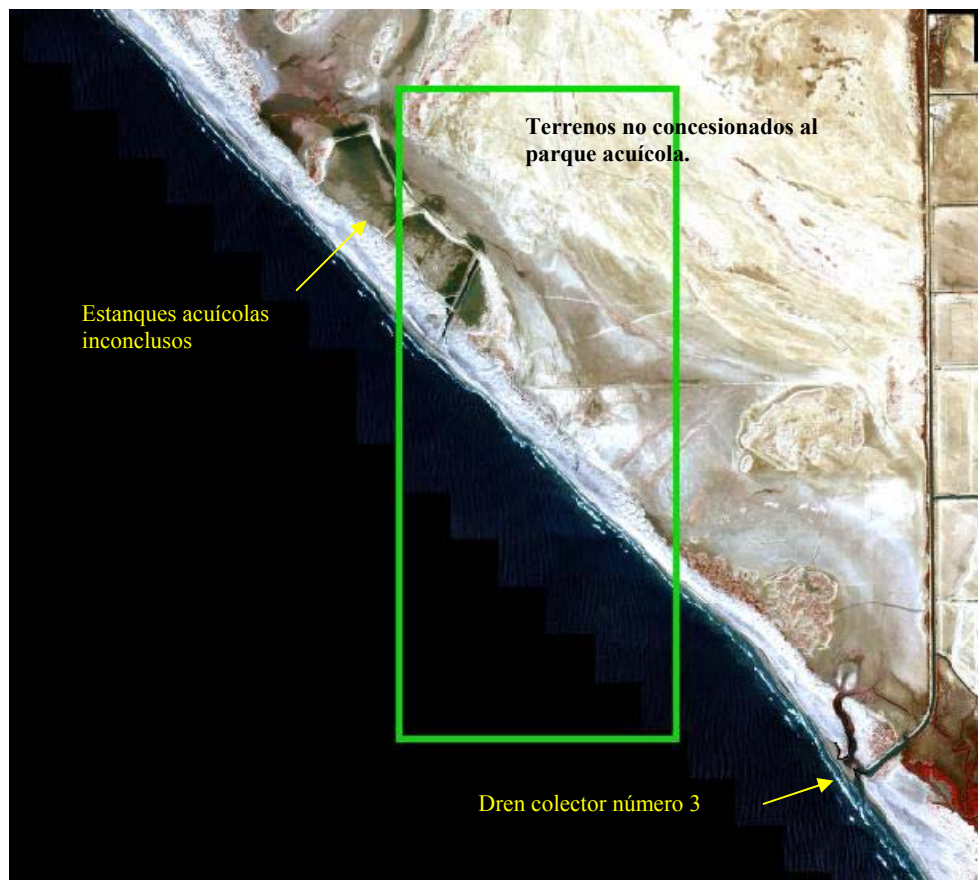


Fig. 28. Sitio propuesto Escollera Norte. El rectángulo verde enmarca el área inmediata de afectación del proyecto.

Las condiciones de profundidad imperantes en el sitio Escollera Norte indican más ventajas económicas y ambientales respecto a los dos sitios restantes. La pendiente media de este sitio (1.3 % respecto a 0.8 % en el sitio Escollera Sur y 1.11 % en el sitio Escollera Norte), muestra que se requeriría un menor volumen de material rocoso para la obra, además de una menor superficie de afectación potencial de comunidades bentónicas. Estas ventajas serían contrarrestadas, sin embargo, por un mayor volumen de dragado en la porción continental donde se reencauzarían las aguas del dren colector número tres.

Las condiciones ambientales del sitio escollera norte, no revelan la presencia de ecosistemas relictos o elementos ambientales que pudieran tornarse críticos en una perspectiva de prevención de impactos. Tampoco se observan usos actuales que pudieran impactarse por la construcción de la obra, ya que sólo es apreciable la construcción inconclusa de varios estanques abandonados hacia el norte. Aunque pudiera parecer un sitio

ideal bajo un enfoque ingenieril y precautorio, debe acotarse que los terrenos colindantes no corresponden a la superficie concesionada a los acuacultores de Mélagos, por lo que su viabilidad para la construcción de la escollera y nuevo canal de llamada, así como para el impostergable reencauzamiento de las aguas del dren colector número 3, se ve seriamente limitada por cuestiones de tenencia de la tierra.



Fig. 29. Aspecto de las dunas en el sitio escollera norte. Su cobertura vegetal es notoriamente menor respecto a las dunas de los dos sitios restantes.



Fig. 30. Aspecto de la planicie de inundación colindante al sitio escollera norte.

3.6. Aplicación de la Técnica de Análisis de Impactos y sus Fuentes.

Una vez que se elaboró el modelo teórico del funcionamiento de cada ecosistema, se hizo una identificación prospectiva de impactos potenciales sobre los componentes ambientales relevantes y otros componentes ambientales críticos, derivados de la instalación y operación de la obra. Estos impactos fueron valorados en una escala cualitativa al interior de los tres sitios propuestos, a fin de identificar el sitio menos vulnerable a la instalación de la obra. El propósito de esta fase del proyecto, aportar a la selección de sitio a partir de una lógica de prevención de impactos, enriquecería definitivamente las consideraciones estrictamente ingenieriles.

En este apartado se describen los resultados del proceso de valoración de impactos potenciales por construcción de la escollera y obra de toma en cada uno de los tres sitios. El proceso de valoración de impactos potenciales se realizó mediante un método inductivo que permite integrar la información relevante al estado y la presión que se ejerce o se ejercerá sobre el medio biofísico y la dimensión humana. El método se apega al esquema propuesto por The Nature Conservancy (2000), en su manual de planificación para la conservación de sitios, o Técnica de Análisis de Impactos y sus Fuentes. El proceso parte de identificar los elementos relevantes para la conservación en un sistema, los elementos de presión

ambiental, y sus factores causales. Los elementos se ordenaron en una matriz que desagregó espacialmente sus valores de importancia, y que acumuló puntajes en cada uno de los tres sitios propuestos. Los puntajes acumulados son un reflejo de la vulnerabilidad ambiental de cada lugar a la instalación de la obra, por lo que los valores permiten seleccionar el sitio con más ventajas ingenieriles y menos amenazado ambientalmente.

3.6.1. Importancia Ambiental de cada sitio en el marco regional y local.

Los resultados de la Técnica de Análisis de Impactos y sus Fuentes reflejan distintos niveles de importancia regional y local para cada uno de los sitios propuestos (Tabla II). Pese a que los tres sitios no constituyen ejemplos únicos en un contexto regional, los sitios escollera sur y escollera centro tienen papeles relevantes para la funcionalidad local del sistema, y para el sostenimiento de las actividades productivas que dependen de este. Destaca el sitio escollera sur, ya que tiene una contribución indudable para la estabilidad de las bocas en el estero Mélagos y el estero Santo Domingo, y para las funciones ambientales que dependen del ingreso de la onda de marea por ambas. Le sigue en importancia el sitio escollera centro, ya que protege de la influencia marina a la cabeza noroeste del sistema. Además de su importancia para la protección de los micro-habitats locales, puede brindar protección especial a la infraestructura acuícola construida, particularmente en condiciones de tormenta. En las inmediaciones del sitio escollera centro también se localiza una zona de pesca, lo que le incorpora valor económico indirecto. El sitio escollera norte no tiene mayor influencia sobre el estero ni sobre las actividades económicas que dependen de este. Su importancia deriva de ser una zona de pesca durante algunas semanas del año (1-15 de septiembre, aproximadamente), y de su colindancia con una zona propuesta para la construcción de infraestructura acuícola.

Los puntajes acumulados: 10, 4 y 6 para los sitios anteriores (sur, centro y norte, respectivamente); indican en primer plano las contribuciones al sistema en el marco regional y local. No constituyen el criterio único para decidir por la transformación de un sitio en lo particular, pero si denotan un valor de importancia para los procesos ecológicos que debe considerarse dentro del esquema de planeación. Como se anotó en los párrafos precedentes, este valor de importancia deriva fundamentalmente de las contribuciones locales a la funcionalidad del estero, reflejando en la misma medida las implicaciones potenciales que significaría la alteración de cada sitio. Es indudable que una obra mal planeada en el sitio escollera sur podría tener efectos muy severos para el estero Mélagos y para el estero Santo Domingo, como también es evidente que el sitio escollera norte no representa mayores

implicaciones para la funcionalidad del primero. Por lo que respecta al sitio escollera centro, este tiene condicionantes ambientales que pueden resolverse con facilidad y volverle un sitio elegible. La posibilidad de afectar las bocas de Mélagos y Santo Domingo en el sitio escollera sur, o la virtual imposibilidad de invadir terrenos que pertenecen a un propietario distinto en el sitio escollera norte, constituyen dificultades mayores si se comparan con el trabajo requerido para reencauzar la salida del dren número tres y desviarla unos mil metros hacia algún punto en el norte. Además de su viabilidad en el tiempo, esta acción mitigaría mucho del deterioro ambiental que ya se observa en la cabeza noroeste del estero .

El análisis siguiente, correspondiente a la fase 2 de la técnica de análisis de impactos y sus fuentes, indicará de manera más definitiva cuales son los elementos vulnerables en cada uno de los tres sitios. Su puntaje reflejará la sensibilidad a los impactos en función de la condición ambiental actual.

Tabla II. Matriz de Impactos Potenciales y Vulnerabilidad Ambiental por sitio a la construcción de la Escollera y obra de toma.

	Criterios de evaluación e impactos por sitio	Sitio 1: Escollera Norte.		Sitio 2: Escollera Centro.		Sitio 3: Escollera Sur.	
		Importancia	Valor	Importancia	Valor	Importancia	Valor
Fase 1	Valor para los procesos ecológicos y la conservación en una escala regional (Golfo de California).	Poco Importante	1	Importante	2	Importante	2
	Importancia y contribución ecológica al sistema local (Estero Mélagos).	Poco Importante	1	Importante	2	Muy Importante	4
	Importancia y contribución socio-económica directa.	Importante	2	Importante	2	Muy Importante	4
	Importancia ambiental del sitio en un marco regional y local. (Valor acumulado)	4		6		10	
Fase 2	Remoción directa manglar durante la preparación del sitio.	0	0	1	1	4	2
	Remoción directa vegetación halófila en dunas durante la preparación del sitio.	1	1	1	1	2	2
	Ahuyentamiento de fauna nativa por ruido.	0	0	1	1	1	1
	Afectación de comunidades bentónicas durante dragado.	1	1	1	1	1	1
	Fragmentación de corredores ecológicos o pérdida de la conectividad asociados a la transformación de sitio.	0	0	1	1	4	2
	Disminución de la disponibilidad de hábitat para especies migratorias.	0	0	1	1	2	2
	Resuspensión de sedimentos durante dragado (Afectación potencial de productores primarios por alteración de luminosidad).	2	2	2	2	1	1
	Interrupción de flujos hidrológicos clave, asociada a la construcción de bordería para nuevo canal de llamada.	0	0	1	1	4	4
	Disminución de la capacidad de limpieza del estuario por construcción de la obra.	0	0	0	0	4	4
	Desestabilización de la duna por construcción de la obra.	0	0	0	0	2	1
	Afectación potencial de procesos que sostienen la morfología de la boca, por construcción de la obra.	0	0	0	0	4	4
	Afectación potencial de de procesos que sostienen la morfología de barras arenosas, por construcción de la obra.	1	1	2	2	4	4
	Afectación directa de zonas o espacios de pesca por construcción de la obra.	2	2	2	2	1	1
	Afectación potencial de rutas de navegación por construcción de la obra.	0	0	0	0	0	0
	Afectación potencial de zonas o espacios con valor recreativo ó histórico cultural por construcción de la obra.	0	0	0	0	2	2
	Afectación directa de infraestructura por construcción de la obra.	2	1	1	1	1	1
	Afectación de espacios o zonas con valor económico potencial por construcción de la obra.	4	4	0	0	2	2
	Puntaje acumulado de severidad y alcance	13	12	14	14	39	34

3.6.2. Vulnerabilidad a nivel de sitio: Impactos potenciales por construcción de la obra.

La identificación de diecisiete impactos potenciales y la evaluación prospectiva de su severidad y alcance en cada uno de los tres sitios y su área de influencia, reconoció distintos grados de vulnerabilidad. Los resultados indican que el sitio escollera sur es el más vulnerable. Los sitios escollera centro y escollera norte fueron mucho menos vulnerables que este. Ambos sitios presentaron puntajes muy aproximados entre sí. El sitio escollera norte presenta menos vulnerabilidad a impactos sobre el medio biofísico, pero sus impactos potenciales sobre el medio social, otorgan mayores posibilidades de transformación al sitio escollera centro.

3.6.2.1 Sitio escollera sur.

El sitio escollera sur destaca por su vulnerabilidad a seis impactos asociados con la construcción de la obra. Estos, que tuvieron el máximo valor de severidad y valores muy altos o altos de alcance, son:

- 1) Remoción directa de manglar durante la preparación de sitio.
- 2) Interrupción de flujos hidrológicos clave, asociada a la construcción de bordería para nuevo canal de llamada.
- 3) Fragmentación de corredores ecológicos o pérdida de la conectividad asociados a la transformación de sitio.
- 4) Disminución de la capacidad de limpieza del estuario por construcción de la obra.
- 5) Afectación potencial de procesos que sostienen la morfología de la boca, por construcción de la obra.
- 6) Afectación potencial de procesos que sostienen la morfología de barras arenosas, por construcción de la obra.

Los seis impactos son muy relevantes, pero se advierte sobre todo que los impactos 1, 2, 4, 5 y 6, afectarían directamente la estabilidad de elementos nodales o componentes ambientales relevantes a nivel de macrosistema, vulnerando atributos que sostienen su productividad ecológica y económica. El impacto número 3 tal vez no afectaría todo el macrosistema, pero sin duda tendría repercusiones al menos en algún ecosistema particular, y se reflejaría con el tiempo en alguno de los ecosistemas

restantes. Otros dos impactos adicionales, con menor valor de importancia (afectación de vegetación en dunas, y probable desestabilización), también tendrían repercusiones sobre los elementos nodales.

Los impactos restantes tuvieron una importancia menor. Algunos se relacionan con afectaciones más o menos puntuales y de corta persistencia (Sería el caso de ahuyentamiento de fauna por ruido y resuspensión de sedimentos debido al dragado), mientras que otros derivan de afectación puntual, o bien localizada, de infraestructura o espacios que representan un valor recreativo durante cierta época del año. Estos impactos restantes podrían mitigarse, y no constituyen una amenaza real al sitio.

3.6.2.2 Sitio escollera centro:

El sitio escollera centro resultó vulnerable a tres impactos asociados con la construcción de la obra, pero sus puntajes de severidad y alcance no reflejan gran magnitud, persistencia o afectación espacial. Estos impactos fueron:

- 1) Afectación potencial de procesos que sostienen la morfología de barras arenosas, por construcción de la obra.
- 2) Resuspensión de sedimentos durante dragado (Afectación potencial de procesos que sostienen la productividad primaria).
- 3) Afectación directa de zonas o espacios de pesca por construcción de la obra.

El puntaje de los impactos 1 y 2 merecería menor urgencia de mitigación que valores de muy alta severidad, pero ambos se relacionan con afectaciones potenciales a elementos ambientales que sostienen la estabilidad de todo el macrosistema; por lo que deberán considerarse cuidadosamente durante el proceso de planeación e instalación de la obra. El impacto 3 implica una afectación potencial a un espacio económico, fundamentalmente por que la resuspensión de sedimentos limitaría las maniobras de pesca, y eventualmente ahuyentaría a algunas especies pelágicas. Sin embargo, debido a que la corriente litoral removería en poco tiempo los materiales suspendidos, puede suponerse que esta afectación sólo sería temporal.

El sitio escollera centro, al igual que el sitio escollera sur, juega un papel relevante para la estabilidad y funcionalidad del estero. Sus afectaciones potenciales sin

embargo, muestran valores de severidad y alcance mucho menores a los observados en aquel sitio. Aunque también presenta manglar y corredores ecológicos como el sitio sur, por ejemplo; el potencial de afectación (reflejado en los valores de severidad y alcance), es significativamente menor. Estos puntajes menores reflejan la condición de deterioro ambiental que se tiene en la cabeza noroeste, donde el estado del manglar y el deterioro general del sitio, otorgan una vulnerabilidad significativamente menor a los impactos asociados con la construcción de la obra.

Por lo que se refiere a impactos sobre infraestructura construida, no hay elementos críticos a considerar localmente. Si bien la instalación de la obra significaría reencauzar el dren hasta un kilómetro más al norte, esta acción reportaría un balance benéfico. Ya se discutió con detalle el papel que está jugando dicho dren para el deterioro ambiental del sitio. En ese sentido, su reencauzamiento podría considerarse más como una actividad de restauración, que como un elemento adverso al funcionamiento al estero.

3.6.2.3 Sitio escollera norte.

El sitio escollera norte mostró poca vulnerabilidad a casi todos los impactos ambientales. Ello es reflejo de un valor biológico y contribuciones al estero mucho menores que el de los dos sitios restantes. Sin embargo, no obstante que la obra de toma y canal de llamada representan poco potencial de afectación sobre el medio biofísico, destaca un factor de impacto que resulta altamente ponderado en términos de su severidad y alcance. Como puede observarse en el puntaje de la matriz, este factor de impacto se constituye por la afectación potencial de espacios o zonas con valor económico, que puede convertirse en un obstáculo para la transformación del sitio. A no ser que se compren o negocien los terrenos donde se trazaría el canal de llamada, y el reencauzamiento del dren colector número 3, las implicaciones legales de modificar el sitio pueden abortar el proyecto.

Por lo que se refiere a los impactos restantes que tuvieron un valor importante de severidad y alcance: Resuspensión de sedimentos durante el dragado y afectación directa de zonas o espacios de pesca por construcción de la obra, se suponen impactos de corta persistencia. Su vigencia se restringe al tiempo de construcción de la obra; ya

que el efecto diluyente de la corriente litoral terminaría por remover los sedimentos suspendidos, restaurando en poco tiempo las condiciones originales.

