

Arqueología de naufragios

Estudio de procesos de formación naturales en el sitio HMS Swift (puerto Deseado, Santa Cruz)

Autor:
Grosso, Mónica G.

Tutor:
Elkin, Dolores Carolina

2006

Tesis presentada con el fin de cumplimentar con los requisitos finales para la obtención del título Licenciatura de la Facultad de Filosofía y Letras de la Universidad de Buenos Aires en Ciencias Antropológicas.

Grado

TESIS 12-6-15

FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS	
829723	11 SEP 2006
Agr:	

**ARQUEOLOGÍA DE NAUFRAGIOS:
ESTUDIO DE PROCESOS DE FORMACIÓN
NATURALES EN EL SITIO *HMS SWIFT*
(Puerto Deseado, Santa Cruz)**

Mónica G. Grosso

UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES
FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS
Dirección de Bibliotecas

Tesis de Licenciatura en Antropología
con orientación en Arqueología

Directora: Dra. Dolores Elkin
Codirector: Dr. Ricardo Bastida

FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS - UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES

Septiembre de 2006

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	3
RESUMEN	4
1. INTRODUCCIÓN	5
2. LOS SITIOS ARQUEOLÓGICOS SUBACUÁTICOS	9
3. EL SITIO SWIFT	12
3.1. El contexto histórico y las circunstancias del naufragio.....	12
3.2. Características del barco.....	13
3.3. El sitio arqueológico.....	14
3.3.1. Descubrimiento del pecio y primeras intervenciones.....	14
3.3.2. El Proyecto Arqueológico <i>Swift</i>	15
3.3.3. Ubicación y condiciones ambientales.....	16
3.3.4. Descripción del sitio.....	19
3.3.5. Procesos de formación de sitio.....	21
4. ANTECEDENTES RELACIONADOS AL TEMA DE INVESTIGACIÓN	25
4.1. Procesos de formación en sitios de naufragio.....	25
4.2. Estudios de biodeterioro en ambientes marinos.....	38
4.2.1. Caracterización de las comunidades de <i>biofouling</i>	44
4.2.2. Caracterización de los organismos marinos perforantes de madera...	47
5. ENCUADRE TEÓRICO	63
5.1. Consideraciones respecto a los procesos de formación en el sitio <i>Swift</i>	66
5.2. Implicancias arqueológicas de la acción de las comunidades incrustantes (<i>biofouling</i>).....	67
5.3. Implicancias arqueológicas de la acción de los organismos marinos perforantes de madera.....	67
6. OBJETIVOS E HIPÓTESIS	69
6.1. Objetivos.....	69
6.2. Hipótesis.....	69
7. METODOLOGÍA	70
7.1. Relevamiento de los materiales arqueológicos.....	70
7.2. Estudio experimental.....	71
7.2.1. Materiales.....	71
7.2.2. Ubicación de los sistemas colectores experimentales.....	74

7.2.3. Técnica de muestreo.....	74
7.2.4. Análisis de los datos.....	77
7.3. Relevamiento de fuentes de evidencia no arqueológicas.....	78
8. RESULTADOS.....	79
8.1. Examen de los artefactos y estructuras	79
8.1.1. Asociación del <i>biofouling</i> con los materiales arqueológicos	79
8.1.2. Efectos de la fijación del <i>biofouling</i>	83
8.1.3. Observaciones <i>in situ</i> relacionadas con perforantes.....	84
8.1.4. Actividad de los organismos marinos perforantes en artefactos	85
8.2. Estudio experimental con sistemas colectores	91
8.2.1. Evolución de las comunidades incrustantes.....	91
8.2.2. Actividad de perforantes marinos	103
8.3. Relevamiento de fuentes de evidencia no arqueológicas.....	103
9. DISCUSIÓN.....	107
9.1. Procesos de biodeterioro en el sitio <i>Swift</i>	107
9.1.1. Propiedades del <i>biofouling</i>	107
9.1.2. Organismos perforantes.....	112
9.2. Protección <i>in situ</i>	122
10. CONCLUSIONES	126
GLOSARIO NÁUTICO.....	129
BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES DOCUMENTALES.....	131
ANEXOS.....	139

Créditos:

Las imágenes de la Figura 4.11 fueron realizadas por el Dr. Rôdrigo Bastida, la foto a) de la Figura 8.1 por el Sr. S. Massaro, y las de las Figuras 8.10, 8.11 y 8.12 por el Dr. Ricardo Bastida. Las restantes pertenecen al Proyecto *Swift*.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a mis directores, la Dra. Dolores Elkin y el Dr. Ricardo Bastida, por su orientación y apoyo para realizar esta tesis. A ambos reconozco con gratitud como mis maestros, ya que han sido las personas que más han influido en mi formación. Agradezco también a la Dra. Elkin porque a lo largo de mis años de estudiante me brindó su apoyo para seguir adelante, dándome la oportunidad de formar parte del equipo de investigación del Programa de Arqueología Subacuática (PROAS) del INAPL y de trabajar en esta profesión. El Dr. Bastida me guió con paciencia y entusiasmo en un área de trabajo nueva para mí, y sus valiosos consejos facilitaron mucho esta tarea. Debo agradecerle también su generosidad al brindarme bibliografía, y principalmente, los medios necesarios para realizar el estudio experimental que aquí se presenta. Al respecto deseo destacar también el trabajo del Dr. Juan Pablo Martín, el de la Téc. Océán. Mariqui Trassens y el de la Lic. Gisela Giardino del laboratorio de Ecología Bentónica y Biodeterioro (UNMDP) que el Dr. Bastida dirige, en la identificación de especies, el análisis de muestras y el procesamiento de datos.

Esta tesis es el resultado de varios años de trabajo, y no hubiera sido posible sin la valiosa ayuda de muchas personas. En primer lugar debo mencionar a los integrantes del PROAS, Amaru Argüeso, Cristian Murray y Damián Vainstub, gracias a quienes pudo llevarse a cabo el trabajo de campo y el relevamiento de artefactos que aquí se presenta. Jerónimo Angueyra, Nicolás Ciarlo, Laura Couto, Daniel Escobar, Néstor Juanola, Omar Juanola, Andrea Romandetti Dasso y Sol Tejada han colaborado en diferentes campañas en la realización de muestreos y en el registro fotográfico. Extiendo también mi agradecimiento tanto a las actuales como a las anteriores autoridades y personal del Museo Brozoski de Puerto Deseado: María Isabel Sanguinetti, María Ester Gonzalez, Verónica Dátoli, Alejandra Santi, Isabel Baio y Mónica Yanca; así como también a Alberto Orsetti, Jean Paul Bassaget, Esteban Frere y Patricia Gandini, todos ellos han contribuido en forma considerable en diversos aspectos de este trabajo. Virginia Dellino, David Gregory, Nerina Iantanos, Michael Jablonowski, Glenn McConnachie, Martijn Manders, Chris Underwood y Trevor Winton fueron muy amables al enviarme bibliografía a la cual de otro modo no hubiera tenido acceso. Amaru Argüeso, Solange Fernández Do Río, Luz Funes y Cristian Murray han dedicado tiempo a leer algunos capítulos de esta tesis y sus valiosos comentarios han sido de gran ayuda. Cristian Murray, realizó especialmente la mayor parte de los gráficos que aquí se presentan y me ha orientado en la organización y edición del material. En este sentido, también he recibido la colaboración de Damián Buzzuto, Ana Forlano y Anahí Re. Pili y Delfina Luque, Mercedes López y Pablo Grosso facilitaron - en más de un sentido- las últimas etapas de este trabajo.

Finalmente, agradezco a toda mi familia, especialmente a mis padres, Teresa y Tony, de quienes he recibido todo lo que realmente tiene valor en esta vida, porque me han alentado para lograr mis sueños y están a mi lado con su amor. A Pancho Requelme, de quien tengo el privilegio de seguir aprendiendo. A Rubén Caldano Drappo, mi maestro y amigo, porque fue quien me enseñó a descubrir mi propio camino. A los amigos con quienes hemos compartido esfuerzos y esperanzas, porque han estado en todo momento muy cerca de mi corazón.

RESUMEN

La investigación que se desarrolla en esta tesis forma parte del estudio de los procesos de formación naturales en el sitio *HMS Swift*, un barco de guerra de la Armada Británica que naufragó en 1770 en la ría Deseado (actual Puerto Deseado, provincia de Santa Cruz). El mismo se enmarca dentro del Proyecto Arqueológico *Swift* que lleva a cabo el Programa de Arqueología Subacuática (PROAS) del Instituto Nacional de Antropología y Pensamiento Latinoamericano (INAPL), bajo la dirección de la Dra. D. Elkin.

Este trabajo tiene como objetivo principal estudiar el rol de dos agentes naturales principales -el *biofouling* y los organismos marinos perforantes de madera- en la evolución del mencionado sitio. Considerando que la actividad de estos agentes puede producir el deterioro de los materiales arqueológicos y/o la alteración de su posición contextual, con la consecuente pérdida de información arqueológica, la comprensión de estos procesos se vuelve indispensable para elaborar conclusiones de validez respecto a la actividad humana del pasado que estamos estudiando. Información de este tipo es también fundamental para evaluar aspectos referidos a la conservación de los materiales y el manejo del sitio, así como para orientar decisiones relativas a la excavación y extracción de artefactos en función de su estado. Asimismo se espera que estos estudios contribuyan a generar modelos predictivos aplicables a otros sitios de naufragio de características similares.

1. INTRODUCCIÓN

A partir del siglo XVI, cuando las expediciones europeas llegaron por primera vez a las costas americanas al sur del Río de la Plata, la región comenzó a ser navegada intensamente. En un principio fue debido a la búsqueda de un paso que permitiera llegar al Pacífico para alcanzar las Indias Orientales; más tarde, diversos objetivos económico-políticos llevaron a explorar nuevas regiones y otras rutas de navegación.

Posteriormente, con el asentamiento y crecimiento de las poblaciones europeas y criollas en nuestros territorios, gran cantidad de vías fluviales y el extenso litoral marítimo fueron escenario también de la actividad de un creciente número de embarcaciones dedicadas a la explotación de recursos marinos, al transporte de pasajeros y de mercaderías, y también con fines militares.

La historia del hombre y sus actividades en el mar durante estos cuatro siglos ha quedado reflejado en una gran cantidad de naufragios que se produjeron a lo largo de todo ese período y que aún pueden ser encontrados en las aguas de nuestro litoral marítimo. Estos naufragios constituyen el testimonio tangible de nuestro pasado; no sólo en lo que respecta específicamente a aspectos náuticos o de nuestra historia marítima, sino también en cuanto a contextos sociales y económicos-políticos más amplios.

La existencia de fuentes de información escritas referidas a dichos períodos históricos es considerada como un medio valioso para acceder al conocimiento del pasado, sin embargo, el estudio de la evidencia material permite a la arqueología una aproximación independiente para el estudio de las sociedades del pasado (Goñi y Madrid 1996). Los pecios -embarcaciones naufragadas o restos de las mismas- que son de interés arqueológico ofrecen oportunidades únicas para ello. Esto se debe a que en este tipo de sitios es posible encontrar un conjunto altamente diverso de evidencia material para la cual puede establecerse un alto grado de contemporaneidad, lo cual difícilmente puede afirmarse respecto a otros sitios arqueológicos (Muckelroy 1978). Excepciones a ello son ciertos sitios originados a partir de acontecimientos catastróficos, como por ejemplo, una ciudad que ha quedado cubierta rápidamente por lava debido a la imprevista erupción de un volcán, como el caso de Pompeya o Herculano (Bastida et al. 2004).

El contexto de depositación en el que más frecuentemente se encuentran los naufragios es, obviamente, bajo el agua. Este ambiente puede ofrecer condiciones apropiadas para permitir una muy buena conservación de los materiales arqueológicos, lo cual constituye otro de los rasgos característicos de este tipo de sitios. Esto es notable, especialmente, en lo que respecta a materiales de origen orgánico, por lo que en el caso de embarcaciones construidas en madera puede favorecer el mantenimiento de la integridad estructural de los restos.

Debido a las características que se han señalado en los párrafos precedentes, en muchas oportunidades se suele referir a los pecios como "cápsulas del tiempo". Sin embargo, esto no significa que deba pasarse por alto la importancia de estudiar los procesos que, invariablemente, tienen lugar en la formación los sitios de naufragio.

Teniendo en cuenta que la supervivencia y la distribución de los distintos materiales que componen un sitio arqueológico condiciona la naturaleza de lo que observamos, debemos preguntarnos acerca de cuáles son y de qué modo han actuado estos procesos, para evaluar adecuadamente las interpretaciones que están basadas en ese registro (Dean et al. 1992).

En sitios arqueológicos que se encuentran en ambientes subacuáticos es fundamental la dinámica de la relación existente entre los restos culturales y el medio natural en el que se encuentran. Esta relación presenta características muy diferentes a las que tienen lugar en sitios terrestres. Bajo el agua los procesos físicos, químicos y biológicos que operan son regulados por la acción de tres agentes principales: el agua (en función de sus diversos parámetros: temperatura, salinidad, corrientes), el sustrato (fondos sedimentarios o rocosos) y los organismos vivos (a su vez interactuando con las demás variables) (Bastida *et al.* 2004). De todos ellos, el estudio de la interacción entre los materiales arqueológicos y la presencia de organismos vivos es probablemente uno de los aspectos más complejos debido a que todo sustrato material que se encuentre bajo el agua y no haya sido cubierto por sedimento será colonizado por seres vivos, desde bacterias y hongos hasta macroorganismos. En los últimos años los estudios sobre biodeterioro de materiales nos han alertado sobre el daño físico (mecánico) o químico que estos distintos tipos de organismos pueden ejercer en forma directa o indirecta sobre cualquier tipo de material que funciona como sustrato artificial (ver, por ej., Bastida 1977; Bastida y Lichtschein 1981).

Los pecios suelen transformarse rápidamente en verdaderos arrecifes artificiales al atraer gran cantidad de organismos que acuden allí en busca de protección, de alimento o, particularmente, de un sustrato duro al cual fijarse. Las distintas especies que colonizan sustratos artificiales son denominadas en forma general como "comunidades incrustantes", o bien con el término inglés de "*biofouling*". En ambientes marinos, los cuales presentan una biodiversidad mayor que los de agua dulce (Bastida et al. 2001), estas comunidades suelen alcanzar gran desarrollo.

Asimismo, cuando nos encontramos frente a restos náufragos de barcos antiguos contruidos en madera, debemos considerar especialmente la presencia de otro tipo de organismos. Este grupo está constituido por diversas especies de moluscos y crustáceos marinos especializados en perforar madera. Esta actividad es reconocida como una de las principales causas de biodeterioro de dicho material, pudiendo incluso llegar a causar la destrucción total de los pecios.

Afortunadamente, en la última década, las investigaciones relativas a los procesos de formación naturales en sitios de naufragio han recibido atención creciente, por lo que se ha avanzado en la comprensión de muchos de los procesos involucrados. Sin embargo, las consecuencias de la fijación y acción de las comunidades incrustantes o *biofouling* y de los organismos marinos perforantes de madera en estos sitios aún no se ha estudiado adecuadamente.

Precisamente, el objetivo de esta tesis es el estudio del rol de ambos grupos de organismos en la evolución del sitio *HMS Swift*, embarcación perteneciente a la Armada Británica hundida en 1770 en la ría Deseado (Puerto Deseado, provincia de Santa Cruz). Este trabajo forma parte del Proyecto Arqueológico *Swift* (Elkin 1997), dirigido por la Dra. D. Elkin, en el marco del cual se llevan a cabo las investigaciones arqueológicas en el sitio desde el año 1997. El mismo se desarrolla dentro del Programa de Arqueología Subacuática (PROAS) del Instituto Nacional de Antropología y Pensamiento Latinoamericano (INAPL). El sitio *Swift* se destaca especialmente porque presenta un estado poco frecuente en cuanto a la integridad y coherencia de

sus componentes y al muy buen estado de conservación de sus diversos elementos. Mientras que gran parte de los restos se están cubiertos por el sedimento, cerca de un 60% de su estructura, así como algunos artefactos, se encuentran aún expuestos. Excepto en el caso de algunos metales que resultan tóxicos para los organismos, todos estos materiales se encuentran colonizados por *biofouling*.

Además, se ha observado en el sitio que en ciertos objetos de madera se encuentran atacados por organismos marinos perforantes. Hasta el momento se desconoce si en la actualidad los mismos continúan en actividad en el pecio.

Un aspecto primordial de esta investigación es poder evaluar la acción biodeteriorante de ambos tipos de agentes, tanto en el presente como desde el naufragio de la *Swift*. Por lo tanto, se buscará identificar las distintas especies de *biofouling* que caracterizan al sitio, conocer en forma preliminar sus ciclos de vida y comprender su acción sobre los distintos materiales arqueológicos. Esto apunta a poder evaluar si los mismos ejercen algún tipo de protección sobre ellos o, por el contrario, si pueden llegar a constituir un factor prejudicial -desde un punto de vista físico, químico o biológico- para la conservación de los mismos. En cuanto a los organismos perforantes de madera, se busca determinar si su actividad continúa en la actualidad en el pecio. En caso afirmativo se identificarán las especies presentes, sus ciclos evolutivos y patrones de comportamiento.

Considerando que la destrucción de materiales y/o la alteración de su posición contextual tiene como consecuencia la pérdida de información arqueológica, la comprensión de estos procesos se vuelve indispensable para orientar las interpretaciones que se realizan en base al registro que estudiamos. Por otro lado, los resultados de esta investigación aportarán información relevante para guiar aspectos relacionados a políticas de conservación de los distintos materiales arqueológicos in situ, tanto a corto como a largo plazo. También influirá en la toma de decisiones relativas a la excavación y extracción de artefactos, así como a su tratamiento posterior en el laboratorio. Es de esperar que el procesamiento de esta información aportará en el futuro elementos para la construcción de modelos predictivos para sitios de naufragios que presenten condiciones ambientales similares.

El desarrollo de esta tesis se inicia con un capítulo referido a las características de los sitios arqueológicos subacuáticos y las particularidades de los sitios de naufragio en ambientes marinos. Luego, en el capítulo referido al sitio *HMS Swift* se señalan las circunstancias de su naufragio y las características de la embarcación. Asimismo, se mencionan las primeras intervenciones en el pecio y el desarrollo de la investigación arqueológica. Por último, se describe el sitio, las características del ambiente en el que se encuentra y se comentan aspectos relativos a los procesos de formación del mismo.

Seguido a ello, se realiza una revisión de los antecedentes de investigación en el estudio de los procesos de formación naturales en sitios de naufragio. Luego, se mencionan las contribuciones de la biología marina para el estudio de biodeterioro de materiales en relación al *biofouling* y a los organismos perforantes de madera. Se señalan también aquí las características principales de ambos tipos de organismos.

A continuación se indican los supuestos teóricos y los conceptos principales que han guiado esta tesis. De acuerdo a los objetivos planteados, se postulan las hipótesis de trabajo. A partir de las mismas se propone el desarrollo de una metodología para el estudio de los temas planteados, la cual incluye la aplicación de un estudio experimental.

Finalmente, los resultados de esta investigación son presentados y discutidos en las últimas secciones.

2. LOS SITIOS ARQUEOLÓGICOS SUBACUÁTICOS

Bajo el agua puede encontrarse actualmente gran diversidad de vestigios materiales que son manifestación de la vida del hombre en el pasado. Desde la antigüedad muchas poblaciones han asentado sus viviendas en las proximidades de ríos, lagos y costas marítimas, o incluso han construido sus casas en las mismas aguas (palafitos). Han modificando su entorno para el aprovechamiento de este vital recurso (represas, canales), se han servido de ellos como medio de transporte y comunicación (embarcaciones), como fuente de obtención de alimentos (pesca, recolección de mariscos, etc.) o para la extracción de otros productos de valor ornamental o utilitario (perlas, esponjas). Frecuentemente los lagos, mares, cenotes o ríos han sido utilizados para el descarte de desechos; sin embargo, en algunos casos, al ser considerados como lugares sagrados, fueron depósito de ofrendas (Luna Erreguerena 1982). Además, bajo el agua también puede encontrarse otro variado rango de evidencia arqueológica, producto de actividades que no necesariamente estaban vinculadas a un contexto acuático, y que han quedado sumergidas accidentalmente (como, por ejemplo, aviones caídos al mar) (ver MacLeod 2006).

En definitiva, más allá de la diversidad de sitios que pueden encontrarse sumergidos bajo el agua, existen dos importantes aspectos que hacen que la evidencia arqueológica que se encuentra en este contexto tenga un gran potencial para responder preguntas sobre el pasado humano (Dean *et al.* 1992). Por un lado, se trata de que bajo el agua pueden encontrarse ciertos sitios que difícilmente pueden ser localizados en tierra:

- resultado de un accidente, pérdida, depósito intencional o descarte en un medio acuático (el ejemplo más común es un barco hundido, pero también puede tratarse de artefactos tales como ofrendas, elementos de pesca, basura);
- construcciones realizadas directamente en el agua, las que no pueden ser cabalmente estudiadas con metodología terrestre (casas palafito, puentes, represas, muelles, estructuras relacionadas con la pesca);
- ocupaciones humanas localizadas sobre las líneas costeras o en sus proximidades que han quedado sumergidas por el ascenso de las aguas o el descenso del nivel de costas.

Por otro lado, los sitios subacuáticos son relevantes en la medida de que las condiciones del medio pueden permitir una muy buena conservación de los materiales arqueológicos que se encuentran sumergidos. Por consiguiente, esta característica constituye una ventaja incluso para aquellos sitios que habrían podido originarse también en contextos terrestres, ya que bajo el agua el registro arqueológico podría presentar una mayor integridad. Esto se explica por dos razones: en primer lugar, el hecho de que estén cubiertos por agua limita de por sí el acceso a ellos, quedando en general a salvo de saqueos o remociones y de la mayoría de los procesos de deterioro

que la acción directa o indirecta del hombre puede ocasionar en sitios en tierra. En segundo lugar, las características del medio ambiente en el que se encuentran tienen un rol decisivo en la conservación de los materiales, particularmente en lo que se refiere a elementos de origen orgánico (ver Fig. 2.1). Condiciones similares sólo se encuentran en ambientes que presentan condiciones de extrema humedad (congelados o anegados) o de extrema sequedad (Renfrew y Bahn 1993: 57).

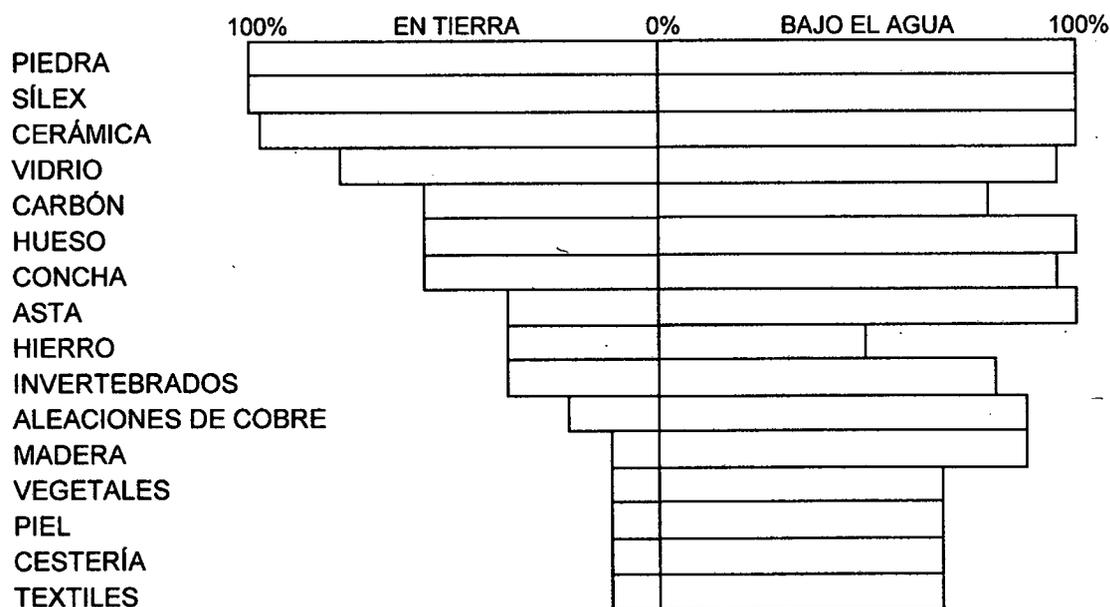


Figura 2.1. Supervivencia de los materiales arqueológicos en sitios subacuáticos y en sitios en tierra (adaptado de Dean et al. 1992 y Renfrew y Bahn 1993).

Estas circunstancias son de relevancia al considerar la dinámica de la formación de los sitios arqueológicos sumergidos. En términos generales, puede afirmarse que incluso en aquellos casos en los que la actividad humana haya tenido un alto grado de participación, son las condiciones del medio y su particular dinámica los factores determinantes en la supervivencia y distribución de los materiales.

Debe aclararse que hasta el momento se ha utilizado en forma generalizada el término "subacuático" para hacer referencia a un contexto de depositación en el cual los materiales arqueológicos están cubiertos en forma permanente por agua. Es decir que estos pueden ser arroyos, ríos, estuarios, lagos, lagunas, cenotes, costas marítimas, mares u océanos. Más allá de los rasgos generales que definen a cada uno de estos medios como tales, existen tres tipos de agentes principales que están presentes en todos ellos; la combinación de sus distintas variables determinará las características del medio. A partir de ellos, y en estrecha relación con de las propiedades particulares de los distintos materiales, se producirán diversos procesos físicos, químicos y biológicos que darán forma a un sitio arqueológico (Bastida et al. 2003; Bastida et al. 2004). A continuación se indican los distintos agentes y sus propiedades más relevantes.

1. El agua: considerando ciertas variables y parámetros físico-químicos asociados a ella como la temperatura, luz, salinidad, pH, contenido de materia orgánica, oxígeno, nutrientes, turbulencia, intensidad y dirección de las corrientes.
2. El fondo: en cuanto a su profundidad y a las características básicas del sustrato que lo tipifica, pudiendo ser éstos de dos tipos principales: a) duros (constituidos por rocas de diverso origen), en los que importa conocer el estado, dureza y composición química, o b) blandos (sedimentarios), en donde debe considerarse la granulometría, composición química, contenido de agua, contenido de materia orgánica, contenido de oxígeno (potencial Redox) y las características generales de su dinámica.
3. Los organismos vegetales y animales: se incluye aquí desde microorganismos como bacterias y hongos hasta organismos superiores, así como las comunidades o asociaciones que entre ellos configuran. Organismos que erosionan o perforan madera, roca, cerámica; organismos que cavan en el sedimento. La biodiversidad del medio dependerá de cada tipo de ambiente, presentándose ciertas diferencias entre ambientes de agua dulce y ambientes de agua salada.

Al considerar la interrelación entre estos tres agentes debe notarse, en primer lugar, que los contextos marinos presentan básicamente una biodiversidad mayor que los de agua dulce. En este contexto, debe tenerse en cuenta que las características del agua y del fondo ejercen una importante influencia en la presencia y desarrollo de la fauna y flora presente. Particularmente en lo que respecta a naufragios - probablemente el tipo de sitio más frecuentemente estudiado en contextos marítimos- muy distintos procesos tendrán lugar si se trata de una embarcación construida en hierro o una construida en madera, como en el caso que se estudia en este trabajo. Teniendo en cuenta que a lo largo de miles de años la madera fue la principal materia prima utilizada en la construcción de embarcaciones, puede comprenderse la relevancia de comprender dichos procesos, que son los que en definitiva dan forma al registro arqueológico que estudiamos.

3. EL SITIO *SWIFT*

3.1. EL CONTEXTO HISTÓRICO Y LAS CIRCUNSTANCIAS DEL NAUFRAGIO

En el siglo XVIII el Atlántico Sur constituía un área clave para el tránsito marítimo entre el Atlántico y el Pacífico, y de allí al Oriente. Debido a su posición estratégica para el control del paso interoceánico, las costas y archipiélagos adyacentes al Cabo de Hornos atrajeron el interés de las potencias europeas, interesadas en abrir la ruta hacia los mercados americanos del Pacífico (Liss 1989). La zona ofrecía además una variedad de recursos que podían ser explotados comercialmente, principalmente en lo que respecta a su rica fauna marina (Silva 1984). En este contexto, hacia la segunda mitad del siglo, franceses, ingleses y españoles rivalizarían por la posesión de las islas Malvinas (Cailliet-Bois 1952).

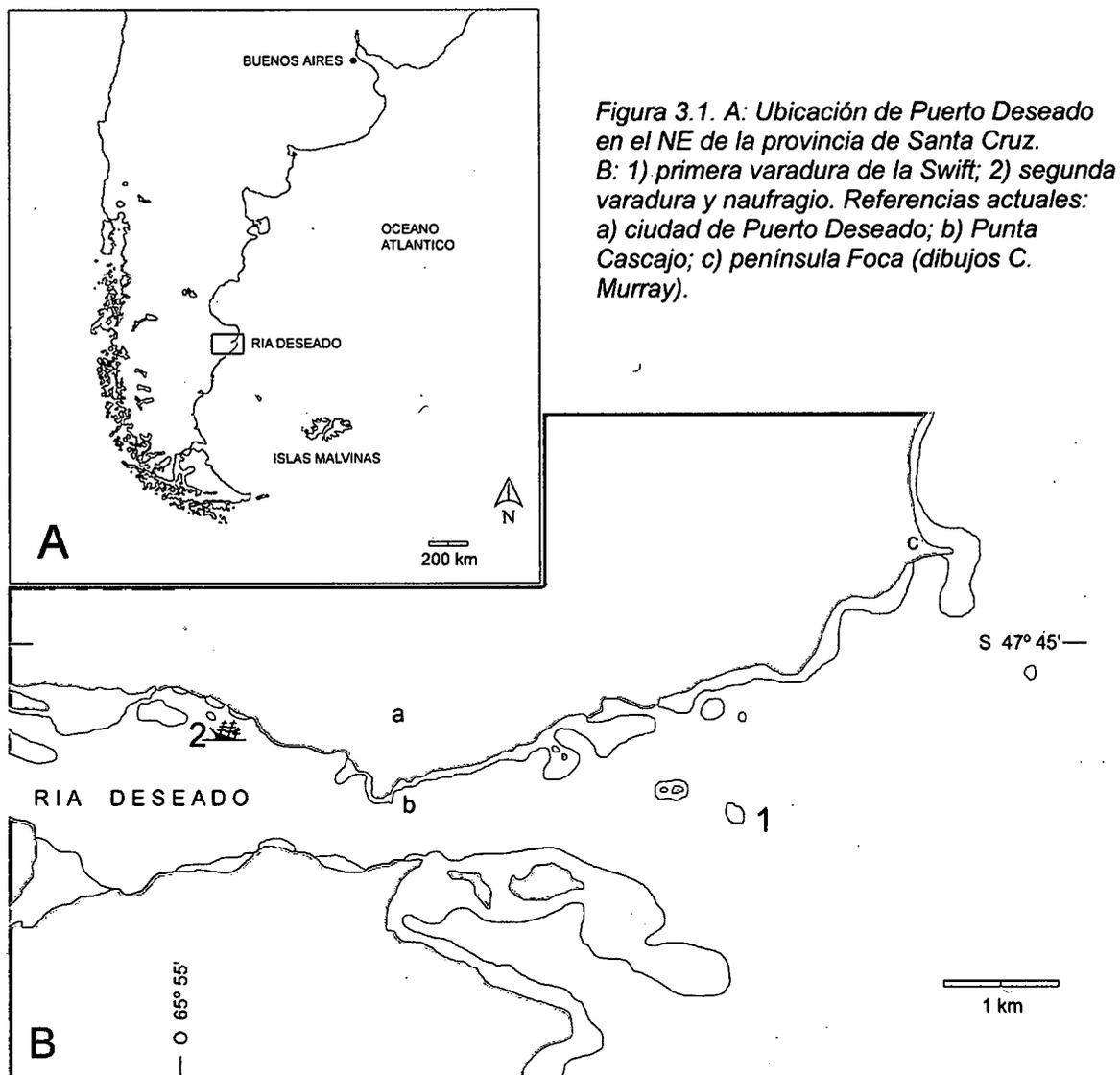
En 1770, la *sloop-of-war HMS¹ Swift* era uno de los barcos de guerra que formaba parte de la pequeña escuadra comisionada por la corona inglesa a Port Egmont, en las Malvinas. De acuerdo a las fuentes históricas (ADM 1/5304; Gower 1803), en circunstancias en las que se encontraba realizando relevamientos geográficos por la zona, fue sorprendida por fuertes vientos. Estos duraron varios días, al término de los cuales se encontraron cerca de la costa patagónica. Estando próximos a la ría Deseado, decidieron recalar allí a fin de que la tripulación pudiera recobrase de la ardua travesía (Gower *op. cit.*: 5).

Al momento en que la *Swift* se disponía a ingresar al estuario el casco² de la nave impactó imprevistamente contra una roca que estaba oculta por la marea alta. Si bien esto no causó mayores problemas a la embarcación, poco después la proa del barco volvió a golpear contra otra roca. El barco había encallado y, por lo tanto, a medida de que bajaba la marea, se inclinaba cada vez más hacia popa. Una vez que comenzó a ingresar por allí el agua, en poco tiempo el barco se hundió (la Fig. 3.1 indica la ubicación del naufragio en la ría Deseado).

La mayor parte de la tripulación de la *Swift* sobrevivió al naufragio. Utilizando uno de los botes auxiliares del barco, un grupo de náufragos regresó a Port Egmont - distante unos 450 km- para pedir ayuda. De este modo, casi un mes después del naufragio pudieron ser rescatados por otra de las naves británicas que se encontraba en las islas (Gower *op. cit.*: 32 y ss.).

¹ *His Majesty Ship.*

² Se incluye un glosario de términos náuticos en las secciones finales de este trabajo.



3.2. CARACTERÍSTICAS DEL BARCO

La *sloop-of-war* HMS *Swift* fue construida para la Armada Británica en el año 1762. El término "*sloop-of-war*" -que no tiene traducción directa al español- corresponde un tipo de embarcación de guerra similar a una corbeta, y que podía tener dos o tres palos (Fig. 3.2).

En función de su tamaño la *Swift* formaba parte de una de las categorías menores en las que se agrupaban a los barcos de guerra de la Armada Británica. De hecho, era el tipo de embarcación más pequeña que solía realizar viajes transoceánicos (Murray *et al.* 2002: 104). Sus dimensiones eran de 27,8 m de eslora (longitud), 7,9 m de manga (ancho) y 4,1 m de puntal (altura, medida desde la sobrequilla a la cubierta superior). Contaba con 14 cañones de hierro de 6 libras y 12 pedreros (cañones de pequeño calibre montados sobre los costados del barco), todos ellos dispuestos en su

cubierta superior. Por debajo de ella estaba la cubierta más baja y luego la bodega. La dotación habitual de la *Swift* era, aproximadamente, un centenar de personas, entre oficiales y marineros. Los primeros se alojaban en camarotes individuales que ocupaban todo el sector de popa de la cubierta baja. El resto de la cubierta se dividía entre el espacio que alojaba al resto de la tripulación y los pañoles (depósitos).

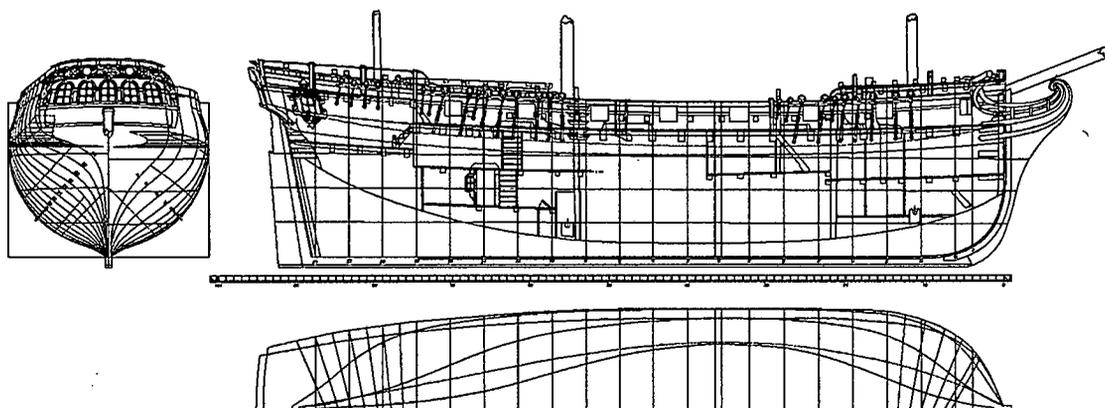


Figura 3.2. Plano de líneas del HMS *Swift* dibujado en base a los originales del National Maritime Museum, de 1762 (dibujo C. Murray).

La principal materia prima utilizada para la construcción de la *Swift* -al igual que para todas las embarcaciones de la época- era la madera. En función de las propiedades de los distintos tipos de maderas disponibles se seleccionaban las más adecuadas para cada uno de los componentes estructurales del barco. En general, el olmo se utilizaba para la quilla, el roble para cuadernas y forros, y diferentes especies de pino para las tablas de cubierta y los palos (Goodwin 1988).

3.3. EL SITIO ARQUEOLÓGICO

3.3.1. Descubrimiento del pecio y primeras intervenciones

En 1975 un descendiente de quien fuera el último teniente del *HMS Swift* -E. Gower- llegó a la ciudad de Puerto Deseado en busca de información sobre el naufragio de este barco. Antes de partir sin haber obtenido información alguna, dejó en la ciudad un relato en el que Gower describía con detalle los acontecimientos relativos al naufragio y la ubicación del mismo (Gower 1803). Unos años después la historia fue conocida por un joven deseadense, Marcelo Rosas, quien entusiasmó a otros jóvenes para emprender la búsqueda del barco. En el año 1982, finalmente, el *HMS Swift* fue encontrado. El proyecto contaba entonces con el apoyo de la comisión directiva del Club de Pesca y Náutica Capitán Oneto de Puerto Deseado, quien había creado la "Comisión de Búsqueda y Rescate de la Corbeta *Swift*" (CBYR). En el mismo año, a

instancias el Consejo Deliberante local, el sitio fue declarado de interés histórico por el gobierno de la provincia de Santa Cruz, mediante el decreto N° 1430. Al poco tiempo fue creado el Museo Provincial Regional Mario Brozowski -actualmente Museo Municipal- con la finalidad de albergar los objetos extraídos del sitio (Murray 1993). Dichos artefactos habían sido obtenidos a partir de recolecciones superficiales realizadas en forma aleatoria.

Posteriormente, el Museo Brozowski tomó la dirección del Proyecto *Swift*, requiriendo en 1986 la colaboración del Grupo de Trabajo de Patrimonio Subacuático (GTPS) del ICOMOS (Consejo Internacional de Monumentos y Sitios) Argentina. El GTPS elaboró un proyecto cuyos objetivos principales eran la investigación, conservación y puesta en valor del sitio. Para ello se trabajó en la investigación del barco y su contexto histórico, como así también en la documentación e inventario de los artefactos rescatados hasta el momento. Además, se acondicionó un laboratorio de conservación en el Museo. A lo largo de cuatro temporadas de trabajo de campo en el sitio se llevó a cabo un relevamiento preliminar de los restos estructurales visibles y se realizaron excavaciones en determinados sectores. Se extrajeron algunos artefactos provenientes tanto de excavación como de recolecciones superficiales. Desde el descubrimiento del sitio hasta el momento en que finalizaron las actividades del GTPS se había extraído un total de 95 artefactos, sin contar los que se encontraban fragmentados (Murray 1993: 52). La mayor parte de los mismos habían sido obtenidos por la CBYR.

Luego de un tiempo, en 1994, la Fundación Albenga para la Preservación del Patrimonio Cultural Subacuático llevó a cabo una nueva campaña con el objetivo de realizar un relevamiento general del pecio (García Cano 1997).

3.3.2. El Proyecto Arqueológico *Swift*

El año 1997, las autoridades de la Municipalidad de Puerto Deseado y del Museo Brozowski solicitaron que el Programa de Arqueología Subacuática (PROAS), del Instituto Nacional de Antropología y Pensamiento Latinoamericano (INAPL) continuara las investigaciones en el sitio. Con la dirección de la Dra. Elkin comenzó, de este modo, el Proyecto Arqueológico *Swift*. Esta instancia significó además la primera intervención de arqueólogos-buzos en el sitio.

Los principales objetivos de investigación planteados dentro del proyecto incluyen los siguientes temas (Elkin 1997):

- el rol de la *Swift* en el Atlántico Sur dentro del contexto geopolítico de la época;
- las principales características constructivas y de diseño de la embarcación y posibles modificaciones ulteriores;
- las jerarquías sociales y otros aspectos de la vida a bordo reflejados en la cultura material;
- evidencias de los cambios tecnológicos que caracterizaron al siglo XVIII;
- características y condiciones de vida del campamento de los naufragos en la costa de la ría;
- procesos naturales vinculados a la preservación y a los procesos de formación del sitio.

La metodología de trabajo en el sitio incluye, por un lado, el relevamiento tridimensional de los restos visibles de mayor relevancia, ya sea de partes

estructurales como de grandes artefactos (por ej. cañones). Por otro lado, la excavación de determinados sectores que resultan representativos de las diferentes áreas del pecio, en términos de su estructura, función y de quiénes las ocupaban. Para ello se utilizan grillas rígidas de 2m por 2 m y la excavación se realiza siguiendo niveles artificiales de 40 cm, siendo el nivel 0 la superficie del sedimento (ver Elkin *et al.* 2006; Elkin y Argüeso 2001). Debido a que el sitio se encuentra bajo el agua, existen ciertas cuestiones que influyen en la forma en que se realiza el trabajo arqueológico. Una de ellas es que existen considerables limitaciones en el tiempo durante el cual una persona puede permanecer realizando tareas en el pecio (en general no más de dos horas por persona por día). Otro aspecto importante está relacionado con la extracción de artefactos. Más allá del buen estado de conservación que presenten los materiales, el cambio de ambiente quiebra el delicado equilibrio que los materiales tienen con el medio, lo que puede provocar su inmediato deterioro. Por lo tanto, antes de retirar materiales del sitio es necesario asegurarse de que se dispone de los recursos logísticos y económicos que requieren los tratamientos de conservación, los cuales en muchos casos pueden prolongarse durante algunos años.

Desde el inicio de los trabajos de campo en el sitio -a principios de 1998- hasta fines del año 2005 se llevaron a cabo 11 campañas. Al finalizar esta última se había completado gran parte del relevamiento general del sitio y se había excavado cerca de un 50 % del área prevista en la zona de popa. Durante ese tiempo, más de 300 artefactos fueron extraídos, tanto de recolecciones superficiales como -en su mayor parte- de la excavación. Entre los mismos se incluyen, entre otros, vajilla y utensilios de comida (platos, vasos, botellas, cucharas), armamento (balas de cañón y de mosquete), elementos relacionados a la vestimenta (hebillas de zapatos, zapato), elementos de navegación (relojes de arena), componentes de la jarcia (motones, poleas y cabos), restos de alimentos (huesos, cáscara de huevos, semillas) y otros (muebles, cajas y cajones, monedas). Entre las materias primas representadas encontramos porcelana, vidrio, piedra, plomo, hierro, bronce, cobre, hueso, asta, fibras y semillas vegetales, cuero, corcho y, en mayor proporción respecto a los anteriores, madera y cerámica.