3.6.3. SITIO SUGERIDO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA OBRA.

Los resultados de la Técnica de Análisis de Impactos y sus Fuentes reflejan distintos niveles de importancia regional y local para cada uno de los sitios propuestos, y distintos grados de vulnerabilidad a los impactos en sus áreas de influencia. En un primer plano, los valores obtenidos de importancia reflejaron las implicaciones potenciales que significaría la alteración de cada sitio, mientras que las evaluaciones prospectivas de severidad y alcance de los impactos, discriminaron espacialmente grados de sensibilidad ambiental a las transformaciones del paisaje por construcción de la nueva obra.

Desde un principio fue evidente la alta vulnerabilidad que representaba el sitio escollera sur. Como se discutió oportunamente, su contribuciones al macrosistema, y su condición de sensibilidad a los impactos ambientales que derivarían de la obra, hacen muy difícil respaldar cualquier transformación local para la instalación de una escollera. No sucede lo mismo con los sitios escollera Norte y Centro, donde las condiciones de vulnerabilidad e importancia para el macrosistema son menos restrictivas a la instalación de la obra. Desde una perspectiva biofísica la instalación de una escollera es posible en ambos sitios, pero desde una perspectiva social el sitio escollera Norte representa un fuerte impacto y evidentes dificultades asociadas. Estos factores resultan determinantes para considerar al sitio escollera Centro como el más apropiado. Además de presentar condiciones de poca sensibilidad a los impactos, las maniobras de reencauzamiento del dren colector número tres, necesarias como un paso previo a la instalación de la obra, facilitarían la restauración en el mediano plazo de la cabeza noroeste del estero.

3.6.3.1 Acciones necesarias para reestablecer la calidad ambiental sistema.

La construcción de una escollera, en el lugar propuesto por este trabajo, y las acciones de reencauzamiento del dren colector número tres, constituyen sin duda medidas urgentes para la restauración del sistema Mélagos. Reportan varias ventajas para los acuacultores locales y una disminución de la presión ambiental para el sistema

costero en su conjunto (Figura 31). Su necesidad es indiscutible, pero sería errado pensar que son las únicas acciones necesarias. También se requiere de acciones de restauración que recompongan, al menos en una parte, los flujos y balances de carácter regional que sostenían la funcionalidad de este sistema costero.

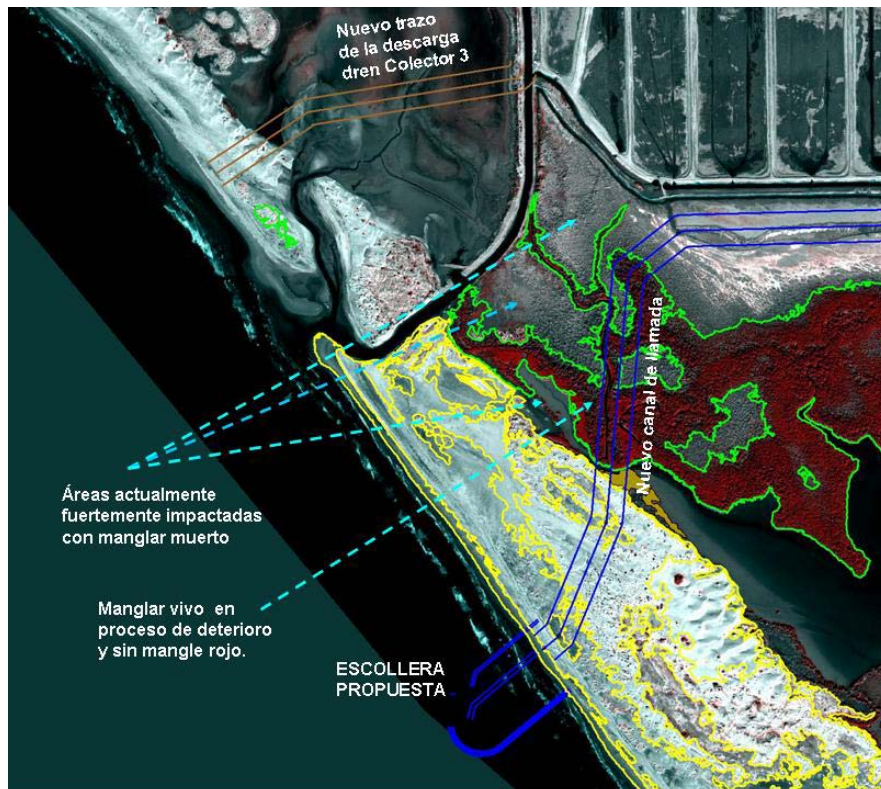


Fig. 31. Porción de la cabeza Norte del estero que será afectada por las nuevas obras propuestas; a cambio se espera que haya una importante reducción en la presión actual que se ejerce sobre este sistema.

Las medidas son:

- Reencauzar el dren colector número 3, y desviar su salida al mar algunos cientos de metros más al norte. La acción constituye una medida inaplazable. Este dren representa un factor muy importante para el deterioro el sitio, que además incorpora riesgos sanitarios a la actividad acuícola local. Su reubicación hacia el norte no solo disminuirá la presión y el riesgo sobre el estero y la nueva obra de toma, sino que además puede constituirse en una estructura de defensa frente a los eventos de lluvia, en tanto se asegure la adecuada compactación y altura de los bordos, y se abra una salida al mar para dichos escurrimientos.

- Recuperar las condiciones de profundidad de la boca y canales secundarios, mediante dragados de remediación diseñados para reactivar, en la medida de lo posible, los patrones originales de circulación y respetando aquellas nuevas áreas que se encuentren en condiciones de calidad natural aceptable.
- Implementar un programa de reforestación dirigido a recuperar o fortalecer poblaciones de Mangle rojo ***Rizophora mangle*** y en general el ensamblaje de mangles en relación con el gradiente de humedad y salinidad (***Rizophora mangle***, ***Avicennia germinans***, ***Laguncularia racemosa*** y ***Conocarpus erecta***) y especies de halófitas de interés ambiental o como cultivos alternativos (Ejem: ***Salicornia spp***, ***Distichlis spp***, ***Batis spp***. Etc.).
- Establecer un sistema de alcantarillas o puentes que además de asegurar mejores condiciones de tránsito permitan dirigir una parte de los escurrimientos pluviales, de manera segura, hacia la planicie del estero.
- Reestablecer la conectividad ecológica del estero con ecosistemas continentales, y a lo largo de la franja costera del sur de Sonora, mediante la reforestación de comunidades vegetales nativas que constituyan corredores de vegetación del tipo Matorral crasicaule, para la porción costa-continente, y halófitas – manglar – vegetación de dunas arenosas, para la porción costa-intermareal.
- Reducir la presión directa de actividades humanas a través del ordenamiento de la pesca, y la aplicación rigurosa de los resolutiveos de impacto ambiental condicionados a las granjas acuícolas.
- Hacer un redimensionamiento profundo de la capacidad instalada en el canal reservorio de las granjas, a fin de poder contar con el volumen de almacenaje mínimo requerido para realizar recambios eficientes. Esta última medida tiene una importancia sumamente relevante, ya que si no se realiza, un incremento en la disponibilidad de agua por conducto de la escollera no se reflejará, necesariamente, en mejores condiciones de recambio para las granjas acuícolas.

La aplicación de las medidas anteriores, implicará en primera instancia la pérdida de una pequeña porción de humedal, aquella ubicada al Norte del trazo propuesto para el nuevo canal de llamada, y que incluye principalmente una zona que ya se encuentra en franco estado de deterioro. A cambio se establecerán nuevas

condiciones de operación que favorecerán la recuperación de la calidad ambiental de la mayor parte del humedal asociado a esta laguna costera, y seguramente contribuirá a la sustentabilidad de la propia camaronicultura y otros usos locales actuales (pesca, turismo, etc.). También favorecerá usos futuros, como podría ser la implementación de desarrollos sustentables e integrales de aprovechamiento del agua de mar para acuicultura, la producción intensiva de microalgas para uso industrial, el uso agroforestal de mangles y halófitas en espacios controlados, ecoturismo y producción de sal, etc.

3.6.3.2 Estrategias posibles de manejo acuícola, posteriores a la construcción de la obra: redimensionamiento de la infraestructura o cambio del esquema de manejo.

Las condiciones de bombeo en el cárcamo del parque acuícola Mélagos han sido desfavorables por los tiempos máximos que permite la marea (Hasta 13 horas diarias), pero la capacidad instalada de bombeo y dimensiones del canal reservorio, constituyen factores adicionales que deben corregirse para asegurar la funcionalidad plena de la nueva obra de toma, particularmente cuando pueda bombearse por 24 horas continuas. Los cálculos hechos por este trabajo indican una capacidad de bombeo muy inferior a la demanda requerida para las granjas que dependen de este cárcamo (Loma de Manuel, S.P.R. de R.I., Loma de Fernando, S.P.R. de R.I., Acuícola Río Muerto, S.A. de C.V., Reforma Segunda S.P.R. de R.I., Acuícola Marcha al Mar, 18 de Mayo, S.A. de C.V., Estero Los Mélagos, S.P.R. de R.I., Sonora Mí Estado, S.P.R. de R.I., La Loma de Alberto, S.P.R. de R.I., Acuícola Castelo, S.P.R. de R.I., La Loma de Layo, S.P.R. de R.I., La Loma de Zavala, S.P.R. de R.I., y General Ignacio Pesqueira, S.P.R. de R.I.), ya que las bombas instaladas solo podrían ingresar un recambio máximo del 8.9 % diario para las granjas que dependen de este cárcamo (Tabla III). Este recambio, que resulta de considerar un ingreso, de 881,280 m³/día acumulado en las 6 bombas (8.9 % para el volumen total de las granjas anteriores: 9890094.15 m³), es insuficiente si se consideran las necesidades del periodo más crítico; ya que sólo alcanza para satisfacer la demanda durante los primeros dos meses de cultivo. Si la situación no se corrige, el nuevo canal de llamada y la nueva obra de toma no serán suficientes para resolver el problema del abasto de agua.

Tabla III. Capacidad Instalada de Bombeo en el Parque Acuícola Mélagos.

	CAPACIDAD INSTALADA	EFICIENCIA (M3/hr)	M3
CARCAMO	6 bombas, 1.7 m3/s	36,720	
VOL. REQR. TOTAL			9,890,094
CAPACIDAD DEL RESERV.			888,877
ESCENARIOS DE RECAMBIO			VOL. REQUERIDO(M3)
15%			1483514
20%			1978019
CON LA CAPACIDAD INSTALADA ACTUALMENTE			
VOL BOMBEADO EN 24 hr (M3).			881280
RECAMBIO PROMEDIO DIARIO (%)			8.9

La situación anterior plantea **dos soluciones posibles**: 1) Incrementar la capacidad de bombeo y de almacenaje en canal reservorio, a fin de poder manejar un recambio mayor. 2) Diseñar un esquema de manejo de siembras y etapas del cultivo que facilite diferir, espacial y temporalmente, las demandas de agua de cada granja. La primera solución significa sin duda un costo adicional a la construcción de la escollera, mientras que la segunda considera las condiciones actuales de capacidad instalada, y las condiciones futuras de disponibilidad de agua por 24 horas diarias. Bajo la primera propuesta se requeriría disponer de dinero adicional para un nuevo movimiento de tierras y redimensionamiento del canal reservorio, mientras que en la segunda parece posible seguir operando con la capacidad instalada actual. Si se opta por la segunda, puede pensarse por ejemplo, en diferir treinta días los tiempos de siembra entre una granja y otra, de forma que, cuando se estén terminando las siembras en la última granja, en las primeras ya haya camarón con talla ideal para una pre-cosecha. De esta manera se reduciría la competencia por el mismo recurso, y podrían balancearse las demandas de agua en todo el parque. Si se opta por la primera, es necesario empezar los trabajos al interior del parque con toda la celeridad posible. La segunda propuesta facilitaría que todas las granjas dispusieran del agua suficiente para recambios mayores a 15 %, siempre y cuando las granjas restantes, por su misma etapa del cultivo, aún no requirieran cantidades de agua significativas; contribuyendo adicionalmente a no saturar las condiciones del mercado por una sobre oferta de producto. Desde la perspectiva de este trabajo, cualquiera de las dos soluciones adoptadas debe ser producto de un análisis cuidadoso de costo/ beneficio por lo contratantes, así como de un trabajo profundo de negociación y gestión de un nuevo esquema de manejo con los granjeros.

4. RESULTADOS PARTE II. PROYECTO EJECUTIVO TÉCNICO.

En este apartado se presentan los principales resultados de los estudios llevados a cabo, una vez ya seleccionado el sitio para el establecimiento de la escollera de acuerdo a lo descrito en los apartados anteriores. Esta información presentada, es producto de trabajos directos en campo y se constituye como la mínima necesaria para diseñar la escollera y proyectar los costos de construcción y operación de la infraestructura propuesta.

4.1 Geomorfología.

El estero Mélagos es una forma de origen fluvial relacionada a procesos acumulativos que ocurrieron a lo largo de la porción final de escurrimientos provenientes de antiguos brazos del Río Yaqui y Río Muerto. Estos presentaban un arreglo de distributarios deltáicos, fuertemente desmembrados, por falta de actividad, con gran cantidad de meandros abandonados por la falta de aporte de agua o cambios de nivel de base que se anastomosaron con el tiempo. Lankford (1977), citado por Contreras (1985) lo reporta como laguna del tipo II-A. Los cuerpos costeros de este tipo se originaron por sedimentación terrígena diferencial, y están asociados a sistemas deltáicos fluviales producidos por sedimentación irregular o subsidencias de superficie causados por colmatación debida a los efectos de carga. Como en el caso del Estero Mélagos, estos cuerpos costeros tienen barreras arenosas envolventes de depresiones marginales o intradeltáicas, con escurrimientos directos o a través de pequeñas ensenadas. Estas depresiones llegan a formar lagunas elongadas muy someras entre montículos de playa. Su energía es usualmente baja, excepto en canales y ensenadas; y cuando no hay interrupciones del agua dulce por causas antropogénicas, la salinidad de la cabeza suele ser baja.

4.2 Oceanografía.

La medición directa de parámetros oceanográficos, tales como oleaje normal, corrientes costeras, mareas y transporte litoral de sedimentos, siempre ha estado relacionado con la necesidad de construcción de infraestructura costera.

El oleaje en las costas del Golfo de California es de baja energía, con incrementos durante la temporada de huracanes presente de mayo a noviembre. Durante estos eventos las olas reflejan los cambios atmosféricos, integrados sobre duración del viento y Fetch. De acuerdo con Aktartük y Katsaros (1999) los picos de energía generalmente obedecen a las frecuencias de ocurrencia de oleaje dominante y la ocurrencia de ráfagas de viento.

Se realizaron la mayor parte de los trabajos de campo establecidos en los términos como son: batimetría, corrientes, oleaje, mareas y transporte litoral de sedimentos mismo que se presentan de manera independiente en cada uno de los apartados específicos de este documento

4.2.1. Oleaje.

El oleaje en las costas del Golfo de California es de baja energía (Figura 32), con incrementos durante la temporada de huracanes general presente de mayo a noviembre (y específica de agosto-octubre). Durante estos eventos las olas reflejan los cambios atmosféricos, integrados sobre duración del viento y Fetch (Figura 32). De acuerdo con Aktartük y Katsaros (1999) los picos de energía generalmente obedecen a las frecuencias de ocurrencia de oleaje dominante y la ocurrencia de ráfagas de viento.



Fig. 32. Aspecto del oleaje en la playa, en la zona de la descarga del dren colector No. 3. Este oleaje puede considerarse representativo de la región de los Mélagos.



Fig. 33. Oleaje de tormenta del día 14 de julio de 2004, donde se puede apreciar la altura del oleaje bajo condiciones de verano en la zona de la boca del estero los Mélagos.

Los estudios para la determinación del patrón del oleaje fueron realizados en dos campañas de mediciones utilizando para ello una Boya Oceanográfica Marca Interocean de medición continua de datos de energía del oleaje, corrientes y mareas. Además, se hizo referencia a información de campo realizada por otros trabajos de investigación en la región con la finalidad de hacer comparaciones de los parámetros determinados. Los trabajos de campo se registraron durante las dos últimas semanas del mes de julio del 2004. (Ver Figura 34 que muestra la localización espacial de la Boya Oceanográfica y la figura 35 a los detalles de la instalación de la boya en el punto descrito en la figura anterior, utilizando de soporte una lancha fuera de borda).

La predicción del oleaje se realizó utilizando un modelo empírico desarrollado por el CERC (1984) y se obtuvo la altura de ola significativa calculada a través de la técnica de momentos espectrales (H_{mo}) y el período de máximo pico espectral (T_p). La altura de ola significativa (H_s) puede ser expresada en función de H_{mo} y la raíz cuadrática media del registro de elevación del nivel del mar (η_{rms}) (Bowden, 1983; Kuriyama y Nakatsukasa (2000); el período significativo (T_s) según CERC (1984) es $T_s = 0.95T_p$.

$$H_{mo} = 4.004\eta_{rms} \quad [1]$$

$$\eta_{rms} = 3.8H_s \quad [2]$$

por lo tanto:

$$H_s = \frac{1}{1.05} H_{mo} \quad [3]$$

A partir de la serie de histórica de los datos de vientos (que mas adelante se describen) se obtuvo la altura de ola significativa (H_s), período asociado a la ola significativa (T_s) y ángulo de aproximación en la rompiente (α_b) para condición de verano (Tabla IV) y condición de invierno (Tabla V).



Fig. 34. Localización del sitio para la colocación de la boya oceanográfica de medición continua, de los parámetros de oleaje, mareas y corrientes.



Fig 35. Aspectos de la boya oceanográfica de medición continua (1 y 2) y de colocación en el sitio de muestreo (3).

Tabla IV. Parámetros de oleaje predichos para condiciones de verano en Mélagos, Son.