Los resultados preliminares obtenidos hasta el momento han permitido importantes avances en función de los objetivos de investigación propuestos (ver Acevedo y Grosso 2000; Bastida *et al.* 2001; Bastida *et al.* 2003; Bastida *et al.* 2004; Dellino 2004; Elkin 2000; Elkin *et al.* 2000; Elkin *et al.* 2006; Murray *et al.* 2002).

3.3.3. Ubicación y condiciones ambientales

El término ría designa a un tipo particular de estuario, formado a partir de la inundación marina de un valle fluvial (lantanos 2004). En este caso se trata del antiguo valle del río Deseado, un caudaloso río que llevaba las aguas de los lagos Buenos Aires y Pueyrredón hacia el océano Atlántico. En el Pleistoceno se produjo un cambio en el drenaje de las aguas de dichos lagos y éstas fueron captadas por la cuenca del Pacífico (Kühnemann 1971: 9). Actualmente el río Deseado permanece prácticamente seco todo el año, excepto durante deshielos de primavera o por lluvias ocasionales en sus cabeceras (lantanos *op. cit.*: 18).

La ría Deseado se extiende a lo largo de 40 km, desde Punta Cascajo, al E, hasta el puente de Paso Gregores, al O. Este límite interior se estableció básicamente en función del alcance de la influencia marina dentro del continente. El curso de la ría se

extiende en forma irregular, siendo su ancho máximo de 400 m. La profundidad máxima es de 32 m (Punta Cascajo) y decrece hacia el interior hasta llegar a los 0,50 m en su encuentro con el río Deseado (Iantanos *op. cit.*).

La ría se caracteriza por tener un régimen de mareas semidiurnas (dos bajamares y dos pleamares diarias) de gran amplitud, llegando a 6 m en las mareas de sicigias (las mayores pleamares, que ocurren cada quince días). Debido a esta amplitud es considerado un régimen macromareal, lo cual implica el desplazamiento (ingreso y egreso) de grandes masas de agua a gran velocidad. Esto origina corrientes de hasta 6 nudos en zonas estrechas. Las mismas se ven reducidas en algunas localidades de acuerdo a sus características topográficas (presencia de islas, penínsulas, ensanchamientos) (Iantanos *op. cit.*).

El sitio *Swift* se localiza a unos 40 m de la margen norte de la ría Deseado, a los 47° 45' 12" latitud sur y 65° 54' 57" longitud oeste. Su ubicación cercana a la costa provee al sitio de cierta protección de las corrientes más fuertes y de la acción de olas (ver Fig. 3.3). Debido a que se encuentra también próximo a la entrada de la ría, presenta condiciones muy similares a las del mar adyacente. En la Tabla 3.1 se presentan los principales parámetros ambientales que caracterizan al sitio.



Figura 3.3. Foto área de la zona portuaria de Puerto Deseado. 1) Sitio Swift; 2) roca en la que encalló; 3) enrocado; 4) muelle de atraque; 5) dique seco; 6) muelle Ramón (Club Náutico Oneto); 7) punta Cascajo (escala aprox. 1: 20.000; Servicio de Hidrografía Naval, Armada Argentina).

La composición sedimentológica del sitio *Swift* está caracterizada por un predominio de la fracción fina, con una importante participación de limos, arcillas y arenas finas

(Bastida *et al.* 2000). Estos limos estarían originados por la disolución de tobas, margas y arcillas tobíferas que se incorporan al agua de la ría arrastrados por los torrentes que bajan por los cañadones hacia la ría, así también por la acción de las mareas (*cf.* Kühnemann 1971: 17). Las arenas, en cambio, tienen principalmente un origen marino e ingresan al sitio por acción de las mareas. Las arenas gruesas están muy poco representadas como así también las fracciones de mayor tamaño, salvo en algunos sectores donde se observó una importante participación de sábulo y guija (Bastida *et al.* 2001; Bastida *et al.* 2000).

PARÁMETROS	VALORES
Temperatura del agua	13° C (máxima en verano) - 4° C (mínima en invierno)
Salinidad	33 ‰ (media anual)
Amplitud de mareas	4,2 m (promedio, mareas de verano)
Amplitud de olas	Máximo 1 m (vientos predominantes del O y SO)
Corrientes	2 nudos (máximo)
Visibilidad	0,10 m a 2 m
Contenido de oxígeno del agua	5.6 - 6.2 ml/l
Ph del agua	7.8 - 8.2
Composición del sedimento	Dominancia de sedimentos de fracción fina (desde arcillas a arenas finas) con un alto contenido de carbonato de calcio, acumulados sobre un sustrato de guijarros.
Potencial Redox	- 140 a - 314
Inclinación del fondo	8° (máximo)

Tabla 3.1. Principales parámetros ambientales del sitio Swift (Elkin *et al.* 2006).

Los sedimentos del sitio *Swift* también contienen una importante concentración de partículas de carbonato de calcio, debidos casi exclusivamente a los bioclastos provenientes de invertebrados bentónicos³ (principalmente braquiópodos, moluscos y cirripedios). La concentración de materia orgánica también es alta, con valores máximos de hasta 9.02%. Su origen es tanto natural, por la alta productividad de las aguas y de las comunidades bentónicas, como antrópico, debido al importante aporte de la industria pesquera local y la actividad portuaria en general (Bastida *et al.* 2001).

³ Organismos que viven en los fondos marinos (sobre la superficie del mismo o debajo de ella).

Todo esto ha contribuido a que los sedimentos del sitio *Swift* presenten bajos niveles de oxígeno. La acumulación de una gran cantidad de materia orgánica que, por la escasa oxigenación no puede ser mineralizada, genera ácido sulfhídrico (Kühnemann 1971). Esto es lo que ocasiona la coloración negruzca y el fuerte olor que caracterizan al sedimento limoso en el que se encuentra en el sitio. La naturaleza anóxica del sedimento del sitio *Swift* está evidenciada además por los valores negativos del potencial Redox obtenidos en el área de estudio (-140 a - 314) (Bastida *et al.* 2001).

El movimiento permanente de agua originado por las mareas mantiene una gran cantidad de sedimentos finos en suspensión. Esto es lo que ocasiona la disminución de la transparencia del agua, limitando por lo tanto la penetración de la luz (Kühnemann *op. cit.*). Se ha observado una mayor transparencia en el agua en aquellos días en los que se registra menor amplitud de marea. Las precipitaciones, por el contrario, arrastran mayor cantidad de limo arcilloso de las márgenes.

3.3.4. Descripción del sitio

El sitio no es visible desde superficie ya que se encuentra completamente sumergido a una profundidad aproximada de entre 10 y 18 m. Esta variación se debe a las diferencias de amplitud de las mareas y a la topografía del lecho de la ría.

El pecio yace sobre su banda de babor, presentando una inclinación de 58° (Murray *et al.* 2002) (Fig. 3.4). En función de la pendiente del fondo, la proa se encuentra a una altura mayor respecto de la popa (ver Figs. 3.5 y 3.6). El sitio ocupa un área aproximada de 180 m². Se calcula que alrededor de un 70% de la estructura total del barco -incluyendo una gran proporción del casco- ha sobrevivido, la mayor parte de ella aún en su posición original. Las áreas mejor preservadas son aquellas que están cubiertas por sedimento, las que representan aproximadamente un 60 % de los restos del pecio (Elkin *et al.* 2006). La mitad superior del sector de estribor es la que se encuentra más expuesta, allí se observan algunas cuadernas y baos que se elevan cerca de 3 m sobre el nivel del sedimento. Este sector del pecio es el que ha resultado más destruido y muchas de sus partes han colapsado o desaparecido.

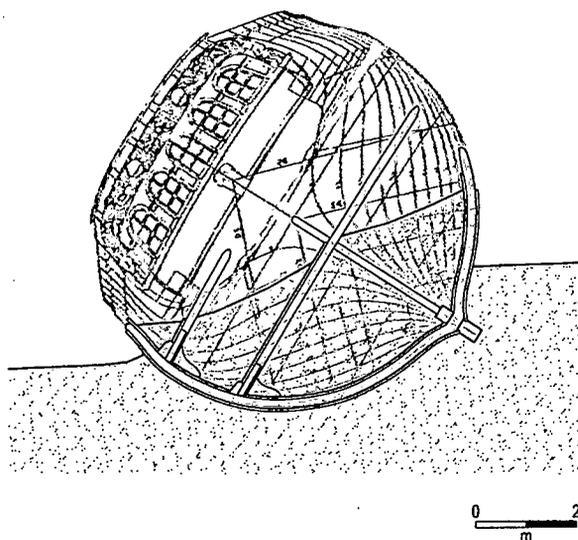


Figura 3.4. Corte esquemático del pecio a la altura de la cuaderna maestra. En color más claro se ha sobrepuesto el plano original del barco (dibujo C. Murray).

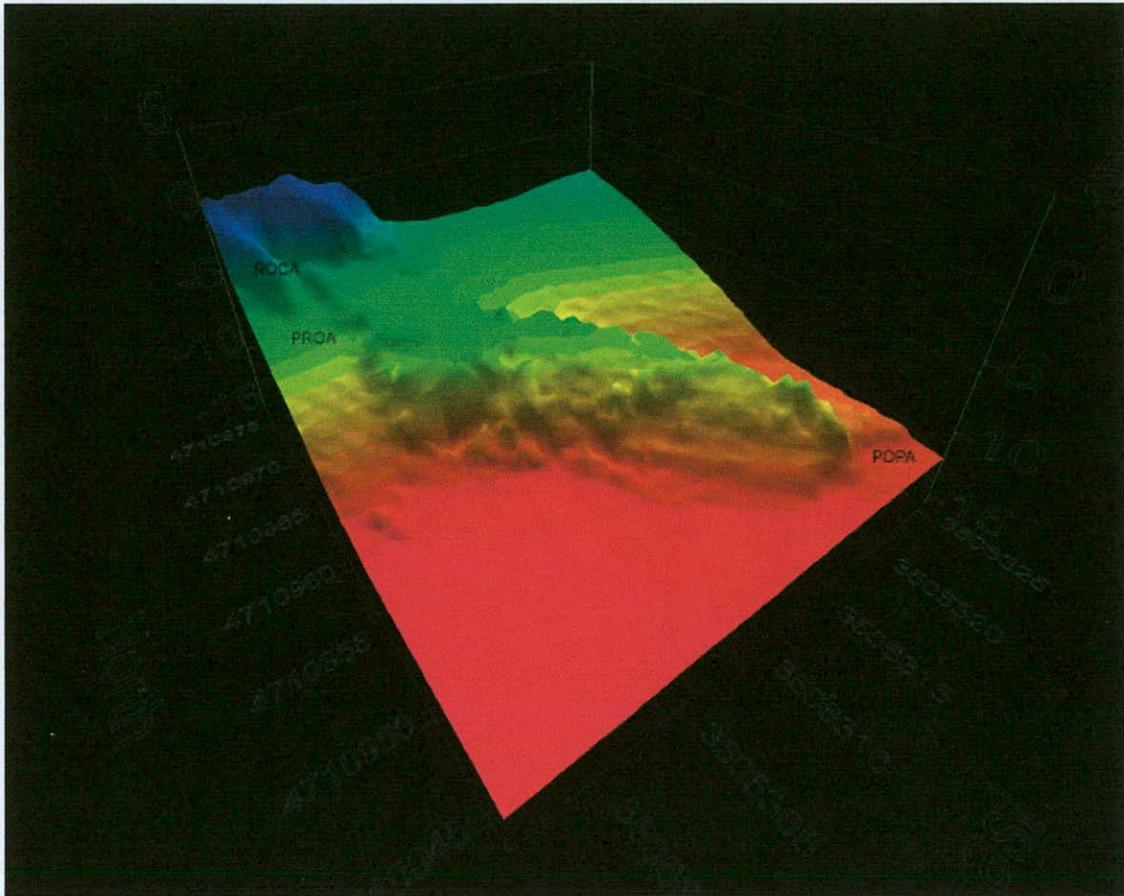


Figura 3.5. Imagen en tres dimensiones del sitio Swift obtenida con sonar Multibeam. Hacia la izquierda, próxima a la proa del barco puede verse en color azul la roca que provocó el naufragio (gentileza Jan de Nul).

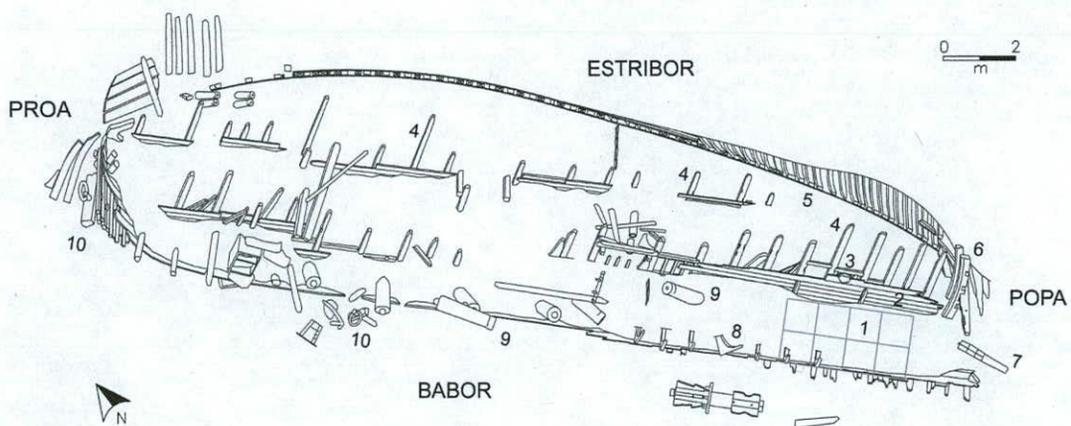


Figura 3.6. Planta del sitio Swift. 1) zona de excavación; 2) parte de la cubierta superior; 3) ubicación del palo mesana; 4) baos; 5) cuadernas; 6) codaste; 7) extensión del codaste; 8) curva; 9) cañones; 10) anclas (dibujo C. Murray).

Entre los restos que no han sido cubiertos por el sedimento pueden distinguirse algunas estructuras y gran cantidad de maderos dispersos, así como también cañones, anclas y diversidad de artefactos. Su reconocimiento e identificación a simple vista no es sencillo debido a que muchos de estos materiales se encuentran cubiertos de organismos marinos.

3.3.5. Procesos de formación de sitio

Más allá de que en general los sitios subacuáticos -tal como hemos indicado en el capítulo anterior- ofrecen condiciones favorables para la buena conservación de una variedad de materiales arqueológicos, se ha señalado que el sitio *Swift* presenta condiciones inusuales de integridad (Elkin 1997; Elkin y Argüeso 2001; Murray 1993). Esto se debe, por un lado, a que previamente a su hundimiento, en la primera varadura no se habían producido mayores daños a la embarcación, salvo por el desprendimiento de algunas tablas del recubrimiento del forro (ADM 1/5304: 7). Por otro lado, se debe a la forma que se produjo el naufragio y a las características ambientales del lugar. El sitio arqueológico frente al cual nos encontramos en el presente es, de todos modos, resultado de una variedad de eventos y procesos que de una u otra forma, a lo largo del tiempo han contribuido a su formación. A continuación mencionaremos los principales:

Proceso de naufragio

- Parte de las tareas realizadas para evitar el naufragio consistieron en aligerar el peso de la popa. Para ello se trasladaron a la costa algunos alimentos y armamento menor (Gower 1803: 12). Debido a la rapidez con que ocurrieron los acontecimientos, la tripulación no tuvo tiempo de recuperar otros elementos antes del hundimiento.
- Tanto la varadura como el hundimiento no fueron traumáticos (en la Fig. 3.7 se reproduce esquemáticamente dicho proceso). Al encallar en la roca que ocasionó el naufragio es probable que sólo se hayan producido daños menores en las partes bajas de la proa. Además, el lecho de la ría, al estar compuesto por sedimentos blandos, permitió mitigar el impacto de la depositación.

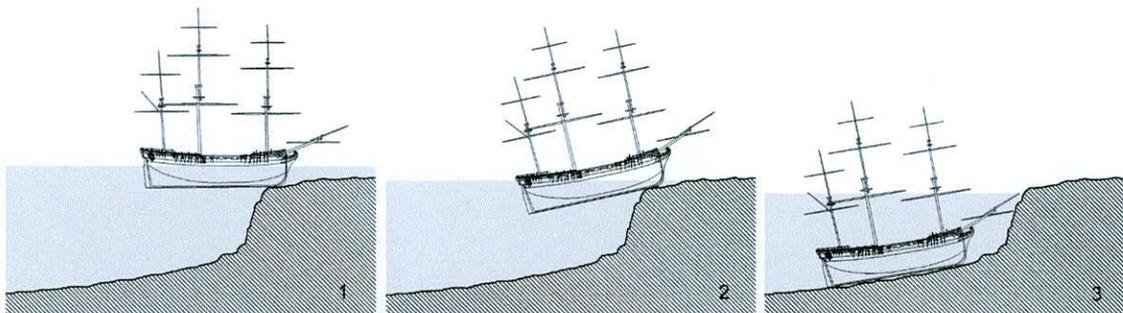


Figura 3.7. Proceso de naufragio de la *Swift*. 1) El barco encalla en la roca con marea alta; 2) al bajar la marea se inclina hacia popa y al poco tiempo comienza a ingresar por allí el agua; 3) el barco finalmente se desliza hacia el fondo de la ría (dibujo C. Murray).

- En función de los dos puntos anteriores, cuando el barco se depositó en el fondo, gran cantidad de artefactos quedaron "atrapados" entre las cubiertas y mamparos.
- Luego del hundimiento, los náufragos recuperaron algunos elementos que fueron encontrados flotando en la superficie del agua. Además, realizaron inmersiones en el pecio a fin de rescatar parte del velamen para construir tiendas (Gower *op cit.*: 13).
- Es probable también que durante el hundimiento, así como en los días posteriores, otros elementos que flotaron fueran apartados del sitio por las corrientes.

Procesos posdepositacionales naturales

- Procesos físicos (acción de corrientes), químicos (corrosión) y biológicos (bacterias, hongos, organismos perforantes) se combinan para provocar el debilitamiento y posterior colapso de estructuras (Fig. 3.8), así como el deterioro parcial o total de diversos materiales. Cuando los materiales logran alcanzar un equilibrio con el medio (tal como sucede en el presente), la tasa de deterioro es más reducida que en un comienzo.
- El lugar en donde se encuentra el sitio es favorable para la depositación sedimentaria. Los restos estructurales del pecio contribuyen a ello, en la medida de que, al constituir una barrera para la circulación de las corrientes marinas hacen que éstas disminuyan su velocidad permitiendo la depositación de los sedimentos que transportan. La depositación de sedimentos finos genera condiciones anaeróbicas que al limitar el desarrollo de formas de vida protege a los materiales del biodeterioro.
- La proximidad de la costa protege en cierta medida al sitio de la influencia vientos o tormentas que generan el desplazamiento de grandes masas de agua.
- Además del proceso de naufragio y la forma en que se ha depositado el pecio, la topografía del lecho de la ría y la dirección de las corrientes principales han sido los principales factores que han determinado la distribución de los materiales en el sitio (principalmente hacia las zonas de babor y de popa).
- Las corrientes producen desplazamientos superficiales de los sedimentos, por lo cual provoca que algunos materiales puedan quedar alternativamente expuestos o cubiertos.
- Las corrientes influyen en la dispersión de artefactos livianos o pequeños.

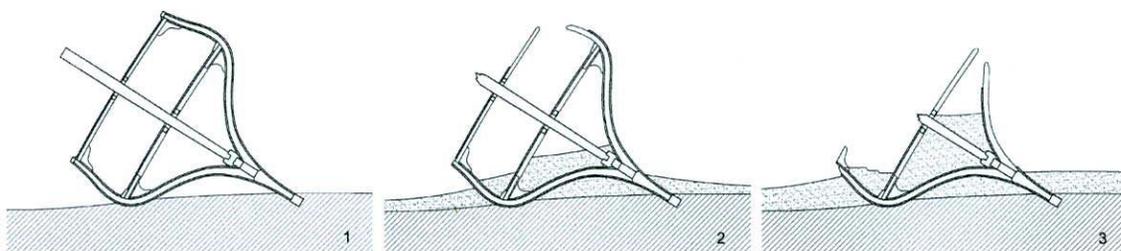


Figura 3.8. Corte del pecio a la altura del palo mesana que ilustra las posibles etapas de colapso estructural, desde el momento en que el barco se depositó en el lecho de la ría (1) hasta la forma en que se encuentra actualmente (3) (dibujo C. Murray).

Procesos posdepositacionales culturales

- No se llevaron a cabo tareas de rescate, ya sea del pecio o de su contenido, ni se han realizado actividades de saqueo en épocas posteriores. Tampoco se ha registrado

otra forma de intervención humana directa en el sitio (previamente a su descubrimiento en 1982).

- Es posible que en el pasado las embarcaciones que fondeaban en la ría hayan podido dañar al sitio *Swift* con sus anclas. En tal sentido cabe recordar que la ría fue un puerto natural frecuentado durante siglos por los navegantes europeos. Pero además, debemos considerar en particular la presencia de embarcaciones en el área en la que se encuentra el sitio, ya que en las proximidades de estas costas se encontraba a fines s. XVIII el fuerte español de San Carlos (primer asentamiento español en la costa norte de la ría). En épocas más recientes, había allí un muelle de la empresa La Anónima (Fig. 3.9). Antiguos pescadores locales han señalado que, en épocas anteriores al hallazgo de la *Swift*, existían sospechas de la existencia de un naufragio debido a que sus anclas quedaban a menudo enganchadas en ese lugar (C. Murray com. pers.).



Figura 3.9. Imagen de la costa próxima al sitio *Swift* antes de las obras de ampliación del muelle del puerto. 1) Sitio *Swift*; 2) roca del naufragio; 3) costa de playa en la que se ven restos de construcciones, probablemente del antiguo muelle de La Anónima; 4) muelle de amarre.

- Una característica que se observa frecuentemente en sitios arqueológicos localizados en fondeaderos o puertos es la presencia de material intrusivo. El mismo suele provenir de actividades de descarte o por la pérdida de elementos de las embarcaciones que allí se encuentran. Hasta el momento esto no se ha registrado en el sitio *Swift*, excepto por el hallazgo de una botella de vidrio que fue identificada como posterior al s. XIX.

- A partir de 1987 se han estado realizando sucesivas obras de ampliación del muelle del puerto de Puerto Deseado, en donde amarran embarcaciones de gran tamaño. Actualmente éste se ha extendido y llega hasta unos 50 m del sitio *Swift* (Fig. 3.10). La antigua costa de playa frente al sitio fue cubierta por un enrocado, el cual forma una nueva línea de costa, disminuyendo la distancia entre ésta y el sitio (ver Fig. 3.3).

Estas alteraciones pueden haber producido cambios en el desplazamiento de las corrientes y, por lo tanto, en la dinámica sedimentaria. También se realizó un dragado en el canal principal de la ría, pero al parecer éste no ha afectado al sitio (A. Argüeso com. pers.).



Figura 3.10. Zona portuaria de Puerto Deseado. 1) Sitio Swift.; 2) roca del naufragio; 3) sector ampliado del muelle.

- La intensa actividad del puerto ha incrementado también el tránsito de embarcaciones hacia la zona del dique seco (ver Fig. 3.3). Al hacerlo pasan muy cerca del sitio *Swift*, por lo que el movimiento de sus hélices debe afectarlo en alguna medida (Elkin *et al.* 2006).
- Por último, debemos mencionar la actividad de quienes trabajan en el pecio. El movimiento de aletas cerca de la superficie del sedimento provoca su desplazamiento, lo que puede descubrir ciertos materiales. En sus inicios, la extracción no controlada de artefactos pudo haber provocado la alteración contextual de los materiales que se encontraban próximos (por ejemplo, al extraer artefactos que se encontraban semienterrados).

4. ANTECEDENTES RELACIONADOS AL TEMA DE INVESTIGACIÓN

4.1. PROCESOS DE FORMACIÓN EN SITIOS DE NAUFRAGIOS

Relacionado a las posibilidades que ofrecía el uso del equipo de buceo autónomo de aire comprimido, desarrollado éste a partir de la década del '50, se observa un interés creciente en el hallazgo de naufragios de la antigüedad clásica en el mar Mediterráneo. De este modo, en aquella época se emprendieron diversos proyectos de excavación en pecios, los cuales estaban guiados básicamente por el objetivo de recuperar aquellos objetos que habían formado parte de su cargamento. En estos momentos no existía una clara conciencia de la importancia de llevar a cabo una investigación científica ni de realizar un registro sistemático de los hallazgos *in situ* (Bass 1980). Exceptuando algunos casos, hasta aquel momento sólo unos pocos arqueólogos se habían interesado en los restos culturales sumergidos, pero sin embargo ninguno de ellos dominaba las técnicas del buceo. Desde otro punto de vista, un aspecto positivo de este período fue el que muchas de las técnicas y métodos de trabajo que se utilizan en el presente en arqueología subacuática fueron desarrollados en aquel momento.

El estudio arqueológico científico en sitios de naufragios, en los términos en que es entendido en la actualidad, tuvo sus inicios recién en la década del '60. George Bass se convirtió en el primer arqueólogo-buzo en dirigir la investigación de un pecio en el que se utilizaban técnicas de excavación, relevamiento y recuperación con estándares semejantes a los que eran aplicados en la investigación arqueológica de sitios localizados en tierra (Bass 1966). A partir de ese momento quedarían establecidos los parámetros para las investigaciones futuras. El trabajo de Bass constituía también una respuesta a aquellos que de algún modo ponían en duda la factibilidad del ejercicio de la arqueología profesional bajo el agua, así como la relevancia que pudiera tener la evidencia hallada, en comparación con el registro arqueológico de sitios localizados en tierra firme.

Durante la década del '60 comienzan también a aparecer numerosas publicaciones relativas al ejercicio de la arqueología bajo el agua y al potencial de la arqueología subacuática en determinados sitios o regiones del mundo. Estos trabajos reflejan aquellos temas que atraían la atención de los investigadores en aquel momento. La mayoría de ellos trataba sobre excavaciones realizadas en sitios específicos, particularmente naufragios, en los que el interés estaba puesto básicamente en la descripción del contenido de los barcos naufragados, así como también sobre el perfeccionamiento de las técnicas y métodos de trabajo bajo el agua. Del mismo modo, se observa la inquietud de caracterizar y definir el campo de la arqueología subacuática (Bass 1966).

En este contexto surgen los primeros trabajos que plasman las reflexiones de algunos investigadores sobre los distintos factores que hacen a la formación de sitios de naufragio (Murphy 1997: 387). En este aspecto es ampliamente reconocido el papel

de Frédéric Dumas, un pionero del buceo autónomo que formaba parte del equipo de Jacques Cousteau y que colaboró con Bass en sus inicios en el mar Mediterráneo.

Dumas (1962) se interesó por diversas cuestiones, tales como las consecuencias del impacto depositacional sobre el contenido y el casco de embarcaciones de madera, las tasas de enterramiento y los aspectos geológicos y biológicos de los sitios. Pero este buzo profesional se destacó especialmente por ser quien realizó las primeras observaciones comparativas sobre naufragios ocurridos en distintos ambientes dentro del mar Mediterráneo, a fin de considerar en función de ellos cuáles son los que permitirían una mejor preservación de los restos. Con el objetivo de formular una clasificación de los naufragios de acuerdo a su estado Dumas (1972) identificó tres tipos de costas en donde éstos podrían ocurrir: costas arenosas, costas rocosas y costas de acantilados sumergidos. Su conclusión fue que en los dos primeros casos el resultado era una rápida destrucción y dispersión de los restos. Sólo en el caso de costas de acantilados sumergidos los naufragios se mantendrían en tales condiciones de coherencia que serían útiles para la investigación arqueológica: "El mar destruye todo en aguas poco profundas, y tales restos dispersos son de escaso interés para el arqueólogo" (Dumas 1972: 32, traducción propia). Sus estudios lo llevaron a concluir que la mayoría de los naufragios ocurridos en aguas profundas se estabilizaban en alrededor de diez años. Esto significa que luego de un período inicial de deterioro los materiales podían perdurar debido a que alcanzaban un equilibrio con el medio. Por aquella misma época, la investigadora Honor Frost afirmaba coincidentemente que los naufragios antiguos "están necesariamente en las aguas más profundas" (Frost 1962: 82 en Muckelroy 1978: 160, traducción propia).

Más allá de los méritos de estas primeras investigaciones, la posibilidad de generalizar sus conclusiones a otros sitios se encontró limitada. Por un lado, esto se debió a que las mismas estaban basadas en una reducción de los factores que inciden en la preservación de los pecios. Por otro lado, el tipo de costa de acantilados sumergidos que toma Dumas en su clasificación, si bien es característico del litoral norte del mar Mediterráneo, no es muy común en otros lados, con lo cual -y al parecer Dumas era ya conciente de esto- sus conclusiones difícilmente podían aplicarse a otras regiones (Muckelroy 1978). Tal como lo señaló años después el arqueólogo Keith Muckelroy (*op. cit.*), durante aquellos años el enfoque de la problemática relativa a la preservación de los naufragios estaba basada en una visión simplificadora. En ella se clasificaba a los sitios en forma dicotómica como favorables o no favorables para la preservación de los naufragios, lo cual implicaba indirectamente que tuvieran mayor o menor interés para la arqueología. Evidentemente se estaba pasando por alto toda una gama intermedia de condiciones en las que los restos arqueológicos, si bien no se presentaban en forma totalmente coherente, tampoco se encontraban completamente destruidos (*ibidem*).

Con el inicio de la década del '70, la investigación arqueológica de naufragios cambió su foco hacia el estudio de las embarcaciones en sí mismas y sus técnicas de construcción, así como también las cargas transportadas y, consecuentemente, las rutas de comercio utilizadas. A partir de este momento comienzan a perfilarse entonces dentro de la arqueología subacuática especializaciones denominadas "arqueología náutica" o "arqueología marítima" (Bass 1980).

En 1978 el arqueólogo Keith Muckelroy publica el libro *Maritime Archaeology*, en el que define a la arqueología marítima como el estudio científico de los restos materiales del hombre y sus actividades en el mar (Muckelroy *op. cit.*: 4). Este autor enfatiza que los naufragios constituyen su principal fuente de evidencia ya que, de mediar condiciones de conservación apropiadas, estos sitios contienen por sí mismos el rango

total de evidencia material relacionada a la navegación. Este libro -que fuera dedicado a David Clarke, cuyo pensamiento había ejercido una gran influencia en la formación académica del autor-, se destaca hasta hoy por su manifiesto interés en el desarrollo de un encuadre teórico. Dentro de éste el estudio de los procesos de formación ocupa un lugar central.

Muckelroy denuncia que en la mayoría de las investigaciones que se llevaban a cabo en pecios en aquel momento se asumía fácilmente lo que habría sucedido durante y después de un naufragio, lo cual debilitaba la validez de las conclusiones a las que se llegaba. En función de ello, considera que para una adecuada interpretación de los restos materiales es indispensable el entendimiento de dichos procesos. En este contexto señala que todo naufragio envuelve ciertas regularidades, comunes a cualquier período y lugar. Por lo tanto, si pueden describirse los procesos que median entre el momento en que un barco funcionaba como un todo coherente y la instancia final en la que forma parte del registro arqueológico, las implicancias de dichos procesos pueden entonces ser determinadas e identificadas. De ese modo, afirma, puede dilucidarse la evidencia observada en el registro arqueológico. Finalmente, señala que la posibilidad de testear y comprobar esto en sitios con gran cantidad de evidencia documental y arqueológica, permitiría, su aplicación a otros sitios con evidencia más fragmentaria (Muckelroy 1978).

Asimismo, Muckelroy reconoce que al igual que los procesos depositacionales y posdepositacionales que ocurren en sitios localizados en tierra, los naufragios poseen ciertos rasgos particulares. Uno de ellos es que bajo el agua las actividades humanas que pueden interferir con los restos arqueológicos son mínimas y en general claramente identificables. En cuanto a los procesos ambientales, debido a que son los mismos los que actúan en todos los sitios de naufragio -si bien en diferentes grados-, la evidencia arqueológica resulta ser más homogénea aquí que en otros tipos de sitios (Muckelroy *op. cit.*: 148).

A partir de estas consideraciones, e intentando superar los límites de los enfoques anteriores sobre los factores responsables de la preservación de los naufragios, en los años '70 Muckelroy llevó a cabo el primer estudio sobre procesos de formación realizado en forma sistemática. En el mismo se relacionaban las condiciones en las que se encontraban determinados pecios históricos con las características del ambiente en el que se encontraban (Murphy 1997: 387). Tomando un número determinado de sitios de naufragio ocurridos en aguas de Gran Bretaña entre los siglos XVI a XVIII, para los cuales contaba con suficiente información arqueológica y ambiental, procedió a agruparlos en diversas clases en función del estado de preservación de sus restos. A su vez, seleccionó un cierto número de atributos ambientales, para los que evaluó estadísticamente las correlaciones entre el grado de supervivencia de los materiales arqueológicos en cada sitio y cada atributo, a fin de establecer el grado de significancia de estos últimos.

De este modo, concluyó que el principal factor determinante en la supervivencia de los restos arqueológicos bajo el agua es la naturaleza del sustrato o depósito del fondo marino. Por otro lado -y contrariamente a lo que podría suponerse-, resulta más significativa la acción de fuerzas hídricas provenientes de diversas direcciones sobre el sitio que la intensidad de dichas fuerzas en sí mismas. Esto último está relacionado a las características geográficas de la ubicación del sitio, es decir, a la posibilidad de que éste se encuentre o no en un área protegida por costas cercanas. De esta misma característica dependen el resto de los atributos más relevantes, aquellos que generan el movimiento de agua a través de un sitio (por ejemplo, el tamaño de las olas o la frecuencia de temporales) (Muckelroy *op. cit.*).

Consciente de las limitaciones de su trabajo, básicamente debidas al número de casos analizados y al área geográfica implicada, Muckelroy plantea la necesidad de realizar en detalle estudios similares en otras partes del mundo para poder generalizar los factores comunes a todos ellos. Es claro, no obstante, que con este trabajo se logró alcanzar un mayor grado de entendimiento sobre el rol que cada uno de los factores ambientales juega realmente en la formación de los sitios de naufragio.

De todos modos, Muckelroy avanza aún más allá de esto, al reconocer que el análisis que él realiza considera al naufragio como un evento único, pero que un mayor entendimiento sería posible al considerarlo a partir de sus elementos constitutivos. Esto lo lleva a formular un modelo en el cual un diagrama de flujo (Fig. 4.1) representa los distintos componentes que hacen a la evolución de un naufragio (Muckelroy 1978). El mismo describe el proceso a través del cual un conjunto organizado de artefactos -una embarcación y su contenido- habrán pasado a producir la colección de ítems que el arqueólogo encuentra en el sitio. Todo el proceso de naufragio es así considerado como un sistema cerrado, con la embarcación como *input* o entrada y una serie de diferentes *outputs* o salidas de materiales que se suceden a través del tiempo y sobre las cuales tendremos diversos grados de conocimiento. Tomando el sistema como un todo se espera que las diferentes partes, de las cuales tenemos un conocimiento incompleto, puedan ser integradas con aquellas que conocemos para incrementar la comprensión del sitio.

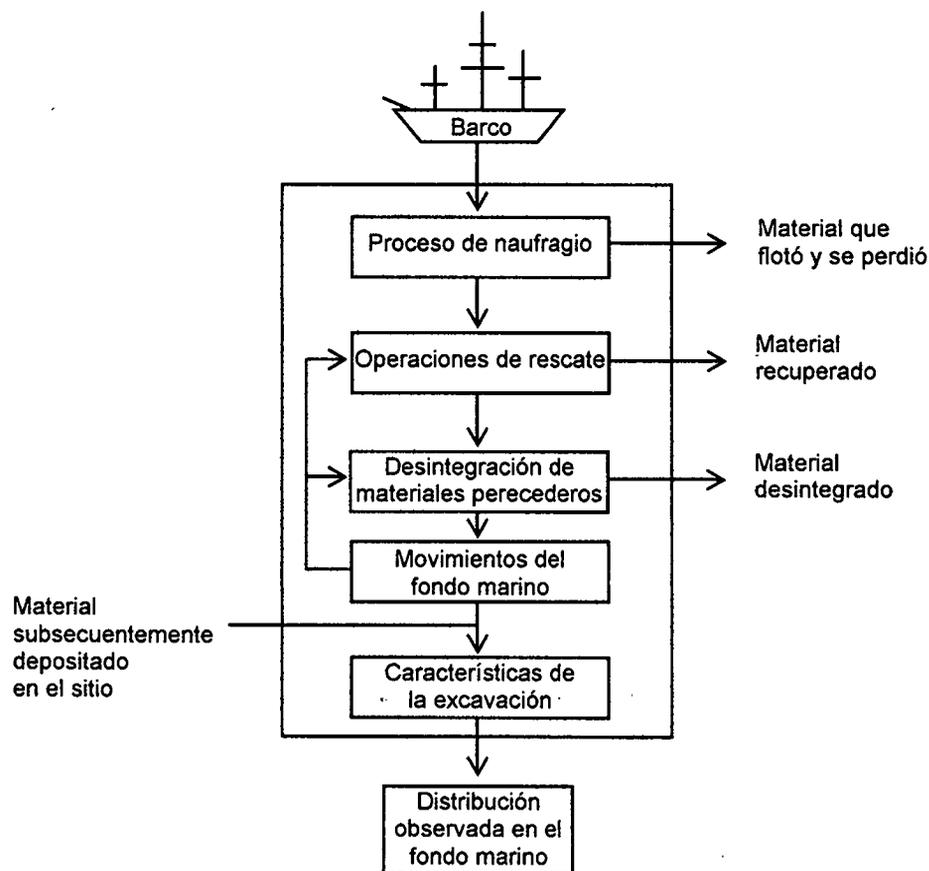


Figura 4.1. Diagrama de flujo mediante el cual Muckelroy representa la evolución de un sitio de naufragio (adaptado de Muckelroy 1978).

Dentro del mencionado diagrama de flujo se señalan, por un lado, tres procesos que llevan a la pérdida de materiales (es decir, que generan *outputs*). A estos procesos se los denomina "filtros extractores" (*extracting filters*), y ellos son: el proceso de naufragio en sí mismo -durante el cual existen ítems que pueden flotar y alejarse del sitio-, las operaciones de salvataje, y la desintegración de materiales perecederos. Muckelroy enfatiza que "la principal tesis presentada aquí es que desde que la operación de cada uno de estos procesos está limitada por una serie de restricciones, alguna de las cuales pueden ser identificadas y descritas para cualquier sitio en particular, ciertos elementos en sus respectivos *outputs* pueden entonces ser identificados, los cuales a su vez amplían la evidencia concerniente al barco en sí mismo" (Muckelroy *op. cit.*: 165, traducción propia). Por otro lado, existen procesos que operan como "redistribuidores de elementos" (*scrambling devices*) que resultan en la pérdida de la información contextual; ellos son: el proceso de naufragio y los movimientos del lecho marino producidos principalmente por las características propias del depósito (que permiten el enterramiento o no de los elementos), la acción de las olas y de las mareas, así como la actividad de organismos marinos. Consecuentemente, el entendimiento de todos estos procesos es fundamental para garantizar la validez de las conclusiones que surgen en la interpretación de un sitio.

Indudablemente el trabajo de Muckelroy constituyó un punto de partida para todo estudio posterior relativo a los procesos de formación en sitios de naufragio. En toda su obra ha quedado reflejada la gran importancia que él le daba a su adecuado estudio, así como a la necesidad de sentar sus bases teóricas. Entre sus aportes también debe destacarse el énfasis que asigna a la necesidad de incorporar estudios interdisciplinarios, tales como ecología marina, biología marina y geomorfología de costas, lo cual él mismo pone en práctica. La lamentable desaparición a una edad temprana de este joven investigador nos ha privado de posteriores avances en su trabajo.

Desde la segunda mitad de los años '70, el desarrollo del estudio de procesos de formación en sitios de tierra obviamente había influenciado a los arqueólogos subacuáticos. Una de las referencias más importantes en este sentido ha sido el trabajo de Michael Schiffer y su definición de los procesos de formación de sitio como aquellos factores naturales y culturales que crean el registro histórico y arqueológico, comprendiendo todas las transformaciones que sufren los artefactos -formales, espaciales, cualitativas y asociativas- en su paso del contexto sistémico al arqueológico (Schiffer 1987). Su trabajo, junto al de Muckelroy, son retomados como punto de partida en la mayoría de los trabajos posteriores relativos a la formación de sitios de naufragio.

En las siguientes décadas, el progresivo aumento en el número de pecios que eran objeto de investigaciones arqueológicas hizo posible el desarrollo de una mayor conciencia en lo que respecta a las particularidades que median la relación entre los distintos materiales arqueológicos y los factores ambientales en medios marinos. Una manifestación de ello es la aparición de diversas publicaciones dedicadas particularmente a la conservación de artefactos provenientes de tales ambientes (por ejemplo, Cronyn 1990; Hamilton 1996; Pearson 1987). En las mismas, profesionales de distintas disciplinas -biólogos, microbiólogos, geofísicos y químicos, entre otros- describen las condiciones particulares del medio marino y explican los procesos químicos, físicos y biológicos a los que están expuestos los materiales arqueológicos. Aparecen también en este momento manuales o compendios arqueológicos en los cuales se consideran específicamente las particularidades de los sitios sumergidos (Dean *et al.* 1992; Delgado 1997; Renfrew y Bahn 1993).

Es notable, desde otro punto de vista, que han sido muy escasos los trabajos dedicados al desarrollo teórico y el planteamiento de modelos explicativos en el estudio de los procesos de formación de pecios y sus consecuencias arqueológicas. Sin embargo, a partir de fines de la década del '90 encontramos algunas excepciones (Stewart 1999; Ward *et al.* 1998; Ward *et al.* 1999). Evidentemente, tal como algunos autores han notado, esta situación es consecuencia de la falta de desarrollo teórico en ésta especialidad. Hacia fines de la década del '90 David Stewart planteaba que la arqueología náutica debía crecer como disciplina, siendo evidente que hasta el momento no había logrado desarrollar un cuerpo de teoría propio. Dentro de ella, el entendimiento de los procesos de formación debía convertirse en un objetivo principal para los arqueólogos que estudian sitios sumergidos (Stewart 1999: 585). Si bien observa que existe interés por parte de diversos autores en los procesos de formación, reconoce que la mayoría de los trabajos están basados en el estudio de casos o regiones particulares.

Concordando con la definición de procesos de formación de Schiffer como aquellos factores que crean el registro histórico y arqueológico, Stewart (1999) se muestra escéptico, sin embargo, acerca de que pueda ser enteramente posible identificar y cuantificar todos los procesos que intervienen en ello. Considera que es realmente necesario intentar entender los factores que se han combinado en forma compleja para formar un sitio subacuático, los cuales pueden producir mezcla y/o destrucción de materiales arqueológicos y depositación de nuevo material. Por lo tanto, plantea una revisión -como un paso hacia su identificación y su comprensión- de los factores principales que afectan la formación de distintos tipos de sitios arqueológicos sumergidos, los cuales deben tenerse en cuenta desde el momento mismo en que comienza a plantearse un proyecto. En todos estos casos, se incluye a los naufragios como un tipo de sitio subacuático, entre otros posibles. Siguiendo el esquema de Schiffer (1987) indica y analiza una variedad de procesos depositacionales, determinando en cada caso las características del depósito resultante (el cual estará determinado también por las características del ambiente de depositación). Ellos son: naufragio (el ejemplo más obvio de depositación), depositación intencional, inundación y descarte de desechos. En cuanto a los procesos posdepositacionales, discute el potencial impacto de cada uno y sus posibles efectos, realizando también sugerencias en cuanto a cómo identificar y dar cuenta de esos procesos. Distingue entre ellos procesos culturales: reclamación, construcción, pesca, dragado y disposición de desechos, y procesos naturales: bioturbación, olas, mareas y corrientes y los efectos de la gravedad. Se señala aquí que, si bien muchos de los procesos depositacionales y posdepositacionales son comprendidos, muchos otros necesitan aún ser entendidos a fin de conocer los factores que se han combinado para formar el sitio estudiado. Dentro de los procesos que aún no se han investigado en forma adecuada, Stewart (1999) considera los efectos de la bioturbación. En ellos se incluye desde la pérdida de materiales debido a la presencia de organismos perforantes de madera, hasta el desplazamiento espacial de materiales por la acción de diversos organismos marinos. Un importante aspecto en este trabajo es que los procesos mencionados se presentan ilustrados con ejemplos provenientes de casos concretos, los cuales ejemplifican claramente las problemáticas en cuestión.