Azimut (grados)	Hmo (m)	Tp (s)	Hs (m)	Ts (s)	Co (ms ⁻¹)	C ms ⁻¹)	Lo (m)	L (m)	Hb (m)	hb (m)	α_b (grados)
145.39	0.32	0.21	0.30	4.56	7.11	4.20	32.44	7.03	0.43	1.80	19.61
180.00	0.47	0.20	0.45	4.87	7.60	3.59	37.00	7.48	0.59	1.32	0.00
202.50	0.56	0.21	0.53	4.60	7.18	3.47	33.01	7.09	0.64	1.23	-10.65
225.00	0.68	0.11	0.75	9.00	14.04	2.59	126.36	12.61	1.14	0.68	-7.49
247.50	0.49	0.25	0.47	3.80	5.93	3.85	22.53	5.90	0.52	1.51	-36.82
270.00	0.49	0.21	0.47	4.53	7.07	3.63	32.01	6.98	0.58	1.34	-30.88
292.50	0.54	0.23	0.51	4.18	6.52	3.63	27.26	6.47	0.58	1.34	-30.91
315.00	0.55	0.18	0.52	5.18	8.08	3.35	41.86	7.92	0.68	1.15	-17.07

Tabla V. Parámetros de oleaje predichos para condiciones de invierno en Mélagos, Son.

Azimut (grados)	Hmo (m)	Tp (s)	Hs (m)	Ts (s)	Co (ms ⁻¹)	C ms ⁻¹)	Lo (m)	L (m)	Hb (m)	hb (m)	α_b (grados)
147.60	0.36	6.20	0.34	5.89	9.19	3.69	54.12	8.89	0.56	1.39	12.43
180.00	0.21	4.32	0.20	4.10	6.40	4.99	26.22	6.35	0.31	2.53	0.00
202.50	0.32	3.68	0.30	3.50	5.46	4.59	19.11	5.44	0.36	2.15	-18.77
225.00	0.29	7.37	0.27	7.00	10.92	3.77	76.44	10.32	0.54	1.45	-14.14
247.50	0.44	3.95	0.42	3.75	5.85	4.01	21.94	5.82	0.48	1.64	-39.30
270.00	0.46	3.11	0.44	2.95	4.60	4.28	13.58	4.60	0.42	1.87	-68.36
292.50	0.42	3.79	0.40	3.60	5.62	4.13	20.22	5.60	0.45	1.74	-42.83
335.00	0.22	9.61	0.21	9.13	14.24	3.76	130.04	12.75	0.54	1.44	-6.40

El área de estudio es una playa abierta sin obstáculos naturales, donde la incidencia del oleaje es directamente proporcional a la incidencia del viento. En primavera el oleaje incidente proviene del cuadrante SSW con un azimut de 213.6°, en verano proviene del S y SSW con 191.47° y 212.34° respectivamente; mientras que en invierno el oleaje incidente esta asociado al cuadrante NW con 307.15° de azimut (Tabla VI).

Tabla VI. Dirección de aproximación del oleaje en aguas profundas para Los Mélagos, Son. (Año 2004).

	Primavera		Verano		Invierno	
Azimut	Frecuencia	α_o	F	α_o	F	α_o
SSE	7	175.66	8	172.81	10	171.38
S	20	192.53	24	191.47	3	192.03
SSW	22	213.60	16	212.34	3	213.87
SW	9	238.80	9	239.83	6	241.40
WSW	11	258.25	6	261.18	2	249.35
WNW	12	283.72	3	286.17	7	281.39
NW	8	300.45	2	297.90	35	307.15
NNW	3	321.37	1	326.80	11	324.57

Por otra parte, la refracción para determinar la dirección de aproximación de oleaje con Fetch efectivo, muestra que los frentes de ola provenientes de las direcciones SW y SSW son los responsables de generar la mayor energía en la playa (Figura 36), sin embargo están limitadas estacionalmente por la altura y período de la ola: (a) disminución en invierno; y (b) aumento en verano (Figura 34).

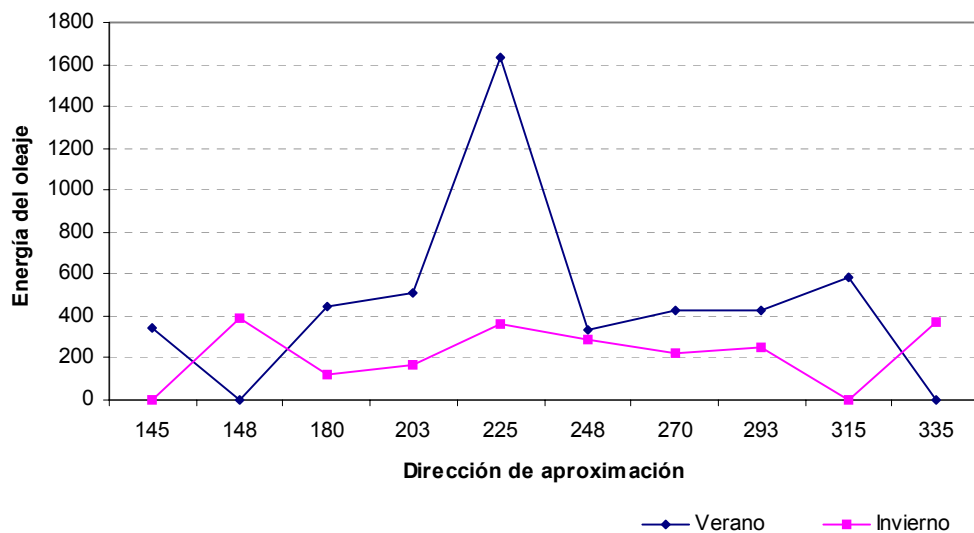


Fig. 36. Energía del oleaje en Los Mélagos, Son. durante condiciones de verano e invierno.

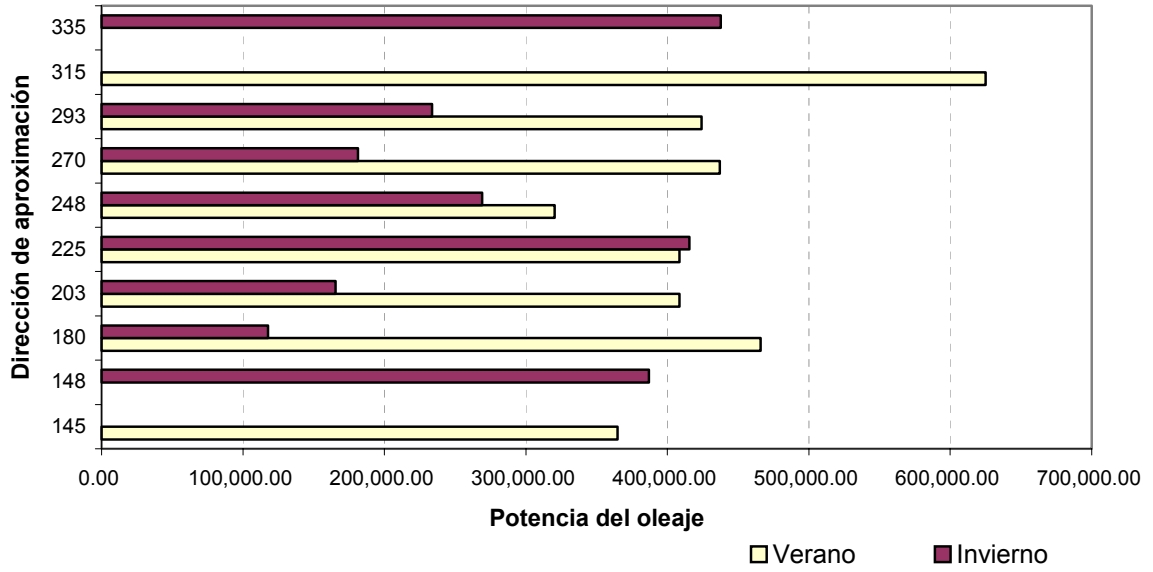


Fig. 37. Potencia del oleaje en Los Mélagos, Son. para condiciones de verano e invierno.

4.2.2. Transporte Litoral

Para calcular el volumen de arena transportado a lo largo de la costa por unidad de tiempo, Komar e Inman (1974) desarrollaron dos modelos. El primero utiliza la raíz cuadrática media de las alturas (H_{rms}) y el volumen de arena transportado a lo largo de la costa por unidad de tiempo (S_l) (ec. 4), en función de la componente a lo largo de la costa del flujo de energía evaluada en la rompiente (P_l):

$$S_l = \frac{I_l}{(\rho_s - \rho_w)ga} \quad [4]$$

$$I_l = 0.77P_l \quad [5]$$

$$P_l = (ECn)_b \text{Sen} \alpha_b \text{Cos} \alpha_b \quad [6]$$

$$E_b = \frac{1}{8} \rho_w g H_b^2 \quad [7]$$

Dónde: I_l es la razón de transporte por peso inmerso, ρ_s la densidad del sedimento, ρ_w la densidad del agua, g es la aceleración debido a la gravedad, a el factor de corrección de espacios vacíos igual a 0.6, E_b la energía de la ola evaluada en la rompiente, y H_b la altura de ola en la rompiente calculada en función de la altura de ola (H_o) y longitud de onda (L_o) en aguas profundas (ec. 8).

$$\frac{H_b}{H_o} = \frac{1}{3.3(H_o / L_o)^{1/3}} \quad [8]$$

El segundo modelo de Komar e Inman (1974) considera la razón de transporte por peso inmerso (I_l) en función de la velocidad orbital promedio (U_m) de la corriente a lo largo de la costa (V_l) (ecs. 8 a 11), para el cálculo del volumen de arena transportado a lo largo de la costa por unidad de tiempo (S_l) (ec. 4).

$$I_l = 0.28(ECn)_b \cos \alpha_b \frac{V_l}{U_m} \quad [9]$$

$$V_l = 2.70 U_m \sin \alpha_b \quad [10]$$

$$U_m = \sqrt{\frac{2E_b}{\rho_w h_b}} \quad [11]$$

Por otra parte, el CERC (1984) desarrolló dos modelos para cálculo del volumen transportado en función de la altura de ola significativa (H_s). El primero relaciona el transporte con la componente del flujo de energía sobre la playa (P_{ls}) y un coeficiente de proporcionalidad obtenido a partir de modelos físicos a escala (ec. 15). Mientras que el segundo modelo es similar al primer modelo de Komar e Inman (1974), pero en este caso el volumen de arena transportado se define en función de una nueva razón de transporte por peso inmerso en función de P_{ls} (ec. 11).

$$P_{ls} = 0.0884 \rho_w^{3/2} H_{sb}^{5/2} \sin 2\alpha_b \quad [11]$$

$$I_l = 0.39 P_{ls} \quad [12]$$

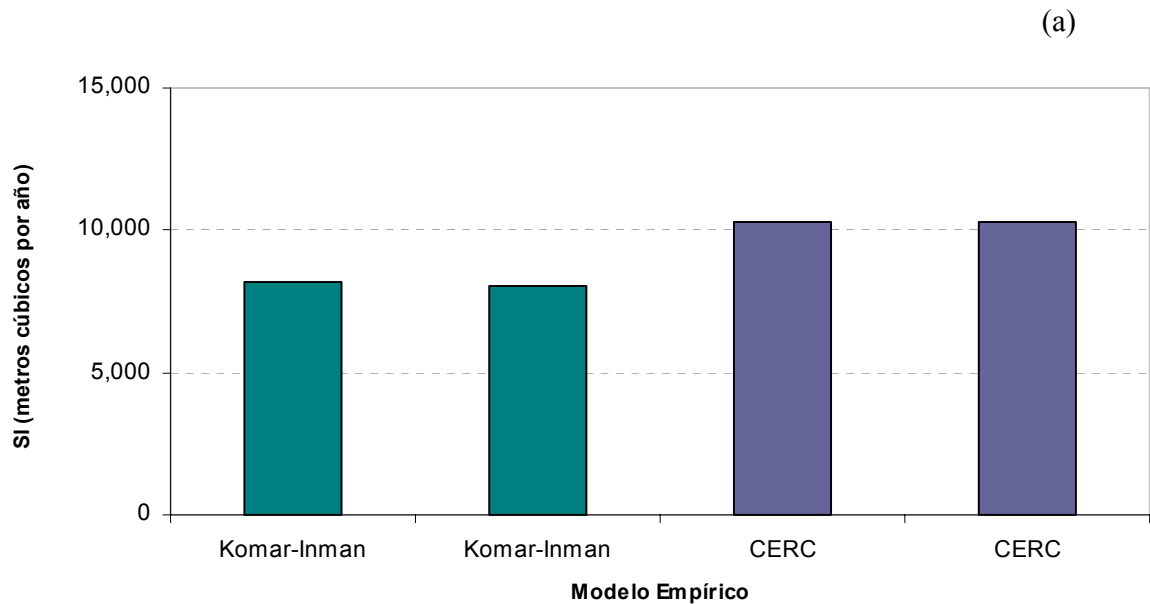
Además, se utilizó el modelo unidimensional denominado GENESIS (Modelo Generalizado para la Simulación de Cambios en la Línea de Costa) desarrollado por Gravens *et al.* (1991). Este modelo simula cambios en la línea de costa producidos por diferencias espaciales y temporales en el transporte de sedimento a lo largo de la costa.

Para evaluar cambios en la línea de costa el modelo considera que:

- La forma del perfil de playa es constante.
- Los límites superior e inferior del perfil son constantes.
- La arena es transportada a lo largo de la costa por acción del oleaje rompiente.

- No se considera la celda de circulación cerca de la costa.

De acuerdo a los modelos empíricos de Komar e Inman (1970) y el CERC (1984), en promedio la tasa transporte en condiciones naturales es de **10,312.05 m³año⁻¹** (Figura 38a). Por otra parte, la tasa de transporte calculada por el modelo determinístico es de **4,815 m³año⁻¹**, con dirección predominante hacia el norte (Figura 38b). Conforme la formulación de Komar e Inman (1970), la componente de la velocidad de corriente a lo largo de la costa es de 0.33 ms⁻¹ en promedio para las dos estaciones del año.



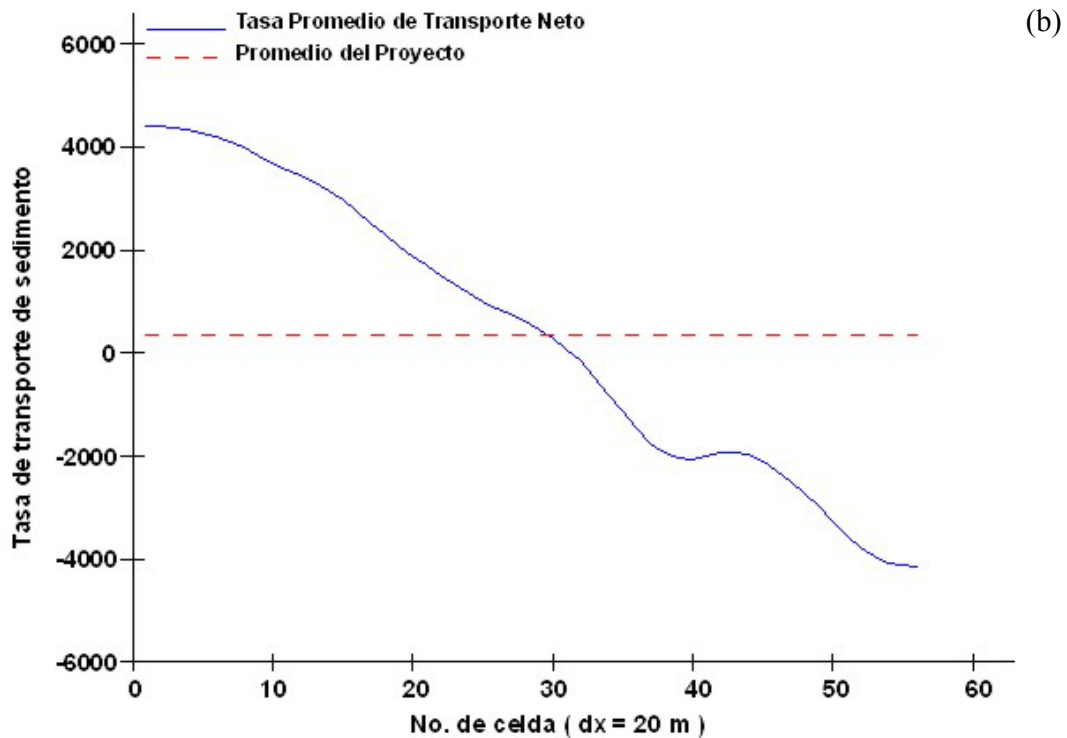


Fig. 38. Tasa promedio de transporte litoral neto en Mélagos, Son. (a) Modelos empíricos; (b) GENESIS

Pese a estos cambios cíclicos, un análisis de imágenes del área de estudio con resolución de 30 a 60 metros para las décadas 70-90s, indica una relativa estabilidad de la morfología litoral durante ese periodo; pero dos fenómenos interesantes para el periodo 2000-2003. Estos fenómenos interesantes son:

- 1) La apertura de una nueva boca frente al estero Tapo Grande. Esta nueva boca, que los pobladores locales atribuyen a condiciones de tormenta, tiene una extensión aproximada de 128 metros.
- 2) Un aparente proceso de erosión general en el área inmediata a la nueva boca y en el extremo sur de la barra. De hecho en el extremo sur la barra parece haber retrocedido poco más de 260 metros.

Los cambios observados recientemente, en contraposición a la estabilidad mostrada durante las últimas tres décadas, muestra una variación local en la dinámica

de transporte. Esta variación local podría deberse a un cambio en la fuente de aportes, asociada tal vez a modificaciones del aporte continental o costero por transformaciones en el litoral o en la cuenca de drenaje. Como se verá posteriormente, estos cambios son muy importantes de considerar para la construcción de una escollera, ya que la obra podría modificar la dirección y periodicidad de los mismos.