Por la misma época, Ward, Larcombe y Veth (1998, 1999) trabajaron en la formulación de un modelo para la formación de sitios de naufragio basado en la evolución de los procesos ambientales. Estos autores creen que la terminología utilizada hasta el momento para describir procesos de formación, tanto en sitios arqueológicos marinos como terrestres, presenta falencias ya que no contemplan un contexto espacial o temporal, ni son específicos respecto a los procesos involucrados. Entre otros ejemplos citan los conceptos de "scramblers" y de "filters" de K. Muckelroy

considerando que esta terminología es parte de un enfoque que no distingue los atributos de un naufragio con relación al rango de procesos que intervienen a lo largo del tiempo (Ward et al. 1999: 561). Si bien los ejemplos citados para ilustrar esta crítica son tomados de modo simplificado y no muy preciso, su opinión es más atinada al referirse a la formulación de los modelos de flujo que describen procesos de formación en sitios naufragios. Afirman que Muckelroy no distingue entre los atributos relacionados a los procesos y los relacionados a los productos de dichos procesos y, por lo tanto, resultan modelos que son más descriptivos que predictivos. Precisamente consideran que la utilidad de los modelos es ayudar a predecir las circunstancias de la formación de naufragios, para lo cual necesitan estar basados en parámetros mensurables y ser testeables. Creen también que las aproximaciones al estudio de procesos de desintegración de naufragios están usualmente limitadas al contexto de excavación y recolección de materiales, pero que en realidad los modelos también deben ser útiles para la evaluación y el manejo de aspectos relacionados a la conservación de los restos arqueológicos. Por consiguiente, plantean como objetivo presentar un nuevo enfoque de la formación de sitios de naufragio basado en procesos ambientales físicos, químicos y biológicos, los cuales a su vez son relacionados con la historia depositacional del sitio. La naturaleza de la sedimentación, según sea acumulativa o erosiva, es considerada un factor principal de control para la preservación de un naufragio (factor que a su vez depende de las características sedimentarias e hidrodinámicas del sitio). La influencia de la sedimentación relativa sobre los procesos ambientales mencionados, por su parte, puede ser cuantificada a partir de parámetros mensurables (Tabla 4.1).

	PROCESOS FÍSICOS	PROCESOS BIOLÓGICOS	PROCESOS QUÍMICOS
ACUMULACIÓN (y parámetros medibles)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Compactación (Grado de compactación del sedimento). 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Elevación de la capa bioestratigráfica sedimentaria dominada por bacterias sulfato/metano reductoras (Examen microbiológico) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Condiciones anóxicas (Cambio en el potencial redox) ▪ Corrosión reductora (Electrólisis)
EROSIÓN (y parámetros medibles)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Incremento de la exposición a olas y corrientes (Grado de dispersión) ▪ Abrasión por el movimiento de partículas sedimentarias (Pérdida de volumen) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Remoción de la capa bioestratigráfica dominada por bacterias oxidantes (Examen microbiológico) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Condiciones óxicas (Cambio en el potencial redox) ▪ Incremento en la corrosión (Tasa de crecimiento de las concreciones)

Tabla 4.1. Ward, Larcombe y Veth ejemplifican la influencia de la sedimentación relativa en relación con los procesos físicos, biológicos y químicos, indicando los parámetros que pueden ser utilizados para cuantificar dichos procesos (adaptado de Ward et al. 1999).

Debido a que los diversos factores involucrados actúan en forma conjunta en el proceso de desintegración de un pecio, es importante entender y reconocer la dinámica de estas interacciones. Retroalimentaciones positivas y negativas operan en forma dinámica entre el agua, el sedimento y el pecio. En términos generales, los procesos físicos suelen ser más determinantes en un principio, pero en la medida en que el naufragio se desintegra y los materiales interactúan con el ambiente sedimentario, los procesos biológicos y químicos adquieren una mayor importancia relativa (Ward *et al.* 1998). En función de esta perspectiva se formula una versión expandida del diagrama de flujo de Muckelroy. En él se distinguen los procesos principales que afectan la desintegración de un naufragio en base a las características del naufragio, del ambiente sedimentario y del ambiente hidrodinámico (Fig. 4.2).

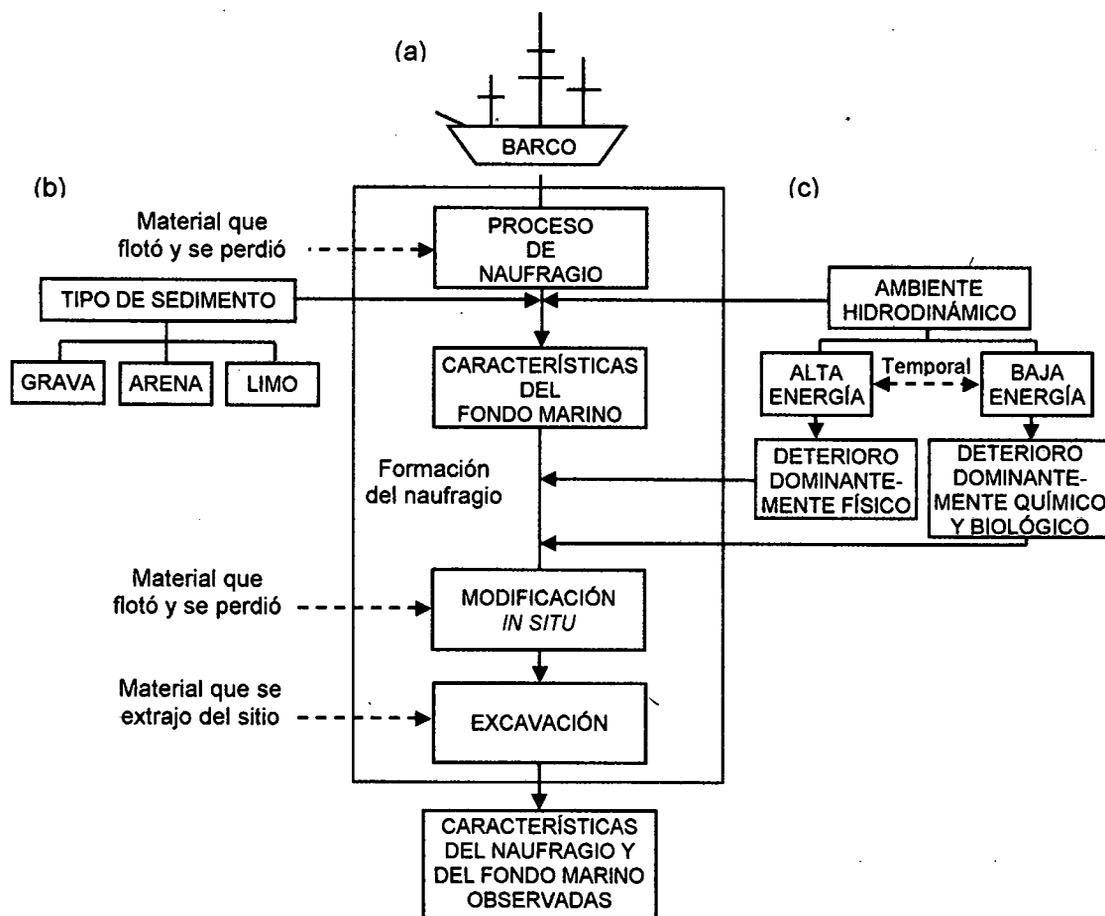


Figura 4.2. Ampliación del diagrama de Muckelroy (1978) en el que Ward, Larcombe y Veth resaltan los procesos que consideran que tienen mayor importancia en la desintegración de un sitio de naufragio: el naufragio en sí mismo (a), el ambiente sedimentario (b) y el ambiente hidrodinámico (c) (adaptado de Ward *et al.* 1999).

A partir de estudios relativos a las características sedimentarias e hidrodinámicas del sitio de naufragio del *Pandora* (siglo XVIII). Ward *et al.* (1998, 1999), plantean un modelo hipotético de desintegración de un pecio. Si bien estos autores no consideran aquí a los procesos culturales, se acepta que el proceso de excavación en sí mismo

afecta el deterioro de los materiales arqueológicos al exponer a nuevas condiciones ambientales partes del pecio que antes estaban protegidas por sedimento.

En este modelo, la tasa de desintegración de un naufragio es igual a la suma de las tasas de desintegración causadas por procesos físicos, biológicos y químicos, en función de la historia depositacional (variación a través del tiempo de los procesos sedimentarios), calculada como la tasa de acumulación o remoción de sedimento en el pecio. La combinación de estos factores permite definir distintos escenarios posibles de preservación (Fig. 4.3). Si bien el proceso total de desintegración de un naufragio es continuo, puede ocurrir en muy diferentes tasas de variación a lo largo del tiempo. Se indica como ejemplo que la tasa de deterioro físico puede ser medida de acuerdo al promedio de pérdida de la integridad estructural del naufragio a lo largo del tiempo, en función a la tasa de sedimentación o remoción de sedimento. En cuanto al deterioro biológico, puede ser considerado en relación con los cambios en la población y diversidad de organismos que favorecen estos procesos, mientras que el deterioro químico, puede ser calculado en función de la tasa de corrosión del sitio (Ward *et al.* 1999).

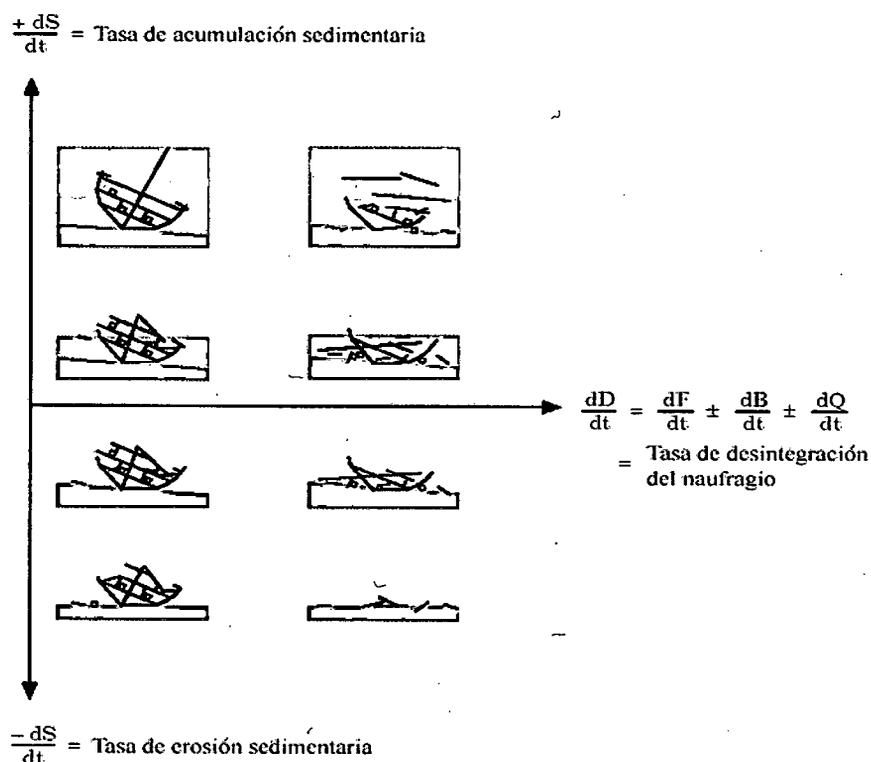


Figura 4.3. Diagrama mediante el cual Ward, Larcombe y Veth explican la formación de un sitio de naufragio mediante la relación entre la tasa de desintegración (dD/dt) y la tasa de acumulación sedimentaria relativa ($+dS/dt$) o de remoción sedimentaria relativa ($-dS/dt$); donde $dD/dt = \text{tasa de deterioro físico } (dF/dt) + \text{tasa de deterioro biológico } (dB/dt) + \text{tasa de deterioro químico } (dQ/dt)$. Se ilustran en el gráfico los diversos escenarios posibles que resultan de la combinación entre el proceso de deterioro del pecio y la sedimentación en el sitio (adaptado de Ward *et al.* 1999).

Los autores señalan que el modelo propuesto tiene la ventaja de poseer un alcance universal, reconociendo específicamente procesos físicos, biológicos y químicos en el contexto del ambiente de depositación. Además, el enfoque planteado, al tener en cuenta la evolución temporal de estos procesos, puede ayudar a la comprensión de la formación de sitios a través del modelado cuantitativo de los mismos. Esto último se logrará en función de los avances que se obtengan en la cantidad y calidad de los datos relativos a las tasas involucradas. Al estar orientado a procesos y ser independiente en cuanto a su escala temporal y espacial se percibe aplicable tanto a un naufragio en su totalidad como a sus componentes individuales. Al ser aplicable a todos los sitios de naufragio localizados en un tipo particular de ambiente, su capacidad predictiva lo convierte en un instrumento útil para el manejo y conservación de sitios arqueológicos (Ward *et al.* 1999: 569).

En los últimos diez años, mientras tanto, una cantidad creciente de trabajos ha dado luz sobre la amplia variedad de agentes y procesos vinculados en la interacción entre materiales arqueológicos y el medio marino. La mayoría de ellos son resultado de la investigación de sitios de naufragio medievales y posmedievales localizados en Europa del norte, Australia y Estados Unidos (ver más abajo). Profesionales de distintas disciplinas -como químicos, microbiólogos, conservadores, geofísicos- se convirtieron en integrantes estables de los equipos de investigación, conduciendo incluso ellos mismos diversos proyectos. Las líneas principales que han orientado gran parte de las investigaciones han estado vinculadas a la conservación de los materiales arqueológicos- tanto *in situ* como en laboratorio- y, especialmente en los últimos años, a la implementación de planes de monitoreo y manejo para la protección de sitios a corto y largo plazo (por ejemplo: Alvik y Tikkanen 2004; Gregory 1995, 1998, 1999; Guthrie *et al.* 1994; Oxley y Gregory 2002; Pournou 1999; Pournou *et al.* 1999, 2001).

Llamativamente, la mayoría de los trabajos que se mencionan a lo largo de este capítulo no incluyen explícitamente dentro de sus objetivos inquietudes vinculadas al estudio de la formación de un sitio como medio de controlar las interpretaciones sobre el pasado humano que se hacen a partir del mismo. De algún modo una excepción surge tal vez en aquellos casos en donde hay un interés en comprender cómo se produjo la evolución general depositacional y posdepositacional del pecio en su conjunto. Notablemente gran parte de estos trabajos se basan en el estudio de casos individuales, y donde el estudio de agentes o procesos específicos se realiza en función de un determinado tipo de material -especialmente madera y metales. En pocas oportunidades se han desarrollado en sitios concretos trabajos de mayor complejidad que incluyan una exhaustiva caracterización de las condiciones ambientales del sitio y la evaluación de los alcances de su interacción con los materiales arqueológicos, así como sus implicancias en los procesos de formación. Estos casos corresponden en general a proyectos de investigación de gran envergadura, que han comenzado hace varios años y que cuentan con importantes equipos interdisciplinarios de trabajo. Como ejemplo puede citarse el trabajo en el pecio *Mary Rose* (Jones 2003) y en *La Surveillante* (Breen 2001).

En el marco de las investigaciones que se llevan a cabo en el pecio de *La Surveillante*, Herron (2001) propone también el planteamiento de un modelo conceptual que integra procesos culturales y naturales, cada uno de los cuales pueden ser descritos en términos de su condición, estado y escala (Fig. 4.4 y Tabla 4.2). Este modelo conceptual es entendido como una representación aproximada de la realidad, que es utilizada para describir las relaciones generales entre componentes de un sistema. Esto constituye una guía fundamental para el análisis y la interpretación de un sitio (Herron *op. cit.*).

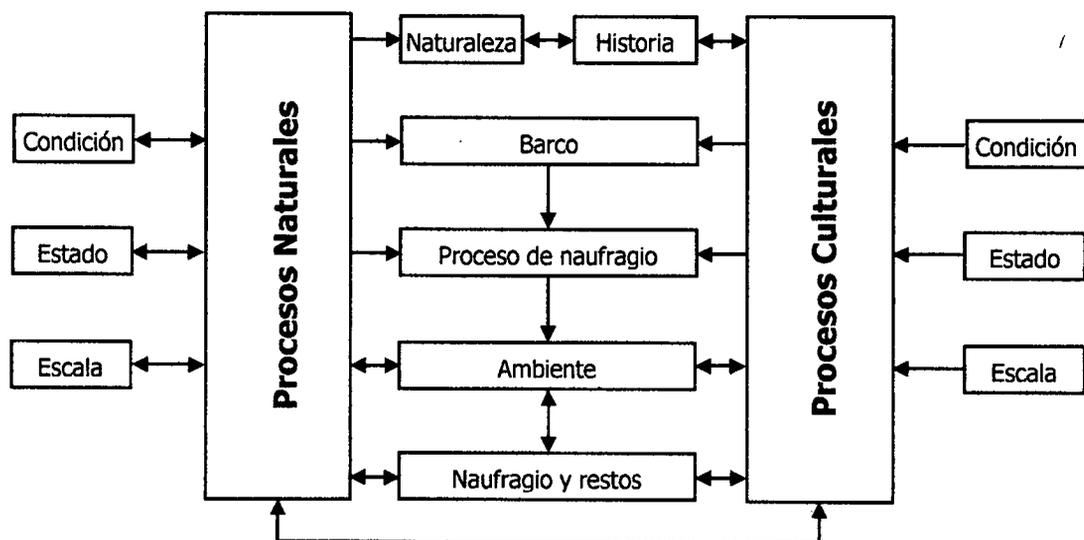


Figura 4.4. Modelo de procesos de formación de sitios de naufragio sensu Herron (adaptado de Herron 2001).

CONDICIÓN		ESTADO		ESCALA	
Acuática		Física		Temporal	
Ej.	Mareas Olas Mar de fondo Corrientes	Naturaleza	Proceso		Constante Cíclica Efímera Evento Segundos a centurias
		Energía Turbidez Profundidad Pendiente Temperatura Humedad	GENERAL	ESPECÍFICA	
			Translación* Transformación** "Scrambling"***	Depositación Suspensión Erosión Desintegración	
Topográfica		Química		Espacial	
Ej.	Batimetría/ Formas de fondo Restingas Arrecifes Planicie	Cuevas Acantilados Grietas Bancos	Salinidad Nutrientes Acidificación Oxigenación		Dispersión desde el naufragio Micro/macro escala (partes o artefactos del pecio)
Sedimentaria		Biológica			
Ej.	Tipo de fuente		Micro-macro organismos		

Tabla 4.2. Guía para la descripción de los procesos de formación naturales en sitios de naufragio (adaptado de Herron 2001). Ref.: *Schiffer, M. 1987, *Formation Processes of the Archaeological Record*, University of New Mexico Press, Albuquerque; **Clarke, D. 1968, *Analytical Archaeology*, Methuen, London; *** Muckelroy, K. 1978, *Maritime Archaeology*, Cambridge University Press, New York.

La tendencia que se ha señalado, respecto a que en la investigación de la interrelación medio ambiente - materiales arqueológicos el énfasis está dirigido a aspectos de la conservación de los sitios y no tanto a la comprensión de los procesos de formación, puede deberse a diversos factores. En primer lugar es importante considerar que en los últimos años varios países han promovido proyectos de investigación que no incluyen la excavación de los pecios. Esta decisión responde principalmente a la dificultad de poder garantizar la conservación de los materiales extraídos (ver por ejemplo UNESCO 2001). Los importantes costos necesarios para la conservación de los materiales saturados de agua que son resultado de una excavación también han llevado a decisiones similares. Por otro lado, la cantidad de sitios de naufragio hallados en todo el mundo ha aumentado considerablemente en los últimos años, por lo que en varios países, las instituciones responsables del cuidado del patrimonio cultural subacuático han optado por dirigir sus esfuerzos a evaluar las amenazas del medio ambiente sobre los sitios y emprender acciones destinadas a mitigarlas a fin de asegurar su preservación a largo plazo.

Desde otro punto de vista, la formación (no siempre académica) de los investigadores que conducen estos estudios evidentemente ha influido en los objetivos acerca de las cuestiones que se busca responder. La participación de diversos especialistas (no arqueólogos) como integrantes de equipos de trabajo o en la dirección de proyectos, si bien tal como se indicó más arriba, ha sido fundamental en la investigación de los procesos de formación de naufragios, ha dado como resultado muchos estudios particularistas. En el caso de los arqueólogos, debe tenerse en cuenta que en muchas oportunidades su formación profesional en arqueología marítima o náutica ha sido obtenida a partir de un título de posgrado en dicha especialización. Dichos programas suelen ofrecer una adecuada formación en aspectos metodológicos, técnicos e históricos, pero en general no constituyen ámbitos que promuevan la reflexión teórica y, en cierto nivel, el planteamiento de problemas arqueológicos.

En los últimos años diversos temas han ocupado la atención de los investigadores. Entre ellos se encuentra el interés concerniente a la comprensión de los procesos físicos involucrados en las secuencias iniciales (posdepositacionales) de deterioro de los componentes estructurales de un naufragio y de su contenido, así como su evolución a lo largo del tiempo. El estudio de la formación de zanjas ("scours") alrededor de los pecios (desplazamiento de sedimento que se produce cuando las corrientes de agua encuentran un obstáculo en su camino), y su rol en los procesos de colapso y enterramiento de elementos estructurales son cuestiones que comenzaron a ser exploradas desde algún tiempo (por ej., Quinn *et al.* 1997). El uso de tecnología geofísica de sensoramiento remoto ha sido utilizada en la investigación de estos temas, teniendo un importante potencial para el manejo y monitoreo de sitios (Quinn *et al.* 1998; Quinn *et al.* 2001; Quinn *et al.* 2002).

Los procesos de corrosión de artefactos metálicos y de deterioro de materiales orgánicos son otros aspectos que han sido recurrentemente tratados. Un punto desde el cual se han enfocado estos estudios ha sido a partir de las causas y los efectos del biodeterioro, es decir, el daño que los organismos vivos causan en los distintos materiales. Estos estudios se han dirigido principalmente, por un lado, a la acción de bacterias y hongos (Björddal y Nilsson 2002; Guthrie *et al.* 1994; Jones 2003; Nilsson 1999; Thomson 1997, por citar sólo algunos), y por otro lado, a la actividad de organismos marinos perforantes de madera (por ejemplo, Gregory 1995, 1998, 1999; Jones 2003; Palma 2004; Pournou 1999; Pournou *et al.* 2001; Thomson 1997). La necesidad de mejorar la comprensión de estos agentes ha llevado a la utilización de distintas herramientas metodológicas, una de las principales ha sido la utilización de

estudios experimentales (Gregory 1995, 1998, 1999; Palma 2004; Pournou 1999; Pournou *et al.* 1999, entre otros).

Estrechamente vinculado a esto, se avanzó en el conocimiento de las características y las dinámicas sedimentarias, en cuanto a los factores que podrían promover o alterar las condiciones anaeróbicas o anóxicas de los mismos. Estas condiciones, al ser fundamentales para regular la presencia de organismos en los sedimentos, influyen notablemente en la conservación de los materiales arqueológicos (ver, por ejemplo, los trabajos de Björdal *et al.* 2000; Gregory 1998; Guthrie *et al.* 1994).

Ferrari y Adams (1990) se interesaron en estudiar de qué modo la acción de organismos bentónicos podría alterar las condiciones físicas y químicas de los sedimentos. Considerando la interacción de estos procesos con los materiales arqueológicos, brindan especial atención a los efectos posdeposicionales de los organismos que cavan madrigueras en sedimentos blandos. La actividad de peces, crustáceos y otros organismos en los fondos marinos pueden tener efectos similares a los que tienen los roedores en tierra, aunque no debe minimizarse la acción de organismos menores ya que sus efectos son acumulativos a lo largo del tiempo. Los organismos bentónicos pueden por lo tanto tener un rol significativo en el enterramiento de materiales, en la alteración de las relaciones estratigráficas dentro de un depósito y en la estabilidad de los materiales arqueológicos (debido a que la actividad cavadora puede producir daño mecánico a los artefactos). Los mencionados autores no creen, sin embargo, que sea productivo estudiar estos procesos simplemente como la influencia del ambiente sobre los materiales arqueológicos (Ferrari y Adams *op cit.*). Más bien, estos últimos deben ser incluidos como parte de un complejo sistema de interacción junto con el medio ambiente y los organismos, lo cual resultará en su supervivencia y distribución. La presencia y las características de los materiales culturales tiene también efectos en el ambiente local, promoviendo o previniendo la actividad de organismos. Evidentemente las características del sedimento son el primer factor para determinar la presencia de organismos cavadores, tratándose básicamente -pero no exclusivamente- de sedimentos blandos. Esto alerta el cuidado que debe tenerse ya que justamente son estos ambientes los que permiten preservar enterrados los materiales en muy buenas condiciones. Tampoco puede pasarse por alto que al comenzar la excavación de un sitio se exponen nuevos sectores a la acción de estos organismos. Es necesario señalar que el trabajo de Ferrari y Adams (1990) se ha convertido en un punto de referencia importante en numerosos trabajos posteriores (Easton 1997; Dean *et al.* 1992; Gregory 1998; Guthrie *et al.* 1994; Stewart 1999; Ward *et al.* 1998; Ward *et al.* 1999, entre otros).

Por su lado, Easton (1997), define como "bioturbación bentónica" a la perturbación y mezcla de sedimentos causados por raíces y/o por la actividad de organismos como peces, moluscos y crustáceos. Cree que las consecuencias de la bioturbación bentónica son pobremente entendidas, razón por la cual considera fundamental no sólo el aporte de estudios en biología marina sino también de la investigación geomorfológica de la dinámica sedimentaria local. Sostiene que los principios de la tafonomía desarrollados en arqueología terrestre deben ser la base para el estudio de estos procesos en sitios subacuáticos. Estudios *in situ* y experimentales en relación a los ciclos de vida de la fauna y flora bentónica, según Easton (*op. cit.*: 60), "fortalecen nuestra capacidad de conocer el significado de la distribución de elementos culturales localizados en sedimentos acuáticos".

Paradójicamente al hecho de que en una considerable proporción de naufragios -ocurridos en distintos ambientes- suele ser notable a simple vista la presencia de

organismos sobre la superficie de los materiales arqueológicos, pocos trabajos se han dirigido a evaluar específicamente el efecto que pueden causar en los mismos. Randell (1998), por ejemplo, plantea en forma general que el conocimiento de la formación de arrecifes artificiales y el estudio del crecimiento de organismos sobre sitios de naufragio -en la forma de concreciones y comunidades incrustantes (o *biofouling*)- podrían ser utilizados para indicar condiciones o procesos ambientales y de formación de sitio y, evidentemente, orientar aspectos de la conservación de los mismos. Una excepción a lo dicho es el trabajo de Thomson (1997), en donde se evalúan *in situ* los efectos de la fijación de una determinada especie incrustante sobre los restos estructurales de madera de un pecio.

Resulta evidente que el conocimiento obtenido hasta el momento respecto a los efectos de los organismos sobre los materiales arqueológicos es muy limitado, y que a menudo este está basado más en observaciones preliminares que en estudios sistemáticos. A fin de avanzar en este sentido, en el punto siguiente se propone una revisión de los antecedentes en el estudio de comunidades bentónicas y biodeterioro de materiales.

4.2. ESTUDIOS DE BIODETERIORO EN AMBIENTES MARINOS

Los ambientes marinos, además de presentar una gran biodiversidad, son notables también por la gran variedad de formas de colonización que se desarrollan en ellos. Existe siempre una importante cantidad de propágulos (organismos en sus etapas iniciales de vida) de especies altamente diversificadas que se encuentran listas para colonizar cualquier pequeño espacio en este ambiente, ya sea sólido o líquido.

En lo que respecta a la colonización de sustratos sólidos, los fondos marinos juegan un rol fundamental. Estos fondos, si bien se presentan en una variedad de formas, pueden ser divididos básicamente en dos grupos: fondos blandos o sedimentarios y fondos duros o rocosos. En cada tipo de fondo se encuentran especies que viven en estrecha asociación entre ellas y a su vez con el sustrato. Debido a que en la naturaleza los fondos blandos o sedimentarios predominan notablemente sobre los fondos rocosos, existe una gran demanda por la colonización de estos últimos por parte de los organismos que requieren sustratos duros para vivir.

Desde que el ser humano comenzó a hacer uso del espacio acuático, con la explotación de recursos naturales y el desarrollo del comercio interoceánico, se hizo posible el ingreso en el medio marino de nuevos materiales. Estos materiales de origen antrópico se sumaron a la oferta de sustratos naturales duros y, en la medida en que no resultaran tóxicos para los organismos vivos, comenzaron también a ser colonizados. El desarrollo de formas de vida asociadas a sustratos materiales no ha pasado inadvertido en ciertos campos de la actividad humana, ya que su presencia implica importantes perjuicios.

Entre todos los animales y vegetales que habitan los mares, se considera que dos grupos principales de organismos son los responsables de los perjuicios más severos para el ser humano, debido a que pueden producir importantes daños en un período relativamente corto de tiempo desde el momento en que inician la colonización de un sustrato. Uno de ellos está formado por los organismos marinos perforantes de

madera, los cuales al horadar dicho material producen su destrucción física. Dentro del otro grupo se encuentran micro y macro organismos, que componen las denominadas comunidades incrustantes o *biofouling*. El daño que ocasionan las especies que conforman este último grupo puede tener un origen tanto de tipo mecánico - consecuencia de su fijación al sustrato- como químico -consecuencia de sus procesos metabólicos-, es decir que pueden producir una considerable alteración físico-química de los materiales que el hombre sumerge en el mar (Bastida *et al.* 2001). También ocasionan perjuicios al hombre en forma indirecta, en la medida en que al colonizar sustratos artificiales pueden reducir la eficacia de diversos materiales y estructuras, como por ejemplo, en el caso de boyas, embarcaciones y plantas industriales (ver más abajo).

El conjunto de los organismos marinos perforantes de madera está constituido por diversas especies de moluscos y crustáceos que, si bien presentan grandes diferencias entre ellos en cuanto a su apariencia, formas de movilidad y modo de perforar la madera, tienen en común el estar especializados en horadar este tipo de sustrato. La distribución de estos organismos en los mares del mundo está determinada por la existencia de las condiciones hidrológicas que requiere cada especie y, por supuesto, por la presencia de sustratos colonizables. En la naturaleza, la presencia de estos organismos está por lo tanto vinculada a la presencia de material de origen terrestre en el ambiente marino, como así también a la existencia de ciertas comunidades vegetales -como los manglares- en áreas marinas o estuariales.

Entre los moluscos bivalvos perforantes que más perjuicio han causado al hombre, el grupo más importante y con mayor distribución en el mundo es el de los teredínidos (Familia Teredinidae). A menudo se hace referencia a ellos como "teredos", siendo esta en realidad la denominación de uno de los varios géneros que componen dicha familia. También son vulgarmente conocidos como "broma", y en inglés como "*shipworms*" ("gusanos del barco"). En este último caso se debe a que el cuerpo de estos moluscos se desarrolla con una forma alargada similar a la de un gusano, conservando en su parte anterior las dos pequeñas valvas con las que perforan la madera. Una vez que estos moluscos están en contacto con el sustrato comienzan a perforarlo para construir un túnel dentro del cual permanecerán durante toda su vida, sin volver a salir jamás al exterior. A medida que crecen continúan excavando la misma galería, cuyas dimensiones variarán de acuerdo a las distintas especies, así como también en función del espacio disponible en el sustrato. Una pieza de madera podrá estar completamente horadada en su interior mientras que exteriormente sólo serán visibles los pequeños orificios que han realizado los perforantes para ingresar a la misma (Fig. 4.5). De no ser advertida la colonización a tiempo, la madera eventualmente comenzará a colapsar hasta quedar reducida a pequeños fragmentos.



a



b



Figura 4.5. Madero atacado por moluscos teredínidos: a) en su exterior sólo pueden observarse las pequeñas perforaciones iniciales; b) corte transversal que permite ver el diámetro de los orificios; c) corte longitudinal que exhibe el largo de las galerías, algunas de las cuales conservan en su interior restos del carbonato de calcio con el que estos organismos recubren las paredes interiores de las mismas (escala en cm).

Entre los crustáceos perforantes, el grupo más relevante es el de los isópodos. En cuanto a su aspecto y dimensiones estos organismos son similares a otros invertebrados, con los cuales están además emparentados, los isópodos onicoideos o "bichos bolita". A diferencia de los teredínidos, los isópodos perforan la madera construyendo una compleja red de pequeñas galerías muy próximas a la superficie del sustrato. Esto provoca de inmediato el colapso de la capa superficial de la madera y la exposición de las galerías. En la medida de que la excavación continúa de este mismo modo, se va produciendo la paulatina exfoliación del material hasta su destrucción total (Fig. 4.6). Debido a que estos organismos tienen preferencia por colonizar sustratos localizados en zonas intermareales (es decir, que permanecen sumergidos cuando la marea es alta y descubiertos cuando la marea baja), suelen atacar principalmente los pilotes de muelles o embarcaderos.

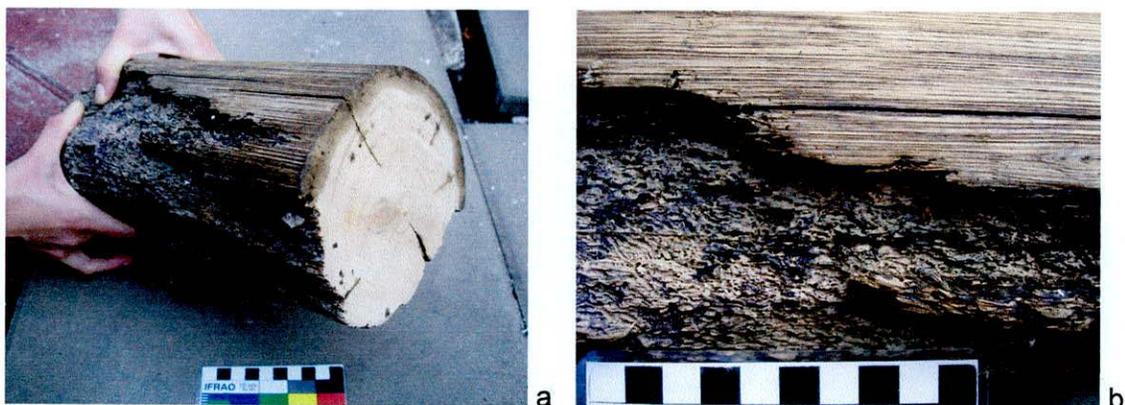


Figura 4.6. Madera atacada por isópodos marinos. a) Aspecto exterior; b) detalle de las galerías (escala en cm).

El hombre ha tenido conocimiento de la acción perjudicial de los organismos marinos perforantes de madera desde los orígenes de la navegación. Los mismos ya

eran conocidos por los griegos de la antigüedad como Plinio, Ovidio y Aristófanes (Miller 1959; Steinmayer y MacIntosh Turfa 1996). El mismo Linnaeus llamó a los teredos "*calamitas navium*" (Calman 1919), y navegantes como Cook y Drake sentían pavor por el posible ataque de estos organismos que habían llevado a Cristóbal Colón a perder todos los navíos de su cuarto viaje a América (Lopes dos Reis 1995; Nair y Saraswathy 1971). Consecuentemente, a lo largo del tiempo se han desarrollado diferentes métodos con la finalidad de proteger a las embarcaciones de este "enemigo oculto". Entre estos se cuenta el revestimiento del casco con láminas de plomo, las cuales impedían que éste fuera atacado, o el uso de tablas de madera que oficiaban como madera de "sacrificio" -utilizando en este caso además una mezcla de alquitrán y pelo entre éstas y el forro de madera del casco-. Sin embargo, fue recién en la segunda mitad del siglo XVIII cuando se logró hallar un método eficiente para su control, consistente en el recubrimiento de los cascos de madera con finas láminas de cobre (Bingeman *et al.* 2000; Glasgow 1967; Harland 1976; Miller 1959; Rees 1971; Staniforth 1985). Finalmente, a partir de mediados del siglo XIX, la madera comenzaría a ser reemplazada por otros materiales -como el hierro- en la construcción del casco de grandes barcos (Bingeman *et al.* 2000), lo que constituyó indirectamente una solución para la cuestión de los perforantes.

No obstante, el ataque de perforantes marinos en construcciones e instalaciones portuarias de madera continuaba siendo un problema. A lo largo de la historia numerosos casos refieren al debilitamiento y destrucción de pilotes o estructuras sumergidas de muelles, puertos, puentes, embarcaderos, muros de contención y dársenas, debido a la actividad de estos organismos. Por ejemplo, ya desde 1730 existen registros de sucesivos ataques de perforantes en la estructura de madera de diques en las costas de Holanda, provocando en repetidas oportunidades su destrucción. Durante el siglo XX, se produjeron daños millonarios cuando el muelle de la Bahía de San Francisco, en Estados Unidos, debilitado por la acción de perforantes, comenzó a colapsar por su propio peso o por los impactos recibidos por las embarcaciones que amarraban allí (Miller 1959). A mediados del siglo los pilotes de madera de un muelle de New Jersey, que había sido construido sólo veinte años antes, también colapsaron imprevistamente (Smith 1956).

Para la Argentina se ha mencionado la presencia de organismos perforantes en varias localidades de nuestras costas desde principios del siglo XX. Desde entonces, se han registrado importantes daños causados por "teredos" en estructuras de madera en el muelle de puerto Galván (provincia de Buenos Aires) y en el de Ushuaia (Bastida y Torti 1972a; Prosser Goodall 1978). Los crustáceos limnóridos, por su parte, fueron responsables de la destrucción del muelle viejo de Puerto Madryn y del ataque de la parte de madera del nuevo, así como también embarcaciones de madera (Bastida y Torti 1972b). Las escasas referencias que existen sobre perforantes -siendo muchas veces de carácter general- se deben, por un lado, al reducido número de puertos de madera en nuestras costas. Por otro lado, a que hasta los años '60 existió en nuestro país un gran desconocimiento de las comunidades que habitaban dichos puertos, si bien ya se habían identificado varias especies en los países vecinos (Bastida y Torti 1972a).

En cuanto al *biofouling*, en él se incluye una gran variedad de formas de vida, tales como algas, briozoos, poliquetos y moluscos, entre muchos otros. En la naturaleza, estos organismos forman parte de lo que se denomina "comunidades bentónicas", es decir, aquellas que viven en asociación con los fondos marinos. Cuando los sustratos en los que se fijan son de origen antrópico reciben la denominación de "comunidades incrustantes" o "*biofouling*" (originada en la palabra inglesa "*fouling*" que significa "ensuciamiento"). Habiendo sido empleado desde la antigüedad en el léxico náutico

actualmente este término está incorporado a nuestro propio idioma (Bastida 1971; Bastida y Brankevich 1989; Wood 1950; Woods Hole Oceanographic Institute 1952; Young y Mitchell 1973).

Una vez que estos organismos inician la colonización del sustrato, su posterior crecimiento y la continua fijación de otros nuevos permite en poco tiempo el desarrollo de comunidades complejas. Estas pueden alcanzar varios centímetros de espesor, tanto mayor si es un ambiente de aguas templadas o cálidas, en donde las formas de vida son más abundantes y los ciclos reproductivos más rápidos que en aguas frías.

La fijación de estas comunidades en el casco de embarcaciones implica, consecuentemente, inconvenientes para la navegación, ya que su presencia aumenta la rugosidad de la superficie y por lo tanto los navíos no pueden alcanzar la velocidad para la que fueron diseñados. Hasta fines del siglo XVIII los barcos que realizaban prolongados viajes por los mares del mundo a menudo debían realizar tareas para quitar la cobertura del *biofouling* de los cascos, ya que el mismo los volvía lentos y pesados. Cuando no se encontraban en algún puerto, estas tareas implicaban una complicada operación que consistía en localizar una playa apropiada para hacer encallar temporalmente el barco, y una vez allí se desprendían todos los organismos adheridos utilizando medios mecánicos y también el fuego. Este último procedimiento no estaba exento de riesgos, y de hecho, así fue como en 1615 los holandeses Schouten y Le Maire perdieron uno de los dos barcos que formaban parte de la expedición en la que descubrirían el Cabo de Hornos (Gallez 1973).

Cuando en el siglo XVIII se comenzó a forrar el casco de las embarcaciones con láminas de cobre para impedir el ataque de organismos perforantes, se descubrió accidentalmente que también resultaba ser un muy buen método para evitar la fijación de organismos incrustantes (Bingeman *et al.* 2000), debido a que este material resulta tóxico para ellos. Sin embargo, con el desarrollo de la industrialización, nuevos materiales se pusieron en contacto con el medio marino y, consecuentemente, surgieron otros problemas relacionados a la fijación de *biofouling*. En la construcción del casco de las grandes embarcaciones -como mencionamos anteriormente- paulatinamente dejó de ser utilizada la madera y se comenzó a emplear el hierro (poco tiempo después comenzaría a utilizarse, y ya en forma definitiva, el acero). El cobre ya no pudo utilizarse en el revestimiento de los cascos porque cuando este metal se encuentra en el mar en contacto con el hierro se produce corrosión de tipo galvánica. Con el uso de sistemas de propulsión mecánica en las embarcaciones, para poder compensar la resistencia que el *biofouling* ofrecía al desplazamiento debía aumentarse considerablemente el consumo de combustible, lo cual elevaba notablemente los costos de navegación (Bastida *et al.* 2001). No es difícil imaginar los inconvenientes logísticos que el *biofouling* implicaba en la actividad bélica naval, los cuales fueron críticos durante la Segunda Guerra Mundial. Un ejemplo de ello es lo ocurrido durante la famosa batalla del Río de la Plata, en donde el *Admiral Graf Spee*, máximo exponente de la construcción naval de la época, inexplicablemente pudo quedar al alcance de tiro de las naves inglesas. Una vez finalizada la guerra, pudo saberse a través de una carta confidencial de uno de los oficiales del buque, que la derrota en dicha batalla no se debió a la superioridad de la Armada Británica, sino a que el *Graf Spee* estuvo imposibilitado de desarrollar sus máximas velocidades debido al intenso fouling que se había adherido a su casco durante su permanencia previa en aguas tropicales (R. Bastida com. pers.)

Además de los perjuicios vinculados con la navegación, el *biofouling* provoca en la industria pérdidas que suman miles de millones de dólares anuales en todo el mundo. En las plantas industriales que cuentan con instalaciones ubicadas en el mar la fijación

de organismos incrustantes provoca la obstrucción de cañerías y conductos. Este es el caso de centrales termoeléctricas y atómicas, que emplean el agua de mar como sustancia refrigerante, o de plantas de producción cuyos desagües descargan en el mar (Bastida *et al.* 2001).