Es necesario comentar que las condiciones oceanográficas en lo que se refiere a marea, oleaje y corrientes, que prevalecen a lo largo del año no son las mismas, pudiéndose diferenciar la condición de invierno y la condición de verano y esta estacionalidad de parámetros, también refleja cambios en la batimetría de la región que son todavía mas notorios en las zonas someras.

4.2.3 Mareas.

Con el objeto de obtener información sobre la variación de los niveles del mar para el diseño de la obra de toma, se recopiló información del Instituto de Mareografía del Centro de Investigación Científica y Estudios Superiores de Ensenada (CICESE) para calibrar los datos tomados directamente en el campo con la Boya Oceanográfica. Como en Sonora los principales mareógrafos en funcionamiento pertenecientes a la Red Mareográfica del CICESE son Guaymas y Yavaros, quedando la zona de estudio en una área intermedia entre estas dos estaciones por lo que se calcularon promedios en lo que respecta a alturas de nivel de mar y tiempos de retraso en la onda de marea.

Con estos datos y las mediciones directas en campo, se establece que la marea para la zona es del tipo SEMIDIURNA esto es que existen dos oscilaciones de marea diariamente, con un diferencial de alturas entre la pleamar y la bajamar. En una síntesis de los datos del año reportados por la predicción de las mareas y comparandolas con los datos generados en el sitio del proyecto se presentan las Tablas VII, VIII, IXI y X.

Tabla VII. Datos de los niveles de la marea máximos y mínimos para la estación mareográfica de Guaymas, Sonora.

CÁLCULO DE NIVELES MINIMOS Y MÁXIMOS DE MAREAS		
PARA GUAYMAS (MM)		
<u>MES</u>	<u>BMI</u>	<u>PMS</u>
ENERO	-1046	337
FEBRERO	-948	267
MARZO	-804	308
ABRIL	-718	379
MAYO	-838	475
JUNIO	-844	615
JULIO	-784	671
AGOSTO	-621	648
SEPTIEMBRE	-511	613
OCTUBRE	-559	545
NOVIEMBRE	-837	482
DICIEMBRE	-1021	425

Tabla VIII. Datos de los niveles de la marea máximos y mínimos para la estación mareográfica de Yavaros, Sonora.

CÁLCULO DE NIVELES MINIMOS Y MÁXIMOS DE MAREAS		
PARA YAVAROS (MM)		
<u>MES</u>	<u>BMI</u>	<u>PMS</u>
ENERO	-1028	422.00
FEBRERO	-952	374.00
MARZO	-899	346.00
ABRIL	-757	438.00
MAYO	-868	625.00
JUNIO	-903	808.00
JULIO	-826	859.00
AGOSTO	-609	806.00
SEPTIEMBRE	-466	695.00
OCTUBRE	-621	665.00
NOVIEMBRE	-846	636.00
DICIEMBRE	-1025	576.00

Tabla IX. Cálculo de la bajamar media inferior para la localidad de Melagos utilizando los datos de las predicciones de mareas de los mareógrafos y los datos tomados en campo.

BAJAMAR MEDIAA INFERIOR (BMI) EN MILIMETROS			
MES	GUAYMAS	YAVAROS	MELAGOS
ENERO	-1046	-1028	-1037
FEBRERO	-948	-952	-950
MARZO	-804	-899	-852
ABRIL	-718	-757	-738
MAYO	-838	-868	-853
JUNIO	-844	-903	-874
JULIO	-784	-826	-805
AGOSTO	-621	-609	-615
SEPTIEMBRE	-511	-466	-489
OCTUBRE	-559	-621	-590
NOVIEMBRE	-837	-846	-842
DICIEMBRE	-1021	-1025	-1023

Tabla X. Cálculo de la pleamar máxima para la localidad de Melagos utilizando los datos de las predicciones de mareas de los mareógrafos y los datos tomados en campo.

PLEAMAR MÁXIMA SUPERIOR (PMS) EN MILIMETROS			
MES	GUAYMAS	YAVAROS	MELAGOS
ENERO	337	422	380
FEBRERO	267	374	321
MARZO	308	346	327
ABRIL	379	438	409
MAYO	475	625	550
JUNIO	615	808	712
JULIO	671	859	765
AGOSTO	648	806	727
SEPTIEMBRE	613	695	654
OCTUBRE	545	665	605
NOVIEMBRE	482	636	559
DICIEMBRE	425	576	501

El máximo y mínimo de mareas, constituyen elementos críticos para el diseño y operación de la obra de toma, así como para la delimitación del terreno seguro para la construcción de infraestructura. Los resultados de la campaña de mediciones indican que el rango promedio a lo largo del año es de 1.35 metros, con un valor mínimo de bajamar inferior de -1.037 metros respecto al nivel medio del mar, obtenido en el mes

de Enero y el valor máximo de pleamar superior con una altura de 0.765 metros, que se obtuvo en el mes de Julio de 2004

4.2.4. Vientos.

Se recopiló una serie de tiempo de 4 años (2000 - 2004) de magnitud y dirección de viento correspondiente a la Estación Meteorológica "Block 2920" (PIAES, 2004), ubicada cerca del poblado "Las Mayas", en el Valle del Yaqui en el municipio Benito Juárez, Son. entre las coordenadas geográficas 25°59'56" N y 109°49'46" W a 6 msnm (Figura 38).

Las series de viento se depuraron con el objetivo de seleccionar los años con información de mayor consistencia. El criterio de selección fue identificar series anuales de aproximadamente 360 días (igual a 360 datos diarios). Las series depuradas se clasificaron por régimen estacional.

El análisis de vientos horarios mostró que en el Valle del Yaqui la tendencia estacional de los vientos, durante Invierno provienen del NW, en Primavera del cuadrante E-SSE, en Verano del cuadrante del SSE - SW y en Otoño del cuadrante ESE - W (Tabla XI).

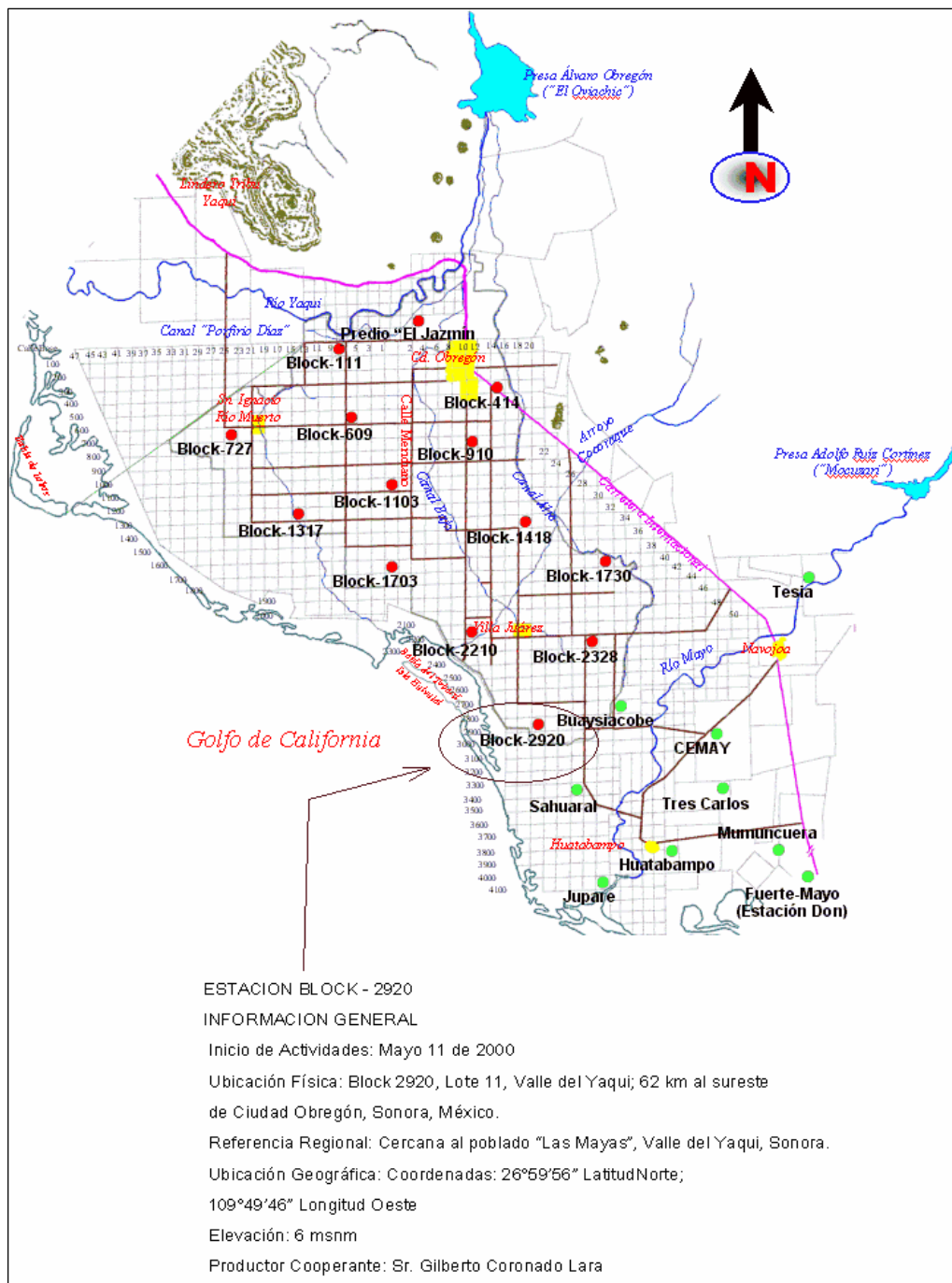


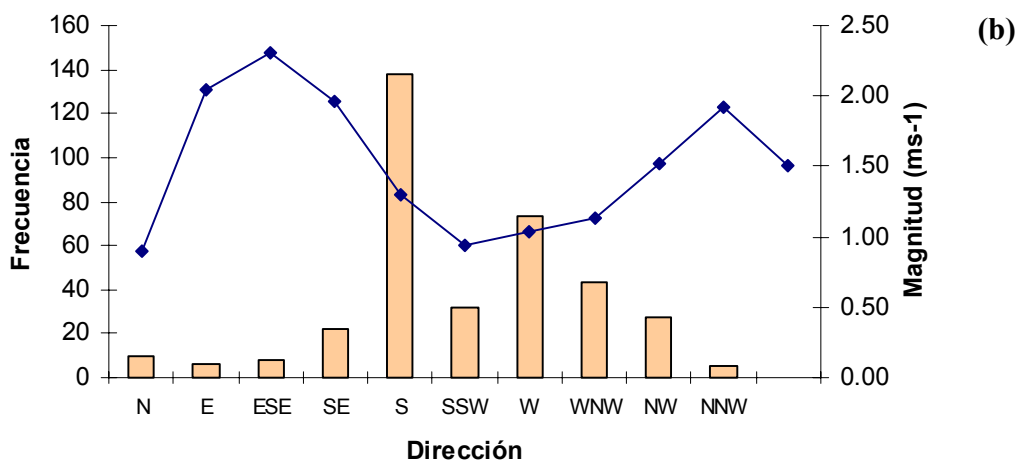
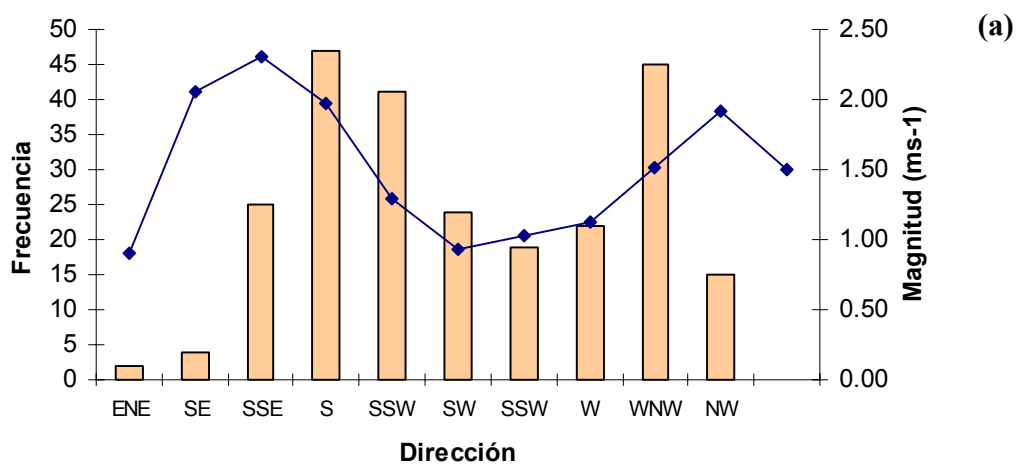
Fig. 39. Localización estación meteorológica "Block 2920", en el municipio de Benito Juárez, Son.

Tabla XI. Vientos reinante y dominante en Estación “Block 2920” en el Valle del Yaqui (2000-2001).

	<i>Reinante</i>		<i>Dominante</i>	
<i>Mes</i>	<i>Dir.</i>	<i>Int.</i>	<i>Dir.</i>	<i>Int.</i>
Enero	NW	8.70	W	9.10
Febrero	NW	9.60	NW	9.60
Marzo	E	4.40	W	9.80
Abril	ESE	-	ESE	-
Mayo	SE	0.30	SE	0.30
Junio	SSE	10.60	ESE	13.50
Julio	SW	10.40	SSW	14.10
Agosto	SW	9.50	NE	16.90
Septiembre	ESE	14.60	SSE	20.60
Octubre	NE	5.50	NW	13.90
Noviembre	W	7.20	SSE	9.60
Diciembre	NW	9.90	NNW	10.20

El análisis de viento diario de esta estación mostró que en los últimos 3 años los registros con intensidades de mayor magnitud y frecuencia correspondieron al año 2003, con vientos de hasta 2.5 ms^{-1} de intensidad provenientes del cuadrante ESE y con mayor frecuencia provenientes del sur (Figura 39). En los registros fue evidente un marcado ciclo estacional, tal como se examinó en una serie de datos horarios señalados arriba.

Para el año 2004 los eventos de mayor intensidad se han registrado a inicios correspondiente a invierno con ráfagas de hasta 12 ms^{-1} en dirección ESE, y los dominantes de hasta 6.82 ms^{-1} provenientes del NW. En verano se registró una velocidad máxima de 10.30 ms^{-1} asociada a la dirección SE y viento dominante con ráfagas de hasta 9.40 ms^{-1} provenientes del S – SW. Durante la primavera el viento dominante máximo fue de 7.11 ms^{-1} del cuadrante SSW y ráfagas de hasta 8.54 ms^{-1} del SSE (Figura 40).



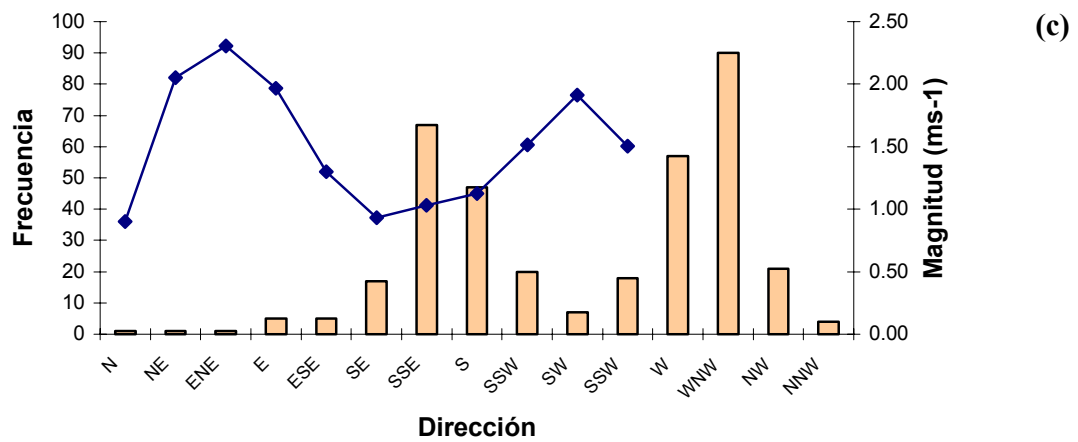
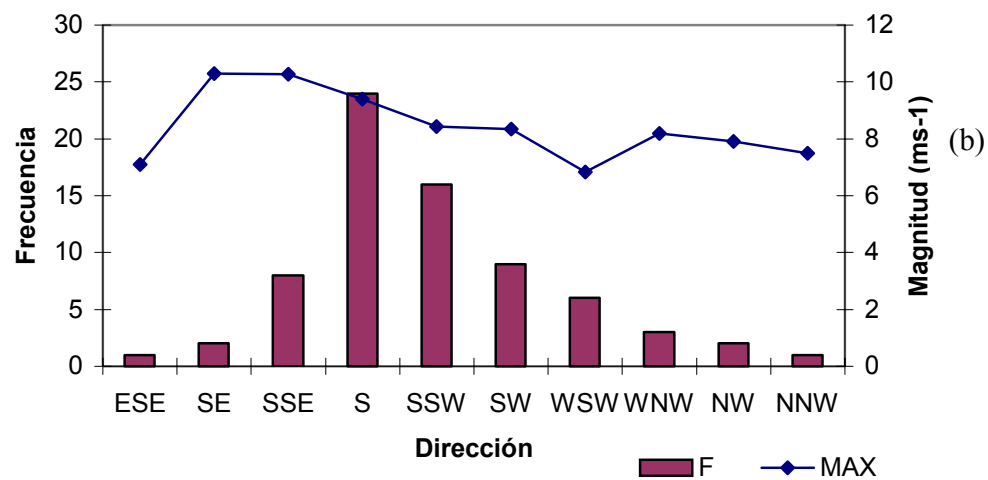
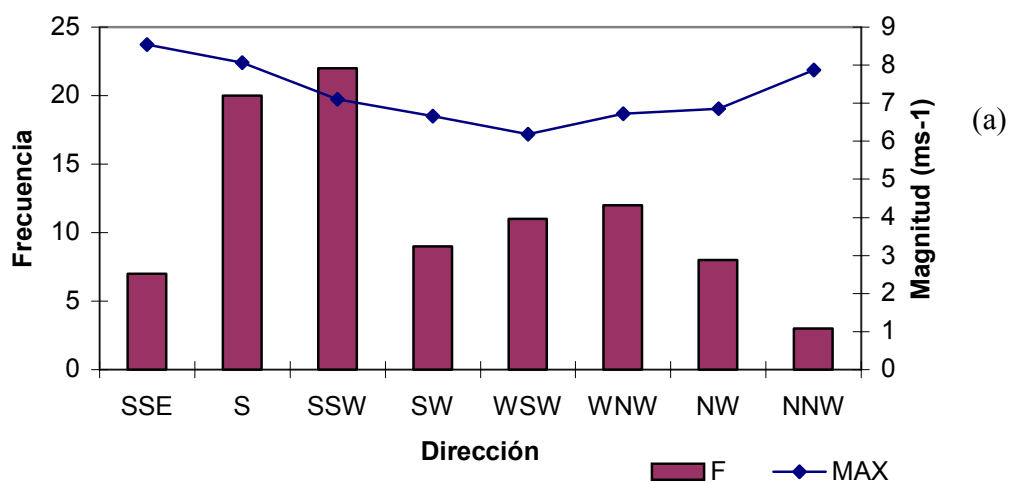


Figura 39. Frecuencia, magnitud y dirección de vientos en Estación “Block 2920” cercana al Estero Mélagos, Son, para los años: (a) 2004; (b) 2003 y (c) 2002.



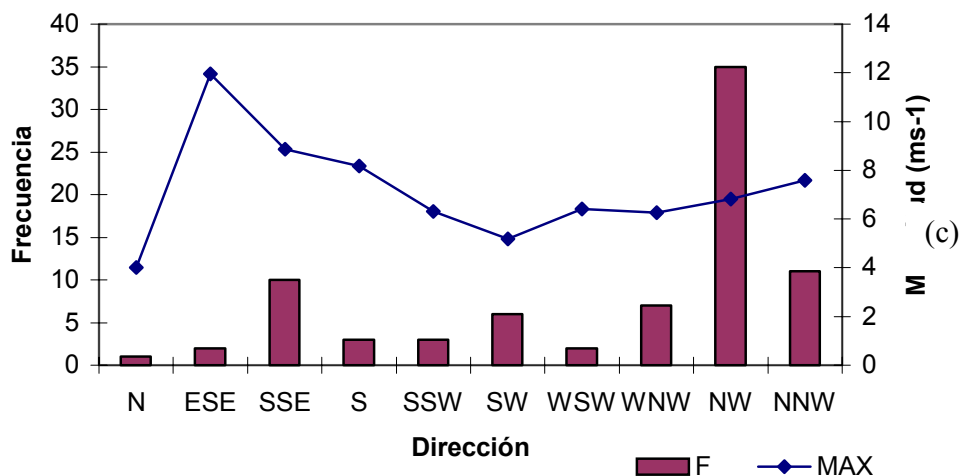


Figura 40. Magnitud, dirección y frecuencia de viento máximo en la Estación "Block 2920" durante 2004: (a) Primavera; (b) Verano y (c) **Invierno**.

4.2.5. Corrientes Costeras.

Son fundamentales para ubicar el mejor sitio para la construcción de las obras de toma y descarga. Es necesario identificar las corrientes dominantes, a fin de establecer el punto de toma, tal que este quede libre de la influencia de la descarga del propio parque o de desarrollos vecinos. Las mediciones de corrientes se llevaron a cabo con la instalación de una boya Oceanográfica marca INTEROCEAN de medición continua de parámetros. El sitio seleccionado fue la región comprendida entre la boca del estero los Mélagos y la descarga del dren colector No. 3, ya que se consideró representativo de la región preseleccionada para el establecimiento de la escollera (Figura 33).

Además, se realizaron mediciones directas del comportamiento de las corrientes costeras por el método Lagrangiano de medición, utilizando para ello una boya de deriva con GPS, que fue lanzada en distintos puntos a lo largo de la costa para graficar su trayectoria de desplazamiento en un tiempo determinado. Con ello fue posible evaluar su desplazamiento utilizando el tracking del GPS, y la distancia recorrida. Por lo que con la boya oceanográfica en un punto se determinaron velocidades promedios del orden de los 0.33 m/seg., mientras que el promedio de los desplazamientos medidos

con la boya de deriva equipada con GPS fue de 0.20 m/seg. Estas diferencias son atribuibles directamente al efecto del viento sobre la boya de desplazamiento que también recibe una influencia significativa de oleaje. En la figura 41 se observa la localización espacial de los lances realizados con la boya de deriva equipada con GPS.

4.2.6 Batimetría.

Batimetria de Detalle.

El levantamiento de la Batimetria de detalle en campo consistió en realizar una serie de transectos perpendiculares y a lo largo de la costa, para el registro de las profundidades utilizando una ECOSONDA GPS Marca Garmin 280 de alta precisión apoyandonos en una Lancha con motor fuera de borda y utilizando una Estación Total (Trimble) en tierra para la liga con un punto de la Rred Geodésica Nacional. (Figura 42). Seguidamente esos datos fueron bajados a la computadora para correr un programa de interpolación y hacer las correcciones por variación de la marea durante el período de mediciones. Es importante comentar que el levantamiento fue realizado en distintas campañas de medición debido a que las condiciones meteorológicas no eran muy adecuadas por las condiciones reinantes durante eventos de vientos fuertes. Uno de los criterios para llevar a cabo estas mediciones fue considerar alcanzar a determinar al menos la cota de los -3.5 metros, por considerarse la profundidad necesaria para el funcionamiento en todo momento de la escollera, aun en marea baja. Los resultados del levantamiento batimétrico se tienen de manera esquemática en la figura 43; pero se presentan con mayor detalle en el Plano Batimétrico en el apartado de Anexos de Planos.

Como puede observarse, las características de batimetría de la zona son variables. Se presentan profundidades de 0.5 m a 6.0 m, con pendientes suaves en la zona de playas y la presencia de bajos dispersos sobre todo en la zona de las bocas de los sistemas lagunares de Mélagos y Santo Domingo. Además se tienen una serie de bajos ocasionados por las descargas del dren colector No. 3. Sin embargo es importante señalar que el suelo marino es de pendientes suaves, sin afloramientos



Fig. 42. Detalles de la ecosonda utilizada para el levantamiento batimétrico en campo.

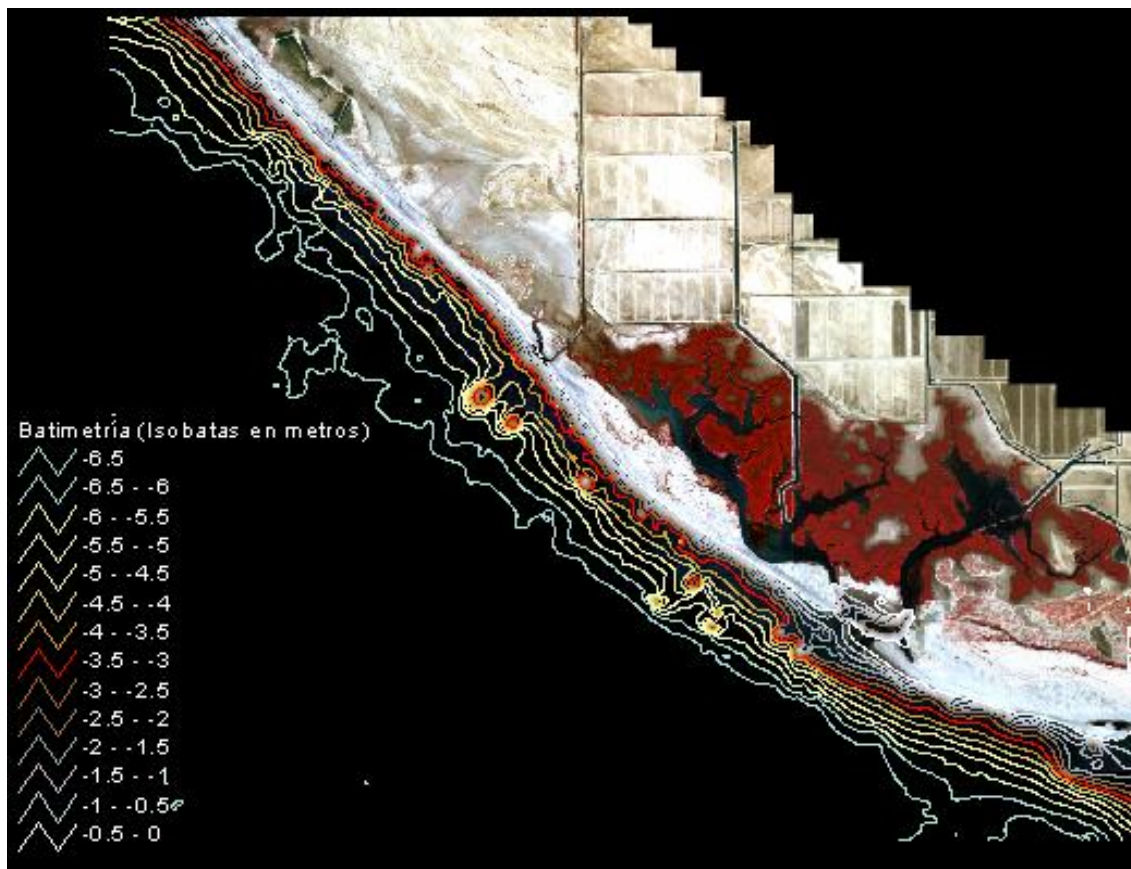


Fig. 43. Batimetría de la porción marina frente al estero.

rocosos o bajos importantes que pudieran cambiar la perspectiva de desarrollo del proyecto.

Las condiciones de profundidad son distintas de un sitio a otro. Si se comparan los tres sitios propuestos para la instalación de la obra, puede verse que la pendiente media al sur de la boca oscila en el 0.8 %, por lo contrario, al norte de esta, y en las inmediaciones los sitios propuestos Escollera Centro y Escollera Norte, las pendientes se ubican entre 1.11 y 1.3 % respectivamente. Estas pendientes medias, calculadas para efecto de este trabajo entre los 0 y –3.5 metros de profundidad, indican mayor profundidad en relación a la distancia al norte del sistema, y un comportamiento contrario al sur del mismo. El plano Batimetrico de detalle se presenta en el apartado de descripción detallada de las obras.

4.2.7. Dinámica Litoral.

Se realizaron transectos perpendiculares a la línea de costa con equipo de topografía de alta precisión, de tal manera que se pueda conocer la pendiente de la playa desde la duna hasta la zona de rompiente para verano. Se presentan los perfiles de la playa en la figura 44, mientras que la figura 45 se presentan las secciones respectivas. La finalidad es comparar los cambios en la estructura de playa ocasionados por la deriva litoral de sedimentos y poder cuantificar volúmenes de desplazamiento de sedimentos a largo de la playa, así como la dirección predominante.

Este levantamiento refuerza la metodología de determinar los volúmenes de sedimento transportado por los métodos empíricos e indirectos, con la desventaja de que solamente tienes el movimiento para el tiempo en el que se realizaron los levantamientos.

4.2.8 Conclusiones de la componente oceanográfica.

La distribución de vientos en la zona de Los Mélagos, Son., mostró que el promedio diario de velocidad de vientos fue de 1.5 ms^{-1} . Los valores máximos se asocian a la estación invierno-primavera, durante la cual los vientos provenientes del cuadrante norte son más significativos. La ocurrencia de vientos desde el cuadrante N-NE-SSE, generan un sistema local de brisas tierra-mar, las cuales de acuerdo a Roden (1964) por lo general no exceden a 2 ms^{-1} de magnitud y dominan de mayo a noviembre. Mientras que el resto del año, los vientos del cuadrante opuesto generan un patrón de brisas mar-tierra con velocidades de hasta 3.2 ms^{-1} . La duración del sistema de brisas en ambos casos es de aproximadamente 6 HR, dependientes de la estación del año y de mayor magnitud durante la tarde.

Los parámetros de oleaje obtenidos a partir de predicción, mostraron una relación estrecha con el comportamiento del campo de vientos regionales, caracterizado por la alternancia estacional, los cuales generan olas de hasta 0.75 m de altura y 9 segundos de periodo, durante los eventos de viento máximo y perturbaciones ciclónicas lejanas asociados a verano.

Las alturas y periodos de oleaje predichos para Mélagos, Son. fueron similares con los estudios reportados para las costas de Sonora (Tabla XII), y en particular para aquellos en los que se efectuó predicción. El clima oleaje reinante en la zona es local donde de acuerdo con Schwab *et al.* (1989), el oleaje dominante proviene de la dirección donde el Fetch es efectivo con periodos significantes más largos.

Ponce de León (1994), a través de un modelo de predicción de los denominados tercera generación (WAMDI Group, 1988), realizó una predicción de oleaje normal con datos de vientos obtenidos de diferentes estaciones meteorológicas ubicadas cercanas a la zona costera del golfo de California, y obtuvo una altura significativa de 0.5 m a 1 m para la costa oriental.

Para playas de arena de cuarzo ubicadas al sur de Sonora se han reportado varios estudios de oleaje (Burrola-Sánchez, 1995; Rosales-Grano, 1996 y Chávez-López, 2001); quienes coinciden en altura de ola significativa promedio de 0.3 m y periodos asociados entre 4 y 8 segundos (Tabla XI).

Tabla XII. Oleaje reportado para la costa del sur de Sonora.

Autor	Año	Mes	Duración	Localidad	Hs media	Hs máx.	Ts	Azimut	Instrumento
Burrola-Sánchez	1995	Oct-Nov	60 días	San Carlos	0.2	0.31 - 0.91	5.6	155° - 245°	S4DW
Rosales-Grano	1996	Oct-Nov	60 días	San Carlos	0.2	0.31 - 0.91	5.6	155° - 245°	S4DW
Chávez-López	2001	Oct-Nov	30 días	Guásimas	0.25	0.74	4.5-8.2	67.5° - 225°	S4ADW

A partir de Bahía Guásimas y hacia el sur las olas tienden a periodos largos debido a la extensa planicie costera que se presenta alrededor de la zona de rompiente, que usualmente cambia de forma estacional y esta separada de la línea de playa por más de 100 m.

De acuerdo, con los estudios arriba descritos, la dirección de aproximación de oleaje es del cuadrante sur al oeste-noroeste, con picos máximos del sur y del oeste durante eventos ciclónicos y del norte – noroeste durante invierno.

Al igual que la altura y el periodo de la ola, la dirección de aproximación es dependiente de la acción del viento y en consecuencia de los cambios estacionales. Asimismo, la geometría y orientación de la línea de playa son determinantes para proveer protección a la zona, sin embargo en el caso de playas abiertas, como el frente costero del estero “Los Mélagos” esta bajo la influencia de los dos cambios significativos de estacionalidad del oleaje: (i) primavera-verano, (ii) otoño-invierno.

En presencia de eventos ciclónicos la altura y período de oleaje presenta incrementos simultáneos y normalmente se asocian a la fase de disipación del evento. En la zona esto ocurre de mayo a noviembre, con mayor incidencia durante los meses de agosto a octubre y tiene una alta dependencia con el Monzón Mexicano (Douglas *et al.*, 1993).

Durante eventos ciclónicos los vientos provienen del N hacia el SSW, con mayor frecuencia de incidencia de NE y S (Burrola-Sánchez *et al.*, 2001), por efecto del giro anticiclónico de la circulación de masas de aire en el Hemisferio Norte (Reyes-Coca y Mejía-Trejo, 1991). Esto repercute en oleaje incidente desde la dirección S hasta el

WSW, con oleaje máximo del S y SW. De acuerdo a Ponce de León (1994), la altura de ola significativa esperada es del orden de 1.81 a 2 m con períodos típicos asociados de 10 a 12 segundos de aproximación del cuadrante S-SW.

Las perturbaciones atmosféricas o eventos ciclónicos han arribado a la costa de la Región de sur de Sonora con categoría de Depresión y como Tormenta Tropical (escala Saffir-Simpson). Estos eventos han originado precipitación anómala, vientos máximos sostenidos promedio en el período de 120 km/hr., rachas de hasta 150 km/hr. y velocidad promedio de 16 km/hr. De ellos, Isis (1998), Juliette (2001) y Marty (2003) han tenido mayor repercusión en la región (Figura 46), sin que se llegue a considerar de influencia fuerte en cuanto a generación de oleaje importante se refiere

La dirección del transporte fue altamente influenciada por el oleaje, ya que la aproximación oblicua del oleaje genera corrientes a lo largo de la costa principalmente en dirección norte para el oleaje más energético. Se encontró que la tasa promedio anual de transporte calculada por los modelos empíricos es superior al arrojado por el modelo determinístico GENESIS, esto se explica en función del algoritmo de éste último, el cual a través de iteraciones o pasos de tiempo realiza un balance estacional.