Las extraordinarias pérdidas económicas que provoca la actividad de estos organismos llevaron al desarrollo de un campo de investigación propio dentro de la biología marina: los estudios de biodeterioro. Los mismos tuvieron un gran impulso a partir de la Segunda Guerra Mundial, cuando los avances científico-técnicos logrados en diversas disciplinas comenzaron a aplicarse a la resolución de los problemas prácticos a los que se enfrentaba el hombre en la actividad naval. Los proyectos científicos de los principales institutos de investigación marina de los Estados Unidos reorientaron entonces sus investigaciones de acuerdo a estos objetivos.

En muchas oportunidades fue necesario comenzar realizando la identificación y clasificación las especies de organismos perforantes y las comunidades de *biofouling*, de los cuales no se conocía mucho hasta aquel momento (en el caso de perforantes fue fundamental el trabajo de Turner 1966). De esta forma se identificaron los diferentes organismos animales y vegetales que colonizan los materiales, sus mecanismos de adhesión, sus ciclos evolutivos y sus múltiples acciones biodeteriorantes. Paulatinamente fueron surgiendo diversas instituciones e investigadores que lograron incrementar notablemente el conocimiento sobre estas cuestiones y su aplicación en el ámbito industrial (Bastida *et al.* 2004). De este modo se logró un notable avance en el conocimiento de los procesos físico-químicos y biológicos de la corrosión metálica, los aspectos biológicos, microbiológicos y ecológicos de los organismos incrustantes y de los organismos perforantes, y el rol de los microorganismos asociados a ellos (Anónimo 1952; Lane *et al.* 1955; Gareth Jones *et al.* 1976; Greenfield 1955; Nair 1962; Nair y Saraswathy 1971; Wood 1950; Woods Hole Oceanographic Institute 1952; Young y Mitchell 1973). Se desarrollaron también programas especiales de estudio de biodeterioro en el medio marino que involucraban la participación de gran cantidad de países de todo el mundo (por ejemplo, Gareth Jones *et al.* 1972).

Nuestro país fue pionero en el estudio del biodeterioro en el medio marino dentro de Latinoamérica. Los mismos comenzaron a mediados de la década de '60, con proyectos desarrollados por el Instituto de Biología Marina de Mar del Plata y el LEMIT- CIDEPINT (Laboratorio de Ensayo de Materiales e Investigaciones Tecnológicas - Centro de Investigación y Desarrollo en Tecnología de Pinturas y Recubrimientos). A través del trabajo desempeñado por estas y otras instituciones se logró obtener abundante información sobre áreas portuarias y costeras (tanto estuariales como marinas) de la región del Atlántico Sudoccidental, con relación a aspectos biológicos y ecológicos de organismos vinculados al biodeterioro, así como también se realizaron ensayos de métodos protectivos para los sustratos (Bastida 1971, 1973, 1977; Bastida y Brankevich 1980, 1989; Bastida y L'Hoste 1976, Bastida *et al.* 1980; Bastida y Torti 1972a; Bastida y Torti 1972b; Brankevich *et al.* 1988; Ferrari *et al.* 1998; Rascio *et al.* 1973). Posteriormente, a partir de nuestros especialistas, se promovieron los estudios sobre biodeterioro en países vecinos tales como Uruguay, Chile y Brasil (R. Bastida com. pers.).

En las últimas décadas se ha logrado mejorar notablemente el trabajo interdisciplinario entre biólogos, microbiólogos y especialistas en diversos materiales (Ferrari *et al.* 1998). Todos estos conocimientos han permitido que los científicos puedan predecir los ciclos del biodeterioro, evitar o disminuir los procesos de corrosión y desarrollar métodos antiincrustantes y antiperforantes. Estos últimos consisten en el

empleo de diversas técnicas de prevención, tratamiento y control aplicables a distintos sustratos. Un buen ejemplo de ello es el desarrollo de pinturas antiincrustantes -o *antifouling*-, las cuales contienen componentes que resultan tóxicos para ciertos organismos y por lo tanto impiden que se fijen en los materiales que han sido cubiertos con esta pintura. Actualmente se utiliza este tipo de productos para pintar el casco de embarcaciones e instalaciones industriales que para su adecuado funcionamiento necesitan estar libres de dichos organismos. En el caso de los perforantes se utilizan diversas sustancias químicas que resultan tóxicas para los mismos, como por ejemplo la cerosota, y con ellas se impregna la madera.

Los estudios de ecología experimental de comunidades bentónicas han tenido una importancia fundamental en las investigaciones sobre el biodeterioro. El desarrollo de sistemas experimentales está basado en la utilización de distintos sustratos materiales que, ubicados en el mar, permiten el estudio en forma controlada de organismos perforantes y del *biofouling*. Éstos han sido utilizados con muy buenos resultados en la identificación y clasificación de especies, determinación de periodos de fijación y ciclos de vida, efectos de condiciones hidrológicas requeridas por las distintas especies, migración y distribución, comportamientos de distintos sustratos, ensayos de pinturas antiincrustantes y otros métodos para evitar el ataque de perforantes (Arias *et al.* 1980; Gareth Jones *et al.* 1972, Hoagland y Turner 1980; Lopes dos Reis 1995; Santhakumaran 1980; Scheltema 1971). En la Argentina también se realizaron importantes logros en el estudio de incrustaciones biológicas mediante el uso de balsas experimentales, cuyos primeros ensayos comenzaron a mediados de la década del '60 en el puerto de Mar del Plata (Bastida 1971, 1973, 1977; Bastida *et al.* 1971; Bastida *et al.* 1976; Bastida *et al.* 1980; Bastida y Brankevich 1980; Bastida y Lichtschein 1981; Lichtschein y Bastida 1980).

4.2.1. Caracterización de las comunidades de *biofouling*

En cuanto un sustrato material -no tóxico- se encuentra en contacto con el agua de mar comienza prácticamente de inmediato el proceso de colonización biótica que llevará al desarrollo de una comunidad incrustante. La evolución de esta comunidad es conocida como "proceso de sucesión ecológica". Cada una de las principales etapas que tienen lugar durante la misma son denominadas "etapas serales". La sucesión de estas últimas tiende a conducir a la comunidad a una etapa final que presenta cierto equilibrio y que es conocida como "etapa clímax" (Bastida *et al.* 2001; Bastida *et al.* 2004).

El período de exposición inicial y la secuencia estacional durante la cual permanece sumergido un sustrato artificial pueden producir importantes variaciones en la evolución de las comunidades incrustantes (Bastida 1971: 250). En general, en todo el conjunto de las etapas sucesionales, las que se repiten con características más similares a lo largo de todo el año son las que están relacionadas a la constitución del *biofilm* inicial, aunque se producirán en forma más lenta o más rápida, según se trate de meses fríos o cálidos (Bastida *op. cit.*: 251). A la inversa, el camino seguido en el desarrollo de las comunidades hacia la etapa clímax y la duración de ésta pueden ser muy variable según las distintas comunidades y en función de las condiciones ambientales locales.

A continuación se describen las principales etapas sucesionales en la formación de las comunidades incrustantes (Bastida *et al.* 2001; Bastida *et al.* 2003) (Fig. 4.7). Es

importante señalar que este proceso se desarrolla de igual modo en todas las comunidades naturales de fondos marinos duros.



Figura 4.7. Principales etapas del desarrollo del biofouling (Bastida y Martin 2004: 51).

Etapas de sucesión ecológica

1) La adsorción de moléculas orgánicas e inorgánicas que se encuentran disueltas en el agua forman un *film* pasivo sobre el material que está en contacto con el agua. Consecuentemente, comienza a producirse un cambio en las características físico-químicas del sustrato artificial (por ej.: dureza y pH).

2) Se forma una biopelícula o *biofilm* inicial de aspecto gelatinoso. El mismo está constituido por microorganismos, en primer lugar bacterias y luego hongos y microalgas, así como también partículas diversas de naturaleza inorgánica. Las primeras etapas de esta biopelícula no pueden ser observadas a simple vista, ya que generalmente son de unas pocas micras de espesor, sin embargo, en algunos casos pueden alcanzar uno o dos milímetros y presentar una coloración pardo verdosa que hace posible su detección.

3) Luego de la formación del *biofilm*, el proceso continúa con la incorporación de protozoos. Recién entonces se producen las condiciones físico-químicas -y en el caso de algunas especies también un adecuado sustento nutricional- necesarios para la presencia de larvas de los macro organismos del *biofouling*.

4) En esta etapa, el *biofouling* ya presenta los componentes principales que van a caracterizar a la comunidad madura; solo es necesario que transcurra el tiempo para que las formas larvales y juveniles puedan cumplir su proceso de metamorfosis y se desarrollen. El *biofouling* puede presentar una alta biodiversidad, estando representados casi todos los grupos de invertebrados y precordados que caracterizan los fondos marinos.

5) Desarrollada una comunidad de *macrofouling* de complejidad variable, continúa una serie de etapas estacionales y evolutivas. La competencia espacial y nutricional tiene un rol importante dentro de los cambios que se van produciendo en la comunidad.

6) Se produce el desprendimiento de algunos componentes de la comunidad y el reinicio parcial de un nuevo ciclo.

Sistemas de fijación al sustrato

En lo que respecta a los sustratos colonizados, es importante considerar que en el desarrollo de una comunidad incrustante la disponibilidad de espacio es un factor crítico. Es por lo tanto común que, cuando las superficies de fijación son limitadas se produzcan procesos de epibiosis, es decir, la fijación de un organismo sobre otro que le sirve de sustrato (Bastida 1971).

En cuanto a la forma en que los animales y vegetales que integran el *biofouling* se vinculan a los sustratos sobre los que viven, los mismos pueden dividirse en dos grupos principales: organismos sésiles y organismos libres. Los sésiles son aquellos que -por medio de diversos mecanismos- viven fijos al sustrato, permaneciendo en el mismo lugar durante toda su vida. Entre ellos podemos mencionar como ejemplo a los moluscos bivalvos, los cuales logran fijarse mediante filamentos bisales, o bien por la adhesión y posterior fusión de una de sus valvas. Los filamentos bisales son hilos resistentes, córneos, secretados por una glándula ubicada en el pie de los bivalvos que se endurecen al estar en contacto con el mar (Barnes 1977; Bastida y Roux 1988). Dentro del mismo grupo se encuentran también los crustáceos cirripedios, quienes poseen una glándula especializada que segrega una sustancia similar a un cemento que les permite fijarse firmemente. En cuanto a los organismos libres, si bien utilizan diversos sistemas de adhesión al sustrato, ésta no es permanente, y por lo tanto, pueden realizar ciertos desplazamientos.

Composición de las comunidades incrustantes

Cerca de 2.000 organismos animales y vegetales han sido identificados en comunidades incrustantes en distintas partes del mundo (Florian 1987). Además de la diversidad de microorganismos que se cuentan entre ellos -como bacterias, hongos, protozoos y diatomeas-, existe una gran diversidad de macroorganismos (aquellos que pueden identificarse a ojo desnudo).

A continuación se enumeran los grupos biológicos más representativos de las comunidades incrustantes o *biofouling* de nuestras costas.

VEGETALES

- Algas
 - Diatomeas (microscópicas, libres o sésiles).
 - Algas verde-azules, Cianofíceas o Cianobacterias (micro / macroscópicas).
 - Algas verdes o Clorofíceas (macroscópicas y sésiles).

- Algas marrones o Feofíceas (macroscópicas y sésiles; algunas especies constituyen los vegetales de mayor talla del mundo).
- Algas rojas o Rodofíceas (macroscópicas y sésiles; entre ellas varias especies de estructura calcárea).

ANIMALES

▪ Invertebrados

- Protozoos (microscópicos, unicelulares, solitarios o coloniales, libres o sésiles).
- Poríferos o esponjas (organismos macroscópicos, pluricelulares, sésiles y con esbozos de la primer organización tisular).
- Cnidarios o Celenterados (organismos macroscópicos con la primer diferenciación tisular organizada, de vida libre o sésil; los grupos más frecuentes en el *biofouling* son los Antozoarios o anémonas y los Hidrozoos que conforman colonias con zooides especializados).
- Nematodos o gusanos primitivos (micro y macroscópicos, libres).
- Anélidos Poliquetos o lombrices de mar (organismos marinos especializados, de vida libre o sésil, algunos con posibilidades de construir tubos orgánicos o calcáreos).
- Moluscos (organismos macroscópicos, de variados hábitos de vida, lo más representativos entro del *biofouling* son los Gasterópodos o caracoles y los Pelecípodos o almejas).
- Artrópodos Crustáceos (organismos macroscópicos, de vida libre o sésil, entre los primeros los más comunes en el *biofouling* son los cangrejos, los isópodos o "piojos de mar", los anfípodos o "pulgas de mar"; entre los segundos los cirripedios o "dientes de perro" son los más importantes y frecuentes).
- Briozoarios o "puntillas de mar" (organismos coloniales, macroscópicos, de vida sésil, de forma incrustantes, arborescente o rastrera).

▪ Procordados

- Tunicados o "papas de mar" (organismos macroscópicos, solitarios o coloniales, de vida sésil).

▪ Cordados

- Peces óseos (organismos de vida libre; en el *biofouling* los más frecuentes suelen ser representantes de diversas familias de hábitos bentónicos como los blénidos, clínidos, góbidos, nototénidos y zoárcidos).

4.2.2. Caracterización de los organismos marinos perforantes de madera

a) MOLUSCOS

Dentro de los moluscos, el grupo de los pelecípodos, bivalvos o lamelibranquios se caracteriza por poseer una conchilla formada por dos valvas. Son todos acuáticos

(marinos y dulceacuícolas), la mayoría de ellos cavadores de distintos tipos de sustratos (Bastida y Roux 1988).

Los bivalvos marinos perforantes de madera están representados por dos familias: Teredinidae (n. v. "teredos", "broma" o, en inglés, "shipworms") y Pholadidae (n. v., en inglés, "piddocks"), cuyas subfamilias y géneros se detallan en la Tabla 4.3.

PHYLLUM	CLASE	ORDEN	FAMILIA	SUB - FLIA	GÉNERO
Mollusca	Pelecypoda, Bivalvia o Lamellibranchia	Pholadacea	Teredinidae	Teredininae	<i>Bactronophorus</i>
					<i>Dicyathifer</i>
					<i>Neoteredo</i>
					<i>Teredora</i>
					<i>Uperotus</i>
					<i>Psiloteredo</i>
					<i>Teredothyra</i>
					<i>Teredo</i>
					<i>Lyrodus</i>
				Bankiinae	<i>Nototeredo</i>
					<i>Spathoteredo</i>
					<i>Nautisoria</i>
					<i>Bankia</i>
			Kuphinae	<i>Kuphus</i>	
			Pholadidae	Martesiinae	<i>Martesia</i>
					<i>Lignopholas</i>
					<i>Pholadidea</i>
				Pholadinae	<i>Bamea</i>
					<i>Pholas</i>
<i>Zirfaea</i>					
Xylophaginae	<i>Xylophaga</i>				
	<i>Xylopholas</i>				
	<i>Xyloteredo</i>				

Tabla 4.3. Clasificación de los moluscos marinos perforantes de madera.

- Familia Teredinidae

La familia Teredinidae constituye el grupo específicamente más numeroso dentro de los moluscos perforantes de madera, incluyendo una gran cantidad de especies que -dentro de ciertos parámetros ambientales- se distribuyen por todo el mundo (Turner 1966). A diferencia del resto de los moluscos bivalvos, el cuerpo blando de los Teredínidos se desarrolla en forma longitudinal adoptando un aspecto vermiforme (Fig. 4.8). Sus valvas presentan un tamaño reducido en comparación con las partes blandas del cuerpo, cubriendo sólo su porción anterior. Las mismas están adaptadas perfectamente para perforar la madera y para construir en ella los túneles o galerías

dentro de los que viven. Esto es posible en función de las características morfológicas de la superficie exterior cada una de las valvas. Las mismas presentan dos zonas principales estriadas, una de ellas tiene una estructura semejante a un rallador y, la otra, similar a cuchillas paralelas dentadas (Fig. 4.9). Es así como, mediante el movimiento de las valvas, se produce el desgaste mecánico de la madera (Bastida y Roux 1988).

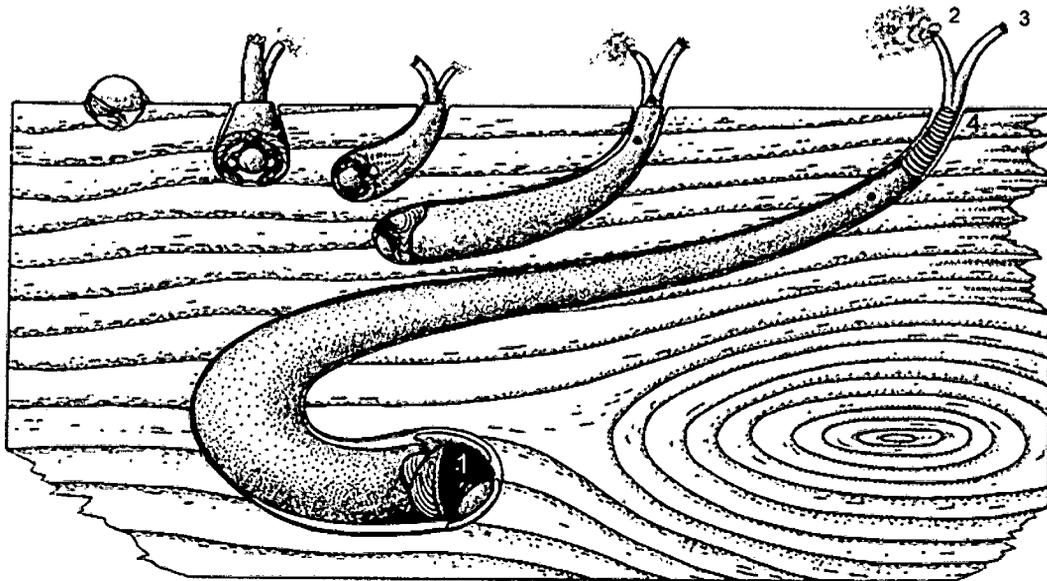
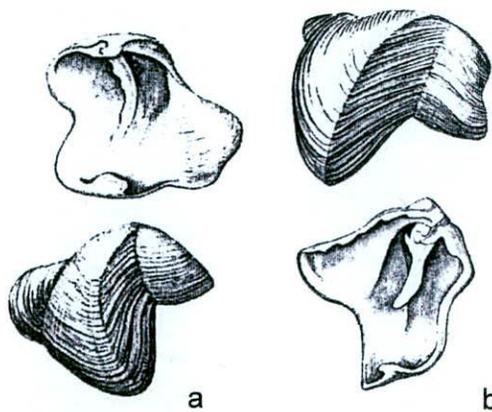


Figura 4.8. Anatomía de *Teredinidae* y proceso de perforación de la madera. 1) Valvas; 2) sifón excurrente; 3) sifón incurrente; 4) paletas (adaptado de Nair y Saraswathy 1971).

Entre las dos valvas de los teredínidos se extiende un pie, cuya base en forma de ventosa le permite fijarse y avanzar a medida que alarga el túnel. En el extremo posterior de su cuerpo presenta un par de tubos extensibles denominados sifones. Estos asoman al exterior de la madera por el pequeño orificio que realiza el animal al ingresar en ella, lo cual le permiten estar en permanente contacto con el ambiente exterior acuático. Uno de estos sifones, llamado incurrente, por donde ingresa el agua, cumple funciones respiratorias y es utilizado también como fuente de alimentación ya que le provee de pequeños microorganismos marinos y de partículas de materia orgánica que se encuentran en suspensión en la masa de agua. El otro sifón, denominado excurrente, le permite eliminar tanto desechos como elementos vinculados con el proceso reproductivo (gametas y/o larvas). En la base de ambos sifones se encuentran un par de paletas calcáreas, las cuales presentan diversas formas según las especies. Su función es bloquear el orificio de entrada cuando los sifones se retiran hacia el interior del tubo (Fig. 4.10). De esta forma el orificio queda totalmente cerrado protegiendo al organismo de eventuales amenazas, tales como el ingreso de potenciales predadores o la presencia de sustancias nocivas en el agua. A su vez, también le permite conservar la humedad dentro de las galerías por períodos prolongados -y de este modo continuar con vida- en el caso de que la madera en la que viven sea removida del agua.



a

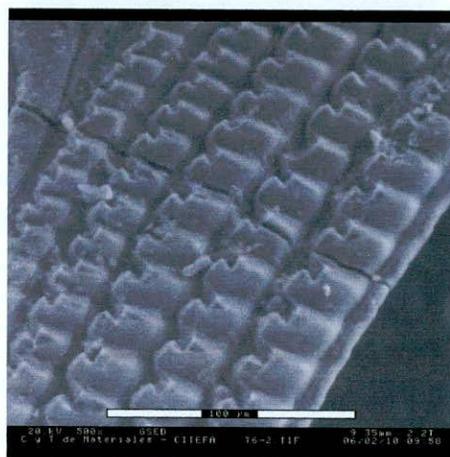
b



c



d



e

Figura 4.9. Valvas de *Teredinidae*. a) *Teredo navalis*; b) *Nototeredo norvegica*; c) imagen de MEB de una valva (60x); d) y e) detalle de sus estructuras aserradas (500x).



Figura 4.10. Extremo de un tubo calcáreo de *Teredinidae* que ha sido cerrado herméticamente por las paletas calcáreas (65x).

Los teredínidos colonizan los sustratos durante su período larval, cuando son nadadores libres y parte integrante del plancton. Por esta razón el agujero que realizan al ingresar en la madera es extremadamente pequeño -de 1 a 2 mm-, si bien puede llegar a agrandarse levemente a lo largo de la vida del animal (Pournou 1999). Cada organismo construye una sola galería o túnel en el que permanece durante toda su vida; su largo y diámetro irán aumentando en función de su crecimiento. A medida que van perforando la madera recubren el interior de las galerías con un depósito de carbonato de calcio (Co_2Ca) que es secretado por el manto (el tejido que recubre los órganos y el resto de las estructuras anatómicas blandas). Originalmente los moluscos producen este carbonato para la formación y crecimiento de las valvas que protegen al manto. En el caso de los teredínidos, como éste queda en su mayor parte fuera de las valvas, el carbonato es depositado sobre las paredes de las galerías, reforzando su firmeza estructural.