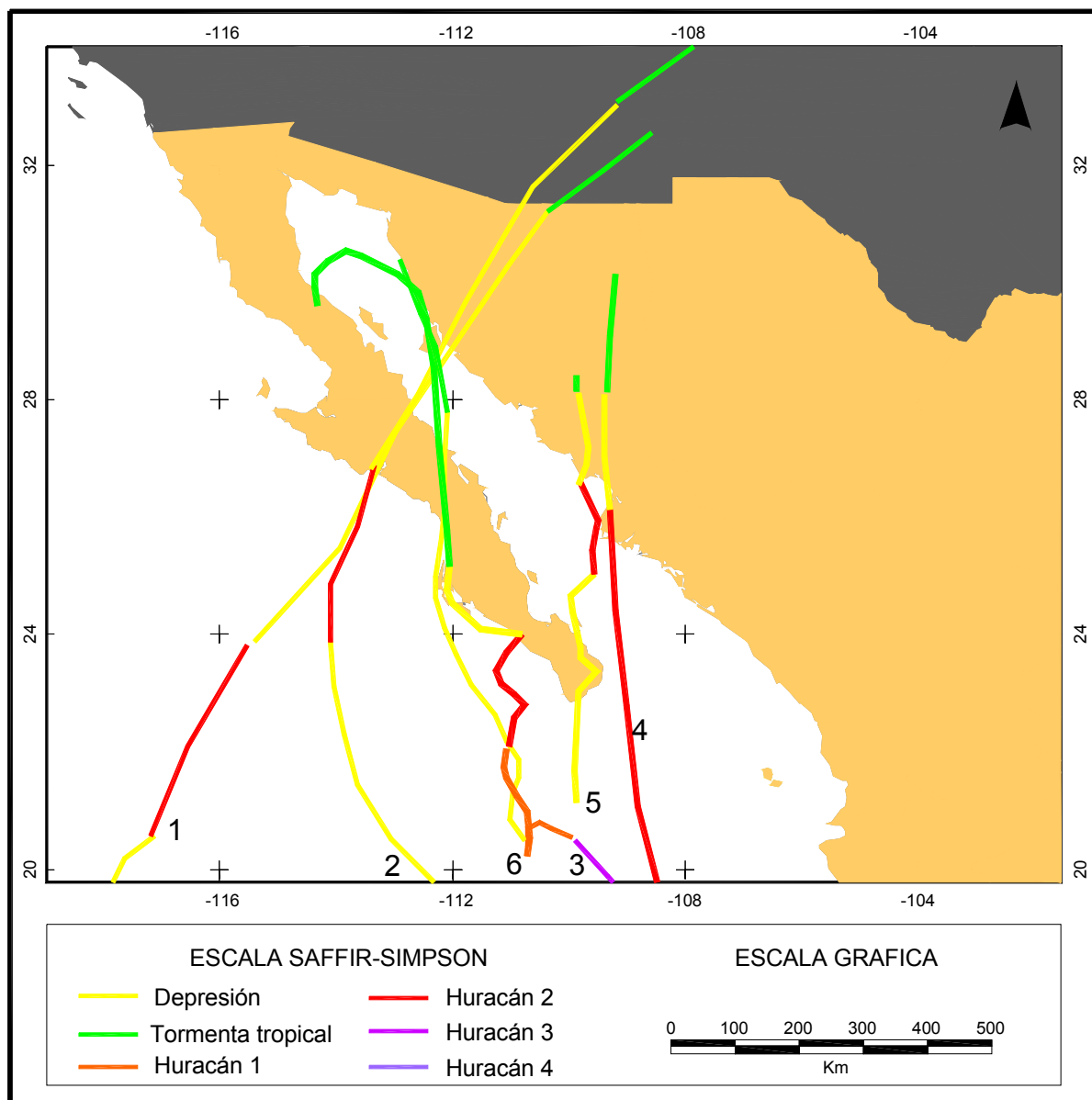


Fig. 46. Trayectoria de ciclones con incidencia en Bahía Kino, Son. de 1980 a 2001: (1) Raymond - 1989; (2) Lester - 1992; (3) Hilary - 1993; (4) Ismael - 1995; (5) Isis - 1998; (6) Juliette - 2001.

4.3. Mecánica de Suelos

Dentro de las actividades desarrolladas se incluye la obtención de información sobre las condiciones geológicas, sísmicas y mecánicas del lugar, llevando a cabo un programa de exploración y muestreo en campo dirigido a ubicar la litología, las condiciones de los depósitos de suelo existente y a la descripción superficial del sitio. Utilizándose la prueba de penetración estándar con equipo manual, para lograr accesar al sitio del proyecto, determinándose el muestreo y los ensayos penetración tras penetración, con recuperación de muestra en el tubo partido. En la Figura 48 se presenta la localización de los sitios donde se realizaron los sondeos.



Fig 47. Vista de la barra del estero Melagos, en el sitio donde se proyectó construir las obras de conducción de agua de mar hacia las granjas camaronícolas.

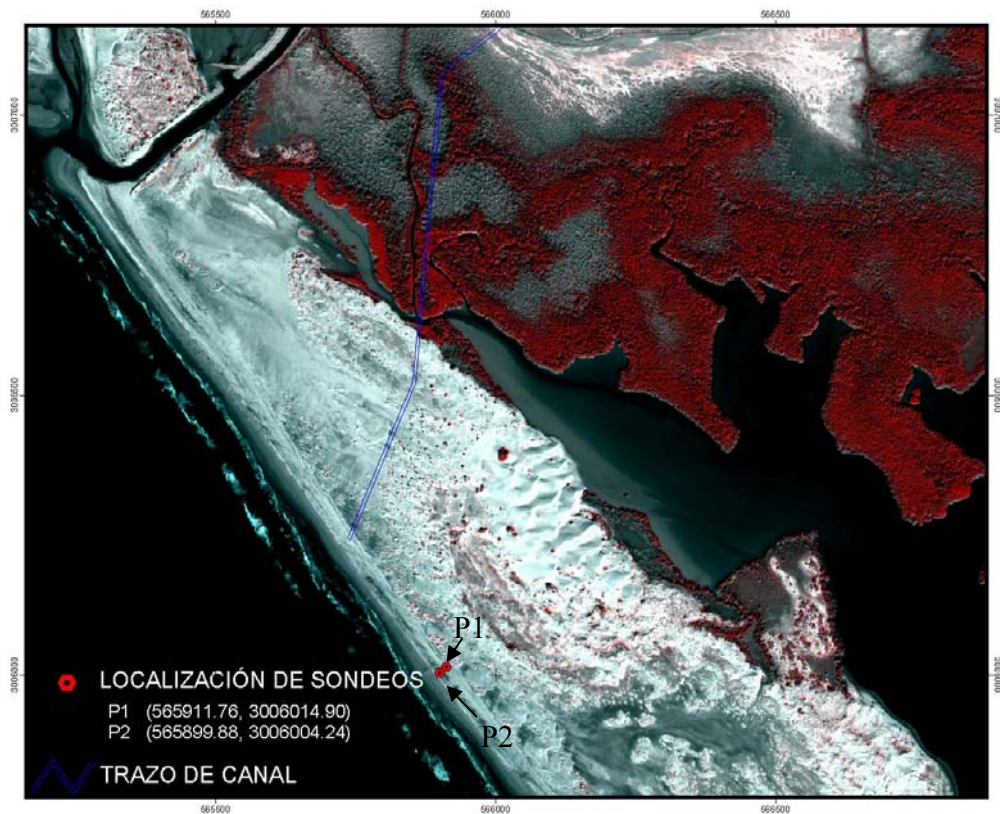


Fig. 48. Sitio donde se realizaron los sondeos de mecánica de suelos.

El objetivo de este estudio es determinar los taludes recomendados para el bordo de la escollera y del canal, la erosionabilidad de los materiales que compondrán los taludes del canal, la capacidad de carga de los materiales que soportaran los bordos de enrocamiento y la dragabilidad de los materiales que se encuentran en el sitio. En esta sección se indican los datos más relevantes para el diseño de la obra, pero El ANEXO DE MECÁNICA DE SUELOS detalla toda la información obtenida.



Fig. 49. Maniobras en los trabajos de campo del estudio de mecánica de suelos.

4.3.1 Descripción Superficial.

La topografía del área es prácticamente plana con una ligera pendiente general hacia el sur (zona de Playa) la cual se ve limitada en la misma por una duna que protege el estero.

4.3.2 Descripción Geológica

A partir de la información de la carta geológica del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) tenemos que:

La Llanura Costera del Pacífico abarca la porción sur, está formada por una planicie angosta paralela a la costa, que se desarrolló debido al avance lento de los

deltas de los ríos hacia el oeste. Se encuentra cubierta casi en su totalidad por depósitos no consolidados del Cuaternario, pero como resultado de la erosión han quedado al descubierto rocas metamórficas del Precámbrico y volcánicas del Terciario formando prominencias topográficas de poca elevación. Hacia el oriente, en el límite con la Sierra Madre Occidental, se localizan cuerpos intrusivos y una secuencia de calizas y lutitas del Cretácico. Otras rocas distribuidas en esta región son areniscas y conglomerados del Terciario Inferior.

De acuerdo a los sondeos realizados se concluye que el sitio donde se ubica el proyecto consiste de una combinación de depósitos que van desde el eólico, en la superficie, (dunas) hasta el marino y el pluvial (arenas finas de angulosas a subangulosas y arcillas).

La estratigrafía que se ubica en el predio, buza hacia la playa, donde la erosión constante de las olas han provocado que algunos estratos que se encuentran relativamente a profundidad y separados de la playa, queden expuestos en las zonas de mareas, principalmente en las de mareas bajas, específicamente hablando de las arcillas de alta compresibilidad de color café, de francas a arenosas.

4.3.3 Descripción Sísmica

De acuerdo a la regionalización sísmica de la Republica Mexicana de la Comisión Federal de Electricidad el proyecto se ubica en la zona B de riesgo sísmico, donde la zona A es la menos sísmica y la zona D la más sísmica.

Basados en la naturaleza de los materiales explorados (suelo tipo II), recomendamos para el diseño de la estructura, un coeficiente sísmico, “c” de 0.30, coeficiente de aceleración de terreno “ao” de 0.64, los dos periodos naturales característicos que definen la meseta “Ta(S)” y “Tb(S)” de 0.30 y 1.5 respectivamente y el exponente “r” de 2/3.

4.3.3 Descripción de Profundidad

Se realizaron 2 Perforaciones mediante tubo partido de Penetración estándar, con equipo manual, realizándose penetración tras penetración hasta llegar a la profundidad requerida.

El muestreo de los Sondeos se efectuó basándose en el ensaye de penetración estándar de acuerdo a la norma ASTM D1586, la cual consiste en hincar a base de golpes una cuchara muestreadora de 60 cm de largo y 5.08 cm de diámetro interior, mediante la energía proporcionada por un cuerpo de 64 kg de masa que se deja caer libremente desde una altura de 75 cm.



Fig 50. Maniobra de percusión para la penetración de la columna de muestreo.

El número de golpes determinados para cada estrato, la compacidad relativa y la densidad específica de los materiales permiten determinar las Capacidades de Carga de la cimentación, si se desea, estas condiciones mecánicas se pueden ver incrementadas notablemente si se construyen capas compactas bajo cimentación o en

las áreas en que se requiera mejores condiciones de desplante, o mediante la colocación de cimentaciones profundas (pilas o pilotes)

En el sondeo 1 que se perforó a una distancia aproximada de 50 m de la playa de bajamar, se presenta la siguiente secuencia estratigráfica:

De 0.00 a 0.60 m de profundidad, se ubica una arena fina café oscuro de compacidad relativa muy suelta, de 0.60 a 1.65 m se encuentra la misma arena de compacidad relativa suelta, detectándose un lente de aproximadamente 0.15 m de arcilla franca de alta compresibilidad color café, mientras que de 1.80 a 2.40 se tiene una arena arcillosa colora café con arenas finas de compacidad relativa suelta, para seguir a mayores profundidades con una arcilla muy firme, café claro hasta los 2.85 m y de 2.85 a 3.60 m de profundidad, un limo arenoso color negro de compacidad relativa suelta.



Fig. 51. Tubo partido con la muestra de material arcilloso y arcillo-arenoso colectado por la columna de penetración.

En el sondeo 2, se ubicó inicialmente la arena fina arcillosa muy suelta color café de 0.00 a 1.20 m de profundidad, de 1.20 a 1.67 se ubica una arena fina limpia de finos,

color gris de compacidad relativa muy suelta y de 1.67 a 2.30 una arcilla de alta compresibilidad, de consistencia firme, a partir de los 2.30 m y hasta los 2.80 se detectó la arena arcillosa color café y de 2.80 m a 3.00 m el limo arenoso color negro de compacidad relativa densa.

4.3.4 Datos de Diseño

Para clasificar la dragabilidad del suelo, se atendió a una especificación que se tiene para la clasificación de suelos de acuerdo a su Tamaño Máximo de Agregado (TMA) y al número de golpes que nos reporta la prueba de penetración estándar, estas especificaciones se anexan al final de este documento, también se consideraron los criterios de SCT y CFE, los cuales coinciden en gran medida con la clasificación que se proporciona.

De acuerdo a lo anterior, el total del material que se ubica en los sitios explorados, corresponde a material tipo "A", el cual es fácilmente dragable, con las cucharas y la maquinaria que se observó en las cercanías de la obra y que se tienen a un costado del banco de bombeo de agua de mar.

Debido a las condiciones sísmicas del lugar y si el material que se utilice para los bordos corresponde realmente a rocas, boleos y gravas gruesas (angulosas o no), se recomienda un talud 1.5(H):1(V), este talud cumple con las condiciones mecánicas para autosoportarse, en las condiciones de trabajo que se proyectan. En el mercado, existen unos elementos llamados geotubos los cuales son unos tubos contruidos con materiales resistentes al intemperismo y el oleaje, que se llenan con el material que se va a dragar, mediante el bombeo de materiales a su interior. Estos elementos se han colocado exitosamente en la protección de las playas de algunas ciudades de los Estados Unidos y presentan diversas dimensiones, que bien pudieran ser de utilidad en estas zonas donde los materiales petreos están retirados del lugar.

Se proporcionan las variaciones para los diferentes parámetros que se utilizan para los análisis de este tipo de estructuras, y con rojo se marcan los que se deberán utilizar de acuerdo con las características del suelo.

En lo que se refiere a suelos granulares sin cohesión, la mayoría de la información sobre la resistencia a la erosión proviene de estudios sobre estabilidad de suelos en el fondo de canales (Lane, 1958). De ella se desprende que un aspecto fundamental es la relación entre el tamaño de los granos del suelo y el esfuerzo erosivo. En los materiales no cohesivos, con diámetro medio inferior a 5 mm, la resistencia a la erosión parece ser bastante más eficiente que en los de mayor tamaño.

En lo que se refiere a suelos cohesivos, la información es mucho más precaria y no pasa de fijar una velocidad límite que no produzca erosión. En la Tabla XIII se presentan los valores máximos de velocidades no erosivas en algunas clases de suelos.

Tabla XIII. Valores máximos de velocidades no erosivas en distintas clases de suelos

<i>Material</i>	<i>Velocidad (m/s)</i>
Arenas finas y limos	0.40 a 0.60
Arcilla arenosa	0.50 a 0.75
Arcilla	0.75 a 1.00
Arcilla firme	1.00 a 1.50
Grava limosa	1.00 a 1.50
Grava fina	1.50 a 2.00
Pizarras suaves	1.50 a 2.00
Grava gruesa	2.00 a 3.50
Zampeados	3.00 a 4.50
Rocas sanas y concreto	4.50 a 7.00

Si estas velocidades se trasforman en el esfuerzo erosivo correspondiente, utilizando las ecuaciones 8-3 y 8-4, estimando el gasto que escurre, por ejemplo, puede llegarse a recomendaciones prácticas análogas a las incluidas en la Tabla XIV, que se refieren a suelos cohesivos colocados en el fondo de canales.

Tabla XIV. Esfuerzos que provocan erosión en suelos cohesivos en el fondo de canales (g/m^2).

Consistencia del material				
Material del fondo	Suelto	Poco compacto	Compacto	Muy compacto
Arcilla arenosa	180	700	1470	2800
Suelos muy arcillosos	140	670	1370	2540
Arcillas puras	108	560	1260	2380
Suelos poco arcillosos	90	430	960	1540

Independientemente del valor que puedan tener los números específicamente anotados en la tabla anterior, un punto que destaca es la influencia de la compactación en la resistencia a la erosión de los suelos cohesivos; para circunstancias similares, la resistencia puede aumentar entre 15 y 20 veces al pasar el suelo del estado suelto a uno muy bien compactado.

En cuanto a los taludes de los materiales nativos que conformarán el talud de los canales, debido al oleaje, a los tipos de materiales existentes y a las maniobras de dragado, se recomienda utilizar taludes 2.5(H):1(V), aunque es posible que debido a la condición suelta de la arena y a los procesos constructivos, este talud se pueda extender hasta 3(H):1(V), para evitar una acción agresiva de las olas, y poder lograr un talud como el recomendado inicialmente, o incluso menor, se puede utilizar un geotextil que proteja la cara del canal de la erosión.

En lo que se refiere a los cálculos de erosión de acarreo de material de azolve, en caso de no utilizar el método anterior de velocidad y esfuerzo se puede considerar el siguiente coeficiente K.

La erodabilidad **K** representa la susceptibilidad del suelo a la acción erosiva y será función de las características físicas de los suelos: textura, permeabilidad, capacidad de filtración, estructura, granulometría, contenido de materia orgánica, etc.

El SCS (Soil Conservation Service) clasifica a los suelos de la manera siguiente:

Suelos A De bajo potencial de escurrimiento, buena permeabilidad, por lo que la infiltración mantendrá valores altos, aún cuando estén húmedos. Pertenecen a este grupo los suelos gravosos, gravo-arenosos y arenosos gruesos.

Suelos B Mantienen moderadas velocidades de infiltración y mayores valores de escurrimiento. En este grupo se consideran a suelos arenosos, limo-arenosos con reducida presencia de materia coloidal.

Suelos C En estos suelos la infiltración es lenta, es frecuente la presencia de material muy fino, mezclados con partículas gruesas. A este grupo pertenecerán los suelos franco-arcillosos y franco-arcillo-arenosos.

Suelos D Estos suelos son los que presentan mayor potencial de escurrimiento. Se considerarán como suelos de este grupo a los de grano fino, que forman capas prácticamente impermeables por lo que la infiltración será muy lenta. En este caso se considerarán a los suelos arcillosos.

Tabla XV. Rango de Variación de K.

Tipo de Suelo	Rango de Variación de K
A	0.16 - 0.23
B	0.13 - 0.38
C	0.13 - 0.18
D	0.07 - 0.12

Los suelos de la dársena y los de los taludes del canal se consideraran suelos tipo B, y los de los fondos del canal se podrán considerar como tipo C. Para efectos de diseño se deberá tomar el valor más conservador del rango propuesto.

Se muestran las capacidades de carga para zapatas corridas desplantadas en los diferentes estratos, para este análisis se tomaron en cuenta las propiedades mecánicas obtenidas a partir de las pruebas de penetración estándar, ver tablas siguientes.

Sondeo 1

Capacidad de Carga Admisible	Df
(t/m ²)	(m)
0.9	0.60
2.0	1.20
3.9	1.80
4.3	2.40
7.6	3.00
7.6	3.60

Sondeo 2

Capacidad de Carga Admisible	Df
(t/m ²)	(m)
0.9	0.60
1.8	1.20
3.4	1.80
4.3	2.40
18.1	3.00

A las capacidades de carga mencionadas y para el tipo de estructura que se construirá, los asentamientos en condiciones serán despreciables y la mayoría ocurrirá durante la construcción, si se desea, estas condiciones mecánicas se pueden ver incrementadas notablemente si se construyen capas compactas bajo el nivel de desplante.

Para asegurar el correcto desplante de la cimentación, se recomienda que un ingeniero geotecnista esté presente en todos los trabajos de excavaciones para cimentación, para que identifique los materiales encontrados y determine el correcto nivel de desplante.



Fig. 52. Perforación exploratoria en el punto del segundo sondeo.

Este reporte proporciona información y recomendaciones sobre ingeniería geotécnica; no incluye, específicamente o por inferencia, ninguna valoración ambiental del lugar o identificación de materiales o condiciones contaminantes; estos temas están siendo valorados por los equipos de trabajo enfocados a la calidad ambiental actual y los elementos de riesgo que pudieran presentarse en las alternativas propuestas.



Fig. 53. Prospección y valoración de las condiciones de sustrato y calidad ambiental en la zona de interés para las obras propuestas.

La descripción de los suelos detectados en el depósito se hacen basados en las clasificaciones de campo y sus probables propiedades mecánicas se basan en resultados de las pruebas triaxiales, estas propiedades que pueden ser utilizados para el diseño de las infraestructura propuesta en el área que corresponda.

4.5 Descripción de las obras exteriores de protección.

4.5.1 Obra de toma.

Las obras para el abastecimiento de agua de mar desde el frente de playa, están compuestas por una escollera norte y una escollera sur. La escollera Norte (NW) con una distancia de 186.30 metros con rumbo N50 07'19"E y 46.16 metros con un rumbo de N3 09' 15"E, por lo que en total tiene una distancia de 232.46 metros. Mientras que la escollera sur (SE) tiene una distancia de 153.84 185.39 m con rumbo S 50 07'19" W y una curva con radio exterior de 73.72 m de 136.18 metros de longitud, por lo que total tiene 321.02 metros. Los espigones están constituidos por material de roca de alta densidad.

La obra de toma con conexión directa al mar en el frente de playa consistirá en un sistema de espigones (rompeolas) casi perpendiculares a la playa, hacia mar abierto formado por dos escolleras a base de roca con una plantilla de 20 metros y corona de 5 metros. La distancia de separación entre espigones es de 100 metros en la base de la playa y de 39.28 metros en la boca de la escollera mar adentro. La dársena formada entre los dos espigones constituye una boca artificial que permitirá la comunicación permanente entre el canal de llamada y el mar abierto.

Las escolleras tienen distancias distintas debido a la conformación y diseño, por lo cual la escollera norte tiene una longitud de 259.00 metros, mientras que la Escollera Sur derivado de la curva que tiene para protección del canal proveniente del embate del oleaje tiene una distancia de 321.32 metros. La altura máxima de los espigones en lo mas distal hacia el mar es de 3.5 metros por debajo del nivel medio del mar y la corona estará 1.5 metros por encima de la marea mas alta registrada en el año. La función de la escollera es evitar el azolve de la boca artificial y permitir en todo momento la circulación del agua hacia el interior del canal de llamada.

La conformación de estas estructuras será a base de roca de banco de material que se encuentran uo a 63.7 Km del sitio de construcción en las inmediaciones del poblado de Vicam, Sonora y otro a 81.6 Km. en las cercanías al Aeropuerto Internacional de Cd. Obregon, Sonora (Ver Figura 54) siendo estos los mas próximos a la zona. El proceso de enrocamiento de las escolleras es a base de roca de banco, como se describe en el Anexo de Memorias de Calculo. La escollera esta contemplado construirse con 3 capas principalmente: a) Nucleo,, b) capa secundaria y c) coraza, las cuales estan conformadas por tamaños diferentes de roca como se especifica en el citado anexo.

Los volúmenes de roca calculados que se utilizarán hacen un total 22380.08 metros cúbicos

La escollera será visible en un 50% de su longitud durante la marea baja, de acuerdo a los niveles de diseño, porque su función principal es servir como trampa del sedimento que se transporta por arrastre a causa de las corrientes litorales y el oleaje.

El volumen de sedimento a dragar en el área de la dársena será de 11,064.99 metros cúbicos, considerando la continuación del canal de 55 metros de plantilla hacia el interior de la dársena.

Para el cálculo del ángulo de orientación que tendrá la escollera, se utilizaron los valores de altura de oleaje, longitud de onda, periodo, y la refracción del oleaje, misma que se presentan en anexo PLANOS DE INGENIERIA. En el mismo anexo, el plano 1 corresponde al Plano General, el plano 2 al plano de Conjunto, que esquematiza una vista de la zona general del proyecto, la localización de la escollera, el canal de llamada la desviación del dren de descarga, así como la batimetría del área.

En el plano 3 se representa una vista de planta de la escollera. En el plano 4 aparece la localización geográfica de la escollera con sus rumbos y distancias.

El desplante de dichas obras de protección, tendrá inicio a una distancia de 31 metros tierra adentro, desde la línea de playa hasta la base de la duna, iniciando en la cota de los -3.0 metros, para lograr el amarre y estabilidad requerido tanto en el tronco como en el morro de las estructuras al momento de llevar a cabo el dragado en el canal de acceso y la dársena y poder obtener con seguridad un gasto hidráulico total requerido de 119 m³/seg. para un recambio de agua en 17 horas suficiente para soportar un desarrollo de 4200 has, considerando 2000 has mas de las ya existentes.

En virtud de que la estabilidad de este tipo de estructuras, es en función directa al peso específico de las unidades de la coraza, mismas que varían de acuerdo a las

formas de las unidades que la conforman, rugosidad, grado de interconexión que se logre durante la construcción, con las especificaciones de las rocas indicadas (densidad, forma dimensiones) en el Anexo de MEMORIAS DE CALCULO

4.5.2 Dragado.

4.5.2.1. Canal de Acceso. (dársena)

El proyecto contempla el dragado de un canal de acceso de sección variable trapezoidal hasta la cota de los -2.5 metros con respecto al n.m.m. (nivel medio del mar) con 70 metros de espejo de agua (ancho) y 153 metros de metros longitud con taludes de 2:1 y un volumen de dragado de 11064.99 m³ de material aproximadamente. Esta obra se puede realizar con una draga marina flotante de succión con cortadora, de un diámetro de 12", con la cual se obtendría un rendimiento aproximado de 30,000 metros cúbicos/mes (aprox 1000 metros cubicos diarios). En los planos de 5A a 5D se muestran las secciones de detalle de la dársena y escollera y y en el Plano 6 (Anexo PLANOS DE INGENIERÍA) se muestran las dimensiones de las diferentes capas y las especificaciones del material a utilizar para su conformación.

4.5.2.1. Canal de Llamada.

El trazo del canal de llamada para conectar la escollera en el frente de playa, con el cárcamo de bombeo del parque Mélagos tiene en total una distancia de 2,400.00 metros y un ancho total de 70 metros, con algunas deflexiones como se observa en el plano 7, además de que este mismo plano refleja la localización de las secciones cada 20 metros. En los planos 7A y 7B (Anexo PLANOS DE INGENIERÍA); se observa un acercamiento por tramos de todo el canal de llamada donde también se pueden observar los detalles de todas las secciones que lo componen. Para conectarlo con el canal de llamada del sur donde se abastecen las granjas 11 de Diciembre y el parque Santo Domingo, se utilizará el canal de llamada existente en un tramo de 660 metros Plano 7C y posteriormente se conectará con un

nuevo canal en una distancia de 2,164.29 que presenta al igual que el anterior deflexiones, cuyos detalles se observan en los planos 7D y 7E.

Este canal se construirá con sección variable trapezoidal, hasta la cota de los -2.5 metros con respecto al N.M.M. con 70 metros de plantilla al inicio y taludes de 3:1. El volumen total de excavación para la totalidad del canal de llamada es de 757,722.84 metros cúbicos.

Las secciones de detalle de todo el trayecto del canal de llamada se presentan en los planos 8 a 8P(Anexo PLANOS DE INGENIERIA).

4.5.2.1. Dren de Descarga.

Con la finalidad de asegurar que las descargas del Dren colector No. 3, no interfieran en ningún momento con el buen funcionamiento de la escollera, se pretende desviar dicho dren aproximadamente a 430.00 metros hacia el norte; lo cual implica que existirá una distancia de 1222 metros entre la descarga y la obra de toma. El dren se construirá con sección variable trapezoidal hasta la cota de -2.5 metros con respecto al N.M.M. y una distancia de 736.49 metros con algunas pequeñas deflexiones como se puede observar en el Plano 9 (Anexo de PLANOS DE INGENIERÍA). El volumen de corte calculado para este canal es de 88,334.34 metros cúbicos, y las secciones de detalle se presentan en los planos 9A, 9B y 9C.

4.6 Dispersión de contaminantes:

Conocer las tendencias de dispersión de contaminantes representa, sin duda, una de las consideraciones fundamentales para el diseño de ingeniería de la obra y la selección de sitio. En este trabajo se establecieron dichas tendencias en la salida actual del dren colector número 3, considerando condiciones de verano e invierno (Figuras 55 y 56). También se simularon considerando ambas estaciones, pero con un reencauzamiento hacia el norte de las aguas de este dren. Los parámetros de entrada en el modelo fueron:

- 1) Volumen de la descarga.
- 2) Densidad.
- 3) Duración de la descarga
- 4) Localización georeferenciada del área de contacto con la Costa.
- 5) Duración de la descarga.
- 6) Mareas.
- 7) Corrientes.
- 8) Viento (promedio).
- 9) Coeficiente de difusión y difusión de la descarga en agua de mar (constante).
- 10) Densidad de la descarga.
- 11) Densidad de agua de mar.

Estos parámetros se procesaron con ayuda del software HydroTrack, que modela la hidrodinámica y dispersión de las aguas de descarga generadas por el recambio. Los resultados, descritos en extenso en el anexo: ***dispersión litoral***, mostraron, que la pluma de dispersión de contaminantes no tendría efectos sobre la obra de toma. Los parámetros de invierno se distinguen por bajas velocidades y descargas mínimas provenientes del sistema acuícola. Los parámetros de verano se caracterizan por bajas velocidades de corriente y poca variación de amplitud de marea. Durante esta época del año la transición de mareas, el desplazamiento de la masa de agua tiende a invertir o disminuir su flujo. Con esto la pluma de la descarga propuesta se concentra y retrasa el tiempo de dilución y dispersión, lo cual ocasiona una estratificación bien diferenciada.

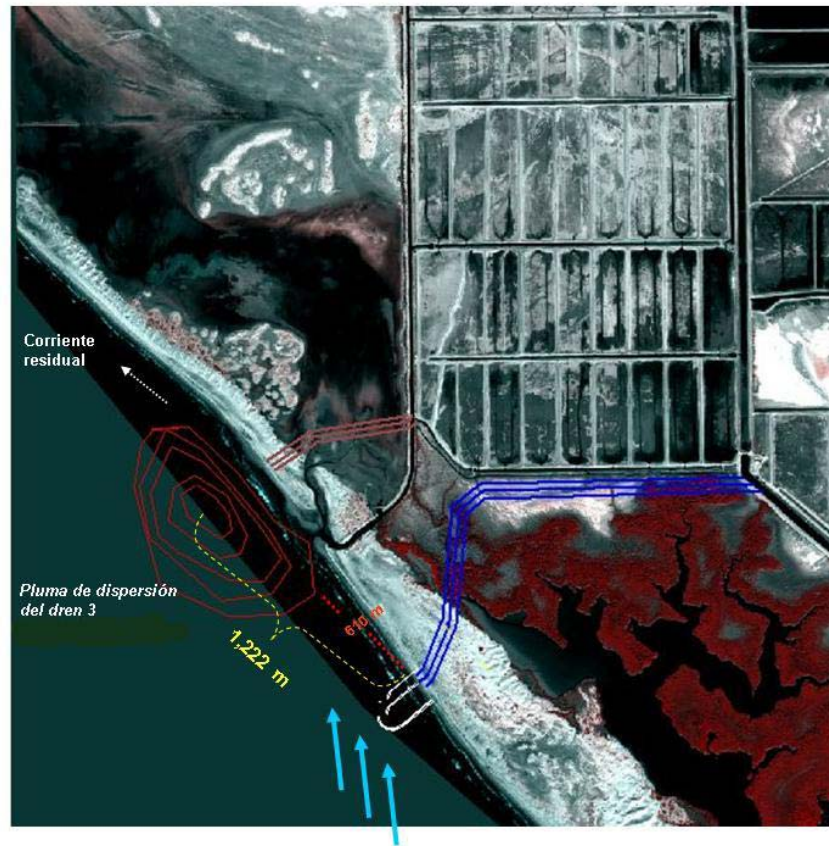


Fig. 55. Condiciones de dispersión en verano respecto a la obra de toma propuesta. En este caso aún no se ha simulado el reencauzamiento del dren número 3 hacia el norte, pero las condiciones de contaminantes no son críticas. Lo serán todavía menos cuando se reencauza hacia el norte dicho dren.

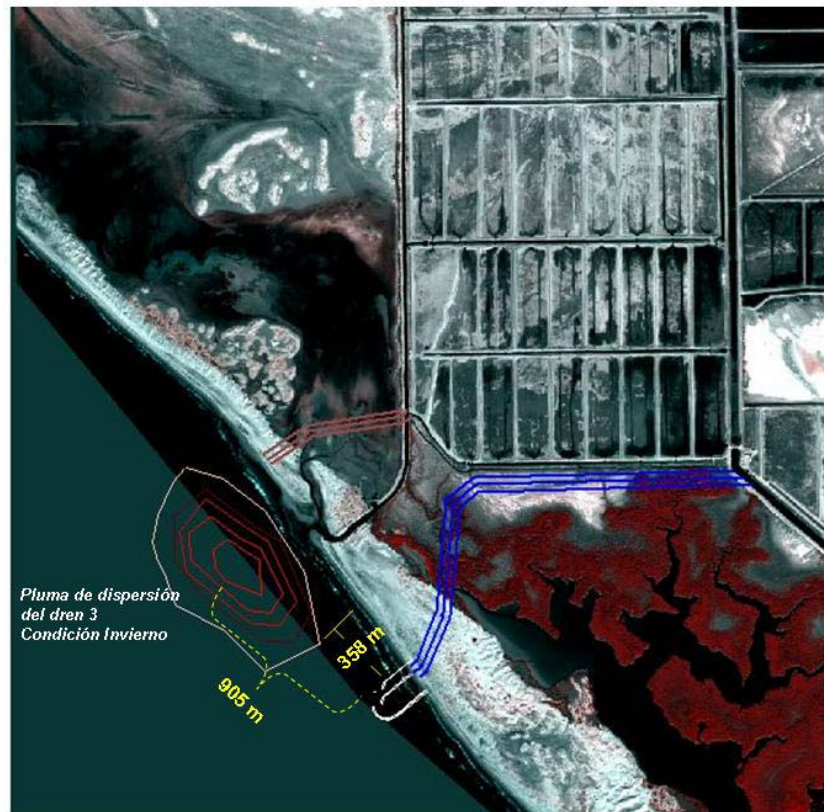


Fig. 56. Condiciones de dispersión en invierno respecto a la obra de toma propuesta. En este caso aún no se ha simulado el reencauzamiento del dren número 3 hacia el norte, pero las condiciones de contaminantes no son críticas . Lo serán todavía menos cuando se reencauza hacia el norte dicho dren.

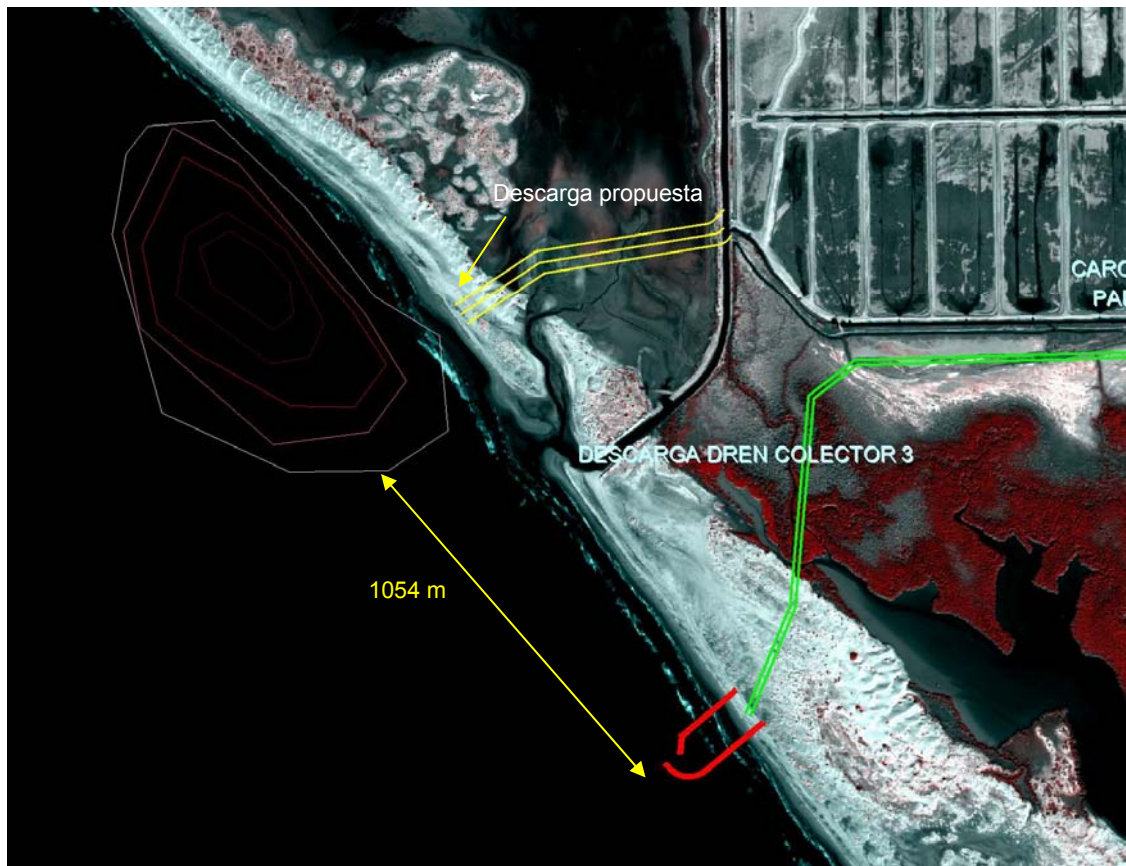


Fig. 57. Condiciones de dispersión en verano respecto a la obra de toma propuesta. En este caso también se simula el reencauzamiento del dren número 3 hacia el norte. La isolinea de concentración cero se encuentra a 1054 m de la escollera.

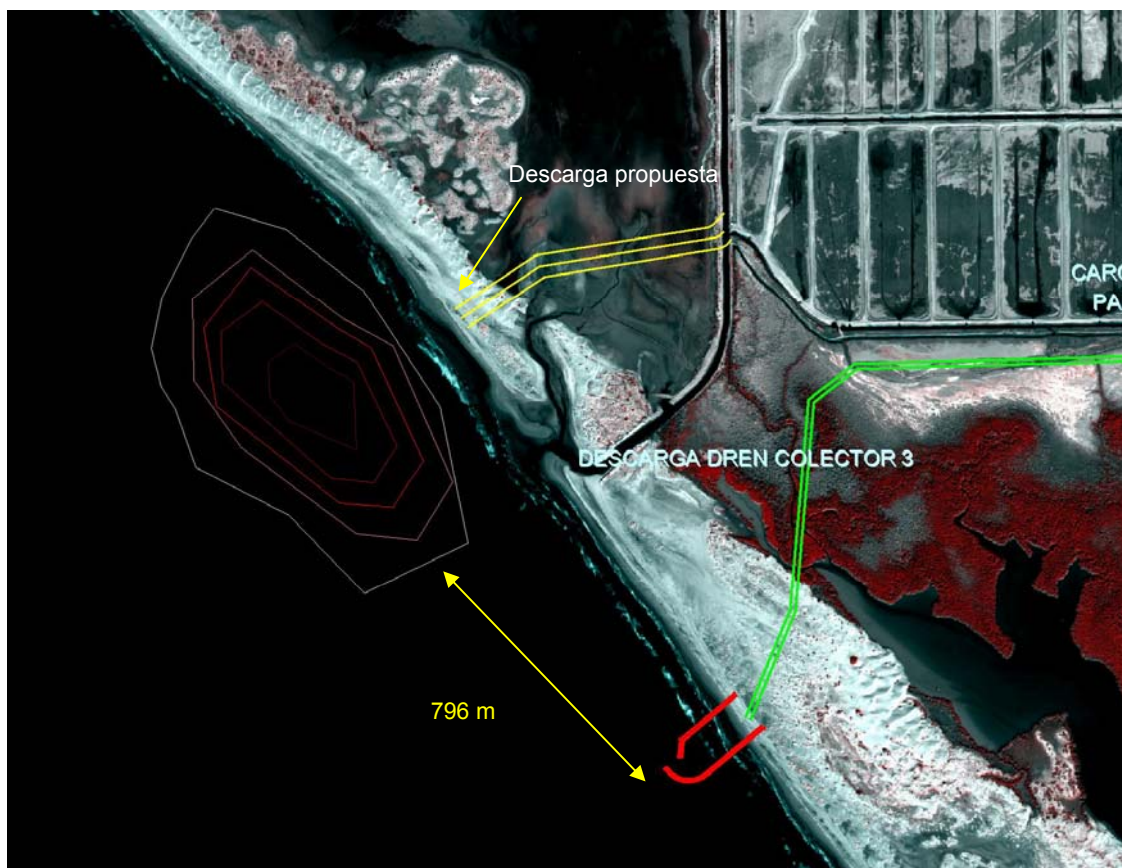


Fig. 58. Condiciones de dispersión en invierno respecto a la obra de toma propuesta. En este caso también se simula el reencauzamiento del dren número 3 hacia el norte. La isolinea de concentración cero se ubica a 796 metros de la obra de toma.

El modelo aplicado indicó que en condiciones de verano la descarga se hundirá y tenderá a fluir pegado hacia el piso oceánico, exponiendo la biota marina a una mayor concentración de sólidos en suspensión, pero sin afectaciones potenciales en la obra de toma.

En conclusión, bajo la ubicación actual del dren colector numero 3, en el escenario de Verano, con las granjas operando y bajo condiciones vigentes durante eventos importantes de lluvias asociadas a tormenta, **se puede esperar que no haya influencia directa de las descargas sobre la operación de la nueva escollera**

propuesta. Sin embargo, se recomienda que el actual punto de descarga del dren colector sea reubicado hacia el norte. Esta acción tendría un doble proposito: 1) Seguridad sanitaria (para las propias granjas y para el sistema lagunar) y 2) Protección ante eventos importantes de escurrimientos pluviales.

5. COSTOS DE LA OBRA.

Este es el costo estimado de la obra. Su desglose aparece en el Anexo de generadores de obra.

COSTOS DE LA OBRA						
		Cantidad	Unidad	Costo Unitario	Costo Total	Costo Total
	Concepto			US DLS	US DLS	\$ Pesos
1	Formación de escollera Norte	8817.69	m3	\$1.20	\$10,581.23	\$120,626.00
2	Formación de escollera Sur	13562.39	m3	\$1.20	\$16,274.87	\$185,533.50
3	Dragado de dársena	11064.99	m3	\$6.00	\$66,389.94	\$756,845.32
4	Corte Canal de Llamada	757722.84	m3	\$0.85	\$644,064.41	\$7,342,334.32
5	Corte Dren de Descarga	88334.34	m3	\$0.85	\$75,084.19	\$855,959.75
6	Barrenacion y extacción de roca	25299.29	m3	\$4.10	\$103,727.09	\$1,182,488.81
	Nota se considera 10% de rodamiento durante la extraccion y 10% de deslizamiento durante la colocacion sobre un volumen parcial de 22380.5 m3, para la conformacion de las escolleras					
7	Trabajos de desgarre de roca en cerro y carga en camion	40778.86	m3	\$1.80	\$73,401.95	\$836,782.21
	Acarreo de material con abundamiento del 60%					
	a) Primer Km	40778.86	m3	\$0.92	\$37,516.55	\$427,688.68
	b) Km 2-20	40778.86	m3	\$0.37	\$286,675.39	\$3,268,099.40
	c) Km 21-60	40778.86	m3	\$0.35	\$570,904.04	\$6,508,306.06
	d) Km 61-82	40778.86	m3	\$0.30	\$244,673.16	\$2,789,274.02
9	Regalias por extraccion de roca de banco	40778.86	m3	\$0.90	\$36,700.97	\$418,391.10
				Subtotal	\$2,165,993.79	\$24,692,329.17
				Iva	\$324,899.07	\$3,703,849.38
				TOTAL	\$2,490,892.86	\$28,396,178.55

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

Aldeco, J. y D. Salas. (1994). FÍSICA. In: G. de la Lanza-Espino y C. Cáceres-Martínez (eds.), Las Lagunas Costeras y el Litoral Mexicano. Universidad Autónoma de Baja California Sur (México), pp 75-126.

Barnes, R. 1977. THE COASTLINE. In: The Coastline. John Wiley and Sons. 3 pp.

Boorman, L.A. 1977. SAND DUNES. In: The Coastline. John Wiley and Sons. 161-169 pp.

Bravo-Peña, L. C. 1998. DISMINUCIÓN ANTROPOGÉNICA DE LA CAPACIDAD DE LIMPIEZA EN UN ECOSISTEMA COSTERO: EL CASO DE BAHÍA DEL TÓBARI, SONORA. Tesis Maestría en Ciencias; Facultad de Ciencias UABC. 164 pp.

Bowden, K.F. 1983. Physical oceanography of coastal waters. **Elis Horwood LTD**, New York, N.J. 301 p.

Burrola-Sánchez, M.S. 1995. Impacto de la construcción de escolleras en la línea de playa de la Bahía de San Francisco en San Carlos, Nuevo Guaymas, Son. Tesis Profesional, **Instituto Tecnológico del Mar-Guaymas**, Guaymas, Son. 74 p.

Burrola-Sánchez, M.S., D. Urias-Laborín, F. Dorado-Villanueva y M. Lagunas-Vasquez. 2001. Predicción de altura de ola significativa en Ensenada Costa Baja, B.C.S. Informe Técnico Externo, **CIBNOR, S.C. Unidad Guaymas**, 17 p.

Chávez-López, S. 2001. Morfología y dinámica litoral de la región lagunar de Guásimas, Sonora, México. Tesis Doctoral. **Universidad Politécnica de Cataluña**, Barcelona, España, 315 p.

CERC. 1984. Shore Protection Manual. Volume I. Department of Army, Waterways Experiment Station, Corps of Engineers, Coastal Engineering Research Center, Washington, D.C., 597 p.

Contreras, F. 1985. LAS LAGUNAS COSTERAS MEXICANAS. Centro de Ecodesarrollo-Secretaría de Pesca.

COLUMBIA. Journal of Environmental Planning and Management, 46(3), 365–379, May 2003.

Douglas, M.W., R.A. Maddox, K. Howard y S. Reyes. 1993. The Mexican Monsoon. *Journal of Climate*, 6, 1665-1677.

Gravens, M.B., N. Kraus y H. Hanson. 1991. GENESIS: A Generalized Shoreline Change Model for Engineering Use, Report 2, Technical Reference. Technical Report CERC-89-19, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, **Coastal Engineering Research Center**, Vicksburg, MS.

Dirección General de Infraestructura Pesquera (1981). ESTUDIO Y PROYECTO DE DRAGADO EN LA BAHÍA DEL TÓBARI, SONORA. REPORTE TÉCNICO. Secretaria de Pesca, Guaymas, Sonora, México, 170 pp.

Farina, A. 1998. PRINCIPLES AND METHODS IN LANDSCAPE ECOLOGY. Chapman & Hall. 235 pp.

GESAMP (1993). ANTHROPOGENIC INFLUENCES ON SEDIMENT DISCHARGE TO THE COASTAL ZONE AND ENVIRONMENTAL CONSEQUENCES. Gesamp reports and studies No 52, FAO-Rome, 67 pp

Gustavson, K. R. 2003. APPLYING THE PRECAUTIONARY PRINCIPLE IN ENVIRONMENTAL ASSESSMENT: THE CASE OF REVIEWS IN BRITISH

- Hernandez, A. 1997. LA METODOLOGÍA DE ANALISIS DE AMENAZAS COMO UNA HERRAMIENTA PARA LA PRIORIZACIÓN DE ACTIVIDADES DE CONSERVACIÓN: EL CASO DE LA RESERVA DE LA BIÓSFERA EL TRIUNFO, CHIS. Memorias III Congreso Nacional sobre Areas Naturales Protegidas de México "Dr. Miguel Alvarez del Tóro". SEMARNAP-Gob. del Edo. de Chiapas. 72 pp.
- Kattan, G.H., Alvarez-López, H., Giraldo, M. 1994. FOREST FRAGMENTATION AND BIRD EXTINCTION: SAN ANTONIO EIGHTY YEARS LATER. *Conservation Biology* 8, 138-146 pp.
- Komar, P.D. y D.L. Inman. 1970. Longshore sand transport on beaches. *Jour. Geophys. Res.*, 75 (30): 5914-27.
- Kuriyama, Y. y T. Nakatsukasa. 2000. A one-dimensional model for undertow and longshore current on a barred beach. ***Coastal Engineering***, 40, 39-58.
- Leyva, C. M. Angoa, A. Escofet. 1997. DEFINICIÓN DE UN CONTEXTO OPERATIVO PARA LA APLICACIÓN DE LAS POLITICAS DE PROTECCIÓN EN EL ESTERO DE PUNTA BANDA B.C. Memorias III Congreso Nacional sobre Areas Naturales Protegidas de México "Dr. Miguel Alvarez del Tóro". SEMARNAP-Gob. del Edo. de Chiapas. 73 pp.
- Leimgruber, P., Mc Shea W, J., Rappole, J. H., 1994. PREDATION ON ARTIFICIAL NEST IN LARGE FOREST BLOCKS. *Journal of wildlife management* 58:254-260 pp.
- Margalef, R. 1981. ECOLOGIA. Edit. Planeta. 157-166 pp.
- PIAES, 2004. [http://www. Pieaes.org.mx/estaciones.html](http://www.Pieaes.org.mx/estaciones.html)
- Ponce de León, A.S. 1994. Sensibilidad del modelo WAM a la variabilidad del viento. Tesis de Maestría. **CICESE**, Ensenada, B.C., México, 88 p.
- Priskin, J. 2003. PHYSICAL IMPACTS OF FOUR-WHEEL DRIVE RELATED TOURISM AND RECREATION IN A SEMI-ARID, NATURAL COASTAL ENVIRONMENT. *Ocean & Coastal Management* 46 (2003)127 –155 pp.

- Reyes-Coca, S. y A. Mejía-Trejo. 1991. Tropical perturbations in the Eastern Pacific and the precipitation field over North-Western Mexico in relation to the ENSO phenomenon. ***International Journal of Climatology***, 11, 515-528.
- Robson, C. (1993). REAL WORD RESEARCH: A RESOURCE FOR SOCIAL SCIENTIST AND PRACTITIONER-RESEARCHERS. (Oxford UK. & Cambridge, Blackwell).
- Roden, G. I. 1964. Oceanographic aspects of the Gulf of California. Marine Geology in the Gulf of California. En: T.H. van Andel y G.G. Shor Jr. (Eds.), **Memoir American Association Petrology and Geology**, 3:30-58.
- Rosales-Grano, P. 1996. Dinámica costera en Playa San Francisco, Guaymas, Son. Tesis de Maestría, **CICESE**, Ensenada, B.C. 80 p.
- Schawb, J.D., J.R. Bennett y P.C. Liu. 1984. Application of a simple numerical wave prediction model to Lake Erie. ***Journal of Geophysical Research***, Vol. 89 (C3):3586-3592
- The Nature Conservancy 2000. MANUAL DE PLANIFICACIÓN PARA LA CONSERVACIÓN DE SITIOS Y LA MEDICIÓN DEL ÉXITO EN CONSERVACIÓN. Volúmen 1. Segunda Edición.
- Viles, H. and T. Spencer. (1995). COASTAL PROBLEMS, GEOMORPHOLOGY, ECOLOGY AND SOCIETY AT THE COAST. Hodder Headline Ed. , London. 186 pp.
- Wilcove, D.S. 1985. NEST PREDATION IN FOREST TRACTS AND THE DECLINE OF MIGRATORY SONGBIRDS. *Ecology* 66:1211-1214 pp
- WAMDI Group. 1988. The WAM model. A third generation ocean waves prediction model. ***Journal of Physical Oceanography***, 18:1775-1810.

INDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN EJECUTIVO.....	xi-xxiv
1. INTRODUCCION.....	1
2. OBJETIVO.....	2
3. RESULTADOS PARTE I. COMPONENTE AMBIENTAL Y SOCIOECONOMICO	2
3.1. Diagnóstico integral del sistema Mélagos-Nalga de Hule. el caso del Estero Mélagos.....	2
3.1.1. Presentación.....	2
3.1.2 . Metodología para integrar el componente ambiental y socioeconómico.	3
3.2 Diagnóstico del sistema costero e implicaciones sobre el medio humano. ...	14
3.2.1. Cambios en el patrón hidrológico y procesos asociados:	14
3.2.2 Transformaciones actuales del paisaje.....	15
3.2.3. Contaminación y otros elementos de presión humana.	16
3.2.4 Situación del Sector Pesca Local.....	21
3.2.5 Limitantes para la actividad pesquera.....	26
3.2.6 Situación del sector acuícola:.....	29
3.2.7. Factores naturales y antropogénicos que conducen el deterioro del paisaje costero en el sistema Mélagos-Nalga de Hule y su cuenca de drenaje.....	33
3.3 Alternativas de solución a la problemática ambiental del sistema costero y su cuenca de drenaje.	35
3.4. Componentes ambientales relevantes para la planeación y selección de sitio: un análisis de elementos vulnerables a nivel de ecosistema.	36
3.5 . Descripción ambiental a nivel de sitio:	46
3.6. Aplicación de la Técnica de Análisis de Impactos y sus Fuentes.	56
3.6.3. SITIO SUGERIDO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA OBRA.....	63
4. RESULTADOS PARTE II. PROYECTO EJECUTIVO TÉCNICO.....	68
4.1 Geomorfología.	68
4.2 Oceanografía.	69
4.2.1. Oleaje.....	69
4.2.2. Transporte Litoral.....	75
4.2.3 Mareas.	79
4.2.4.Vientos.	82
4.2.5. Corrientes Costeras.....	87

4.2.6 Batimetría.....	88
4.2.7. Dinámica Litoral.	91
4.3. Mecánica de Suelos	98
4.3.1 Descripción Superficial.	100
4.3.2 Descripción Geológica.....	100
4.3.3 Descripción Sísmica	101
4.3.3 Descripción de Profundidad	102
4.3.4 Datos de Diseño	104
4.5 Descripción de las obras exteriores de protección.	110
4.5.1 Obra de toma.	110
4.5.2 Dragado.	114
4.6 Dispersión de contaminantes:	115
5. COSTOS DE LA OBRA	122
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:.....	123