Luego de realizada la perforación inicial, los teredínidos suelen orientar sus túneles o galerías en el sentido del grano de la madera, en general siguiendo una línea recta. En el caso de que algún obstáculo lo impida -tal como un nudo, una rotura, un clavo, o la galería de otro perforante-, cambiarán su rumbo para evitarlo. Las galerías nunca atraviesan los límites exteriores de la madera, por lo que cuando se encuentran próximos a éste, también modifican la dirección de la galería que están excavando (Fig. 4.11). Una vez que han comenzado a excavar un sustrato estos organismos jamás vuelven a salir de su galería, por lo que continuarán con su actividad perforante hasta que ya no quede sustrato para perforar o que la madera comience a colapsar (Eaton y Hale 1993). Si el animal queda expuesto al exterior del sustrato, muere casi inmediatamente.

La tasa de crecimiento de los Teredínidae varía de acuerdo a las distintas especies, el tipo de la madera atacada y las condiciones ecológicas presentes. En este sentido son fundamentales la disponibilidad de alimento, la salinidad y la temperatura del agua. En aguas cálidas pueden lograr un gran desarrollo (Eaton y Hale *op. cit.*), y si bien no es lo más frecuente, se han registrado especies de 1 ó 2 m de largo (Smith 1956 cita como ejemplo de ello el género *Dicyathifer*, localizado en Australia).

Debido a que tienen la capacidad de adaptar su crecimiento a las características espaciales del sustrato, en un madero de escaso espesor limitarán su crecimiento hasta el punto en que el diámetro de la galería sea sólo levemente menor que el espesor de la madera. En la medida en que pueda seguir avanzando en la excavación del túnel continuará aumentando la longitud de su cuerpo, ya que éste ocupa la extensión total de la galería.

En cuanto a su reproducción, los Teredinidae son hermafroditas protándricos, es decir que van alternando ambos sexos a lo largo de su vida. En estos organismos la fertilización puede ser de dos tipos, interna o externa, dependiendo de las distintas especies (Turner 1966; Turner y Johnson 1971). La fertilización interna se produce en las especies larvíparas, que están representadas por los géneros *Teredo* y *Lyrodus*. En estas especies el esperma es llevado a la cavidad del manto a través del agua de mar que ingresa por el sifón incurrente. De allí pasa a través de las branquias en donde tiene lugar la fertilización de los óvulos. Las larvas son luego liberadas en el plancton mediante el sifón excurrente. Algunas especies tienen formas larvales breves y son lanzadas al plancton poco después de la fertilización, en la etapa larval "trocófora". Dos a cuatro semanas después se produce el desarrollo hacia la etapa siguiente, denominada "veliger", al término de la cual el organismo está listo para asentarse en la madera. Las larvas veliger cuentan ya con unas conchillas primitivas, por lo que tienen el aspecto de diminutas almejas, y son capaces de nadar y

desplazarse sobre los sustatos en busca de maderas en función del desarrollo de un pie muscular (Bastida y Roux 1988). Las especies larvales de largo término son más numerosas que las de corto término. En ellas, luego de la fertilización las larvas permanecen dentro del organismo hasta que alcanzan el estado veliger. Luego son lanzados al plancton donde permanecen solo por algunos días antes de asentarse en la madera (Eaton y Hale 1993; Rayner 1975 en Pournou 1999).

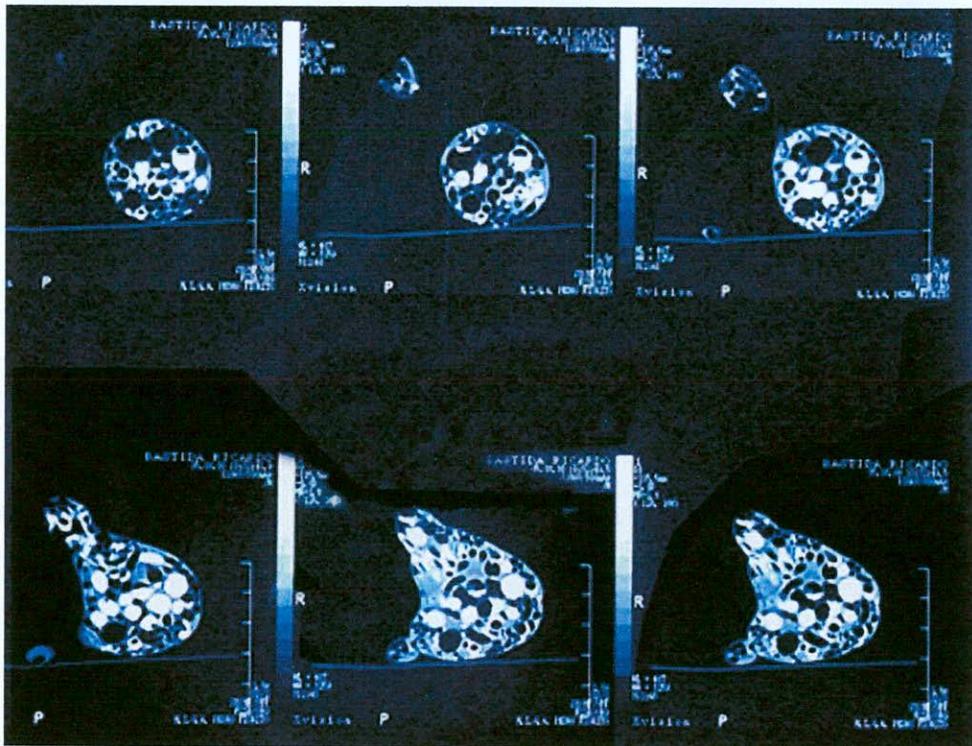
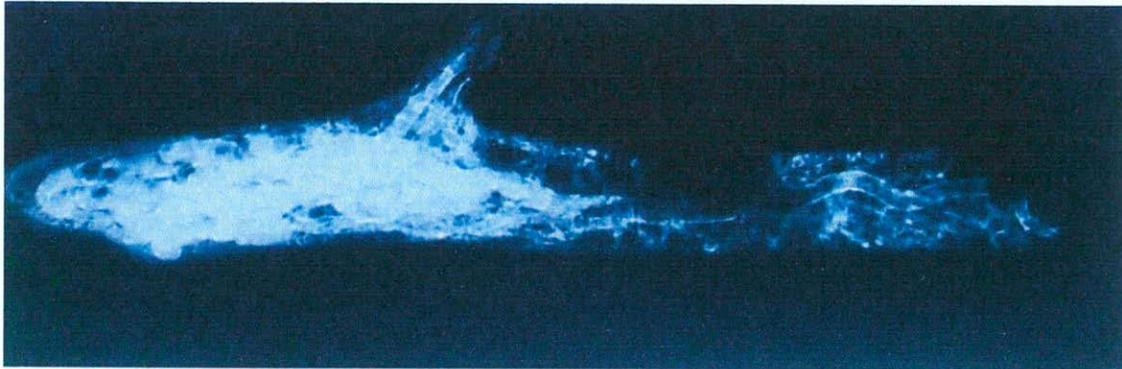


Figura 4.11. El carbonato de calcio que recubre las galerías realizadas por teredínidos permite detectar su presencia en un madero mediante el uso de rayos X (imagen superior) y tomografías computadas (imagen inferior).

La fertilización externa ocurre en las especies ovíparas, constituidas por todos los géneros de Teredínidos excepto *Teredo* y *Lyrodus* (Eaton y Hale *op. cit.*). Estos organismos liberan los óvulos y los espermatozoides al mar mediante los sifones excurrentes y allí tiene lugar la fertilización. El desarrollo larval se realiza como parte

integrante del plancton, pudiéndose llegar a prolongar hasta por diez semanas antes de que puedan asentarse sobre la superficie de un madero (*ibidem*).

En general es aceptado que el asentamiento de las larvas está asociado a regiones blandas de la madera debidas al ataque de hongos y bacterias. Ha sido demostrado que en el estadio veliger cuando las valvas están aún blandas, las larvas de terdínidos se desplazan por la madera prefiriendo áreas que han sido previamente infectadas por microorganismos (Eaton y Hale *op. cit.*). Sin embargo, algunos trabajos indican que la madera es atacada independientemente de ello (Eltringham 1971 en Eaton y Hale *op. cit.*: 290). El hecho de que las larvas no estén estimuladas químicamente por la presencia de hongos o extractos de hongos y que posiblemente cuenten ellas mismas con enzimas para el procesamiento de la celulosa (celulasa) apoyaría esta idea. En cualquiera de los casos, evidentemente, se trata de procesos complejos que están vinculados a las primeras etapas sucesionales de colonización de los sustratos. De hecho, los procesos de alimentación y digestión de los terdínidos han sido motivo de numerosas investigaciones pero aún no se han esclarecido por completo. Los minúsculos fragmentos de madera que produce la actividad raspadora de las valvas son ingeridos por el animal y, si bien se sabe que el componente de celulosa de la madera es degradado en el aparato digestivo, se proponen distintas alternativas acerca del mecanismo mediante el cual esto se produce: a) que el animal produce su propia celulasa; b) que el deterioro de la celulosa se produce en las células digestivas, en un ciego ("divertícula") especializado del aparato digestivo; c) que en el aparato digestivo existen bacterias celulolíticas simbióticas que degradan las partículas de madera ingeridas (Eaton y Hale *op. cit.*; Turner 1988 en Pournou 1999). Adicionalmente se ha demostrado que bacterias celulolíticas fijadoras de nitrógeno podrían tener una función dual, asistiendo también en el suplemento de los requerimientos nutricionales de nitrógeno que necesitan estos organismos y que no son provistos por la madera. En definitiva, los distintos autores parecen coincidir en que se trataría de un sistema mixto, tanto para el aprovechamiento de la celulosa como para la realización de otros procesos fisiológicos básicos de estos organismos. Además, la nutrición de los Teredínidos es suplementada con alimento filtrado, obtenido de la corriente de agua que ingresa por el sifón inhalante, tal como fitoplacton, detritos orgánicos y bacterias, así como también con microorganismos que habitan en la madera que horadan (Rayner 1975 en Pournou 1999; Eaton y Hale *op. cit.*).

Los Teredinidae han sido considerados como uno de los grupos de Pelecípodos cuya taxonomía ofrece mayores dificultades por la gran semejanza que tienen las especies entre sí, así como también por la gran variedad que presenta cada especie en función de la edad y de las distintas condiciones ecológicas en las que vive (Bastida y Torti 1972a). La clasificación genérica del grupo está basada principalmente en el estudio de las paletas, complementada con la morfología de las partes blandas y de los sifones (Turner 1966; Turner 1971). Sin embargo, la identificación de especies se realiza fundamentalmente basándose en las características generales y particulares de las paletas (Figs. 4.12, 4.13 y 4.14). En cuanto a las valvas, existen similitudes entre los distintos géneros, por lo tanto no deben ser utilizadas para diagnósticos específicos (Bastida y Torti 1972a; Lopes dos Reis 1995).

El factor que más influye en la distribución de estos organismos en los mares del mundo es la temperatura y salinidad del agua, encontrándose una considerable diversidad de especies en latitudes tropicales, subtropicales y templadas cálidas. De hecho, las especies que tienen una amplia extensión latitudinal presentan períodos de reproducción más largos en aguas más cálidas (Eaton y Hale 1993). Gregory (2004) señala que las condiciones óptimas para su desarrollo se encuentran dentro de los

siguientes parámetros: temperatura del agua de 5° C a 30° C, contenido de salinidad de 9 a 35‰ y oxígeno disuelto mayor a 1mg/l.

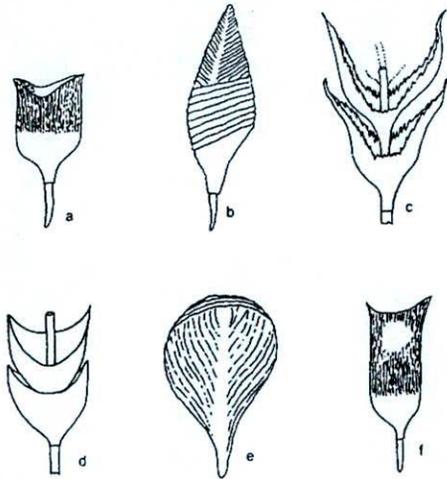


Figura 4.12. Morfología de las paletas de distintas especies de Teredínidos: a) *Teredo navalis*, b) *Nausitoria hedleyi*, c) *Bankia fimbriatula*, d) *Bankia gouldi*, e) *Nototeredo norvegica*, f) *Lyrodus pedicellatus* (adaptado de Turner 1971).

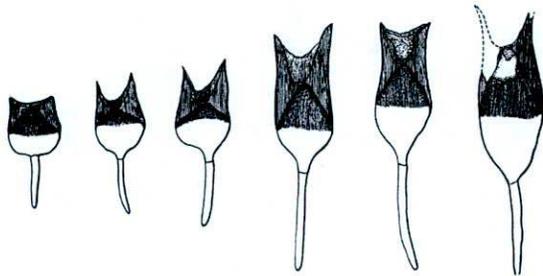


Figura 4.13. Paletas de *Lyrodus pedicellatus* en donde se observan las variaciones morfológicas que se producen con el crecimiento de los individuos (Bastida y Torti 1972a: 44).



Figura 4.14. Imagen de MEB de paletas de Teredinidae: *Lyrodus* sp. (65x).

La dispersión de teredínidos puede suceder ya sea como adultos, en el casco de embarcaciones de madera o en maderas que se encuentran a la deriva flotando en el mar, o bien, como larvas pelágicas a la deriva, cerca de la superficie (Scheltema 1971). En el caso de las larvas, el establecimiento de nuevos centros de población depende de que existan condiciones estables para su desarrollo. Los animales adultos, en cambio, son más resistentes a las variaciones de temperatura y salinidad que puedan resultar de su traslado de una latitud a otra. No obstante, si bien pueden adaptarse a las nuevas condiciones, estos cambios pueden afectar su capacidad reproductiva, lo que consecuentemente limitará su expansión geográfica (Bastida y Torti 1972a; Eaton y Hale *op. cit.*; Gareth Jones *et al.* 1972).

▪ Familia Pholadidae

En la clasificación taxonómica de los Pholadídeos se observan diferencias en el criterio que guía a los distintos investigadores. En la Tabla 4.3 se ha indicado la postura más tradicional en el orden de géneros y subfamilias.

Antes de comenzar con la descripción de estos organismos, debe señalarse que no todos los miembros de la familia Pholadidae son exclusivamente perforantes de madera. Los géneros *Pholas* y *Barnea*, por ejemplo, pueden perforar madera con bastante frecuencia (así como también otros materiales), pero esto ocurre raramente en *Zirfaea* (R. Bastida com. pers.). Eaton y Hale (1993) señalan además que algunos géneros incluyen especies perforantes de madera y otras que no lo son (si bien estas últimas son encontradas en antiguas galerías que utilizan como habitáculos). De todos los Pholadídeos, la especie más registrada en maderos atacados en el mar es *Martesia striata* (Turner y Johnson 1971; Barnacle y Ampong 1983 y Santhakumaran y Rao 1992, ambos en Pournou 1999).

En general los Pholadídeos pueden ser distinguidos fácilmente de los Teredínidos por las características de sus valvas. Éstas tienen una forma oval elongada, de aspecto similar a las de la almeja común, aunque además presentan un área denticulada que les permite excavar en la madera. Las valvas de los ejemplares adultos poseen unas placas calcáreas accesorias (Hayward *et al.* 1995b) (Fig. 4.15). Excepto los miembros de la subfamilia Xylophaginae, las partes blandas de estos organismos no tienen el característico cuerpo vermiforme (Eaton y Hale *op. cit.*). La identificación de las especies está basada en la forma de las valvas y de las placas, más las características de los sifones (Eaton y Hale *op. cit.*; Lopes dos Reis 1995). Las perforaciones que realizan estos moluscos en la madera son de aproximadamente 5 a 10 mm de diámetro y en profundidad van de tres a ocho veces el tamaño de las valvas (Eaton y Hole *op. cit.*) (Fig. 4.16). Los túneles no presentan el revestimiento calcáreo que caracteriza las perforaciones realizadas por los Teredínidos.

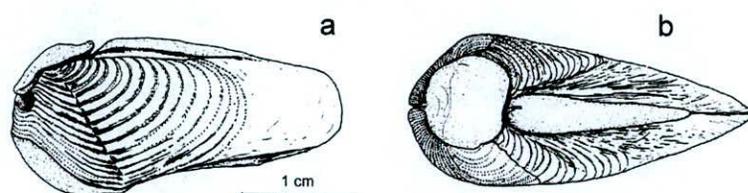


Figura 4.15. Valvas de Pholadídeos: a) vista lateral y b) vista dorsal *Martesia striata* (adaptado de Lopez dos Reis 1995).

El género *Xylophaga* utiliza la madera como fuente de alimento, pero la mayoría de los Pholadídeos que perforan la madera lo hacen para obtener un lugar de protección (Turner y Johnson 1971). Los géneros *Martesia* y *Lignopholas* se alimentan básicamente del plancton y de las partículas de materia orgánica (detritos orgánicos) que filtran (Pournou 1999).

Algunas especies son hermafroditas protándricas y otras presentan los sexos separados (Lopes dos Reis 1995). *M. striata*, por ejemplo, se reproduce liberando sus óvulos y espermatozoides al mar. Allí son fertilizados y permanecen como nadadores libres por cerca de un mes antes de que encuentren una superficie de madera sobre la cual asentarse. En aguas tropicales el desove sucede durante todo el año, pero en regiones más frías se restringe a los meses de verano (Eaton y Hale *op. cit.*).

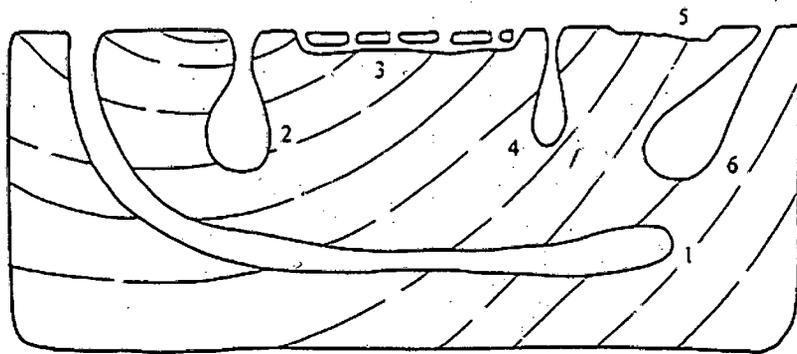


Figura 4.16. Morfología general de los túneles de algunos moluscos y crustáceos marinos perforantes de madera. Moluscos: 1) *Teredo* sp., 2) *Martesia* sp. y 6) *Xylophaga* sp. Crustáceos: 3) *Limnoria* sp., 4) *Sphaeroma* sp. y 5) *Chelura* sp. (Pournou 1999).

Los Pholadídeos son más restringidos en su distribución geográfica que los Teredínidos y se registran con menor frecuencia que ellos como agentes de destrucción (Pournou 1999). Se los encuentra principalmente en aguas templado-cálidas y tropicales, si bien se han identificado algunas especies de la subfamilia *Xylophaginae* en aguas frías (Turner y Johnson 1971). Algunas especies del género *Lignopholas* son bastante tolerantes a aguas de baja salinidad, por lo que se pueden encontrar tanto en ambientes estuariales como marinos (Eaton y Hale *op. cit.*). Del mismo modo, el género *Martesia* puede tolerar niveles de salinidad de 5 a 7 partes por mil (el nivel normal del agua de los océanos se encuentra entre 33 a 35 partes por mil). Su habilidad para resistir condiciones extremas se presenta tanto en adultos como en larvas, aún también frente a variaciones del pH (de 5.5 a 9.7). Se ha observado incluso que puede atacar maderas en aguas poco profundas, en lugares en donde ésta puede alcanzar una alta temperatura (*ibidem*).

b) CRUSTÁCEOS

Los crustáceos perforantes de madera de ambientes marinos están representados por los órdenes Isopoda y Amphipoda (Tabla 4.4). Al primer grupo pertenecen las familias *Limnoriidae* (n. v. "piojos de mar" o, en inglés, "gribble") y *Sphaeromatidae* (n.

v. "bicho bolita de mar" o, en inglés, "pill bugs"), las cuales agrupan a la mayoría de los crustáceos que perforan o que habitan en la madera (Eaton y Hale 1993). El segundo grupo está integrado únicamente por la familia Cheluridae (n. v. "pulga de mar").

PHYLLUM	SUB-PHYLLUM	ORDEN	FAMILIA	GÉNERO
Arthropoda	Crustácea	Isopoda	Limnoriidae	<i>Limnoria</i>
				<i>Paralimnoria</i>
			Sphaeromatidae	<i>Sphaeroma</i>
				<i>Exosphaeroma</i>
		<i>Cymodoce</i>		
Amphipoda	Cheluridae	<i>Chelura</i>		

Tabla 4.4. Clasificación de los crustáceos marinos perforantes de madera.

▪ Familia Limnoriidae

Los Limnóridos son animales pequeños, cuyo largo promedio es de 2 a 5 mm. Su cuerpo, aplanado dorsoventralmente, está compuesto por la cabeza (cephalon), el tórax (pereion) y el abdomen (pleon) (Fig. 4.17). Tienen siete pares de patas torácicas (pereiópodos) ventralmente posicionadas, cada par derivado de los siete segmentos en que se divide el tórax. El abdomen, a su vez, está compuesto por cinco segmentos de cada uno de los cuales deriva un par de pleópodos, más un segmento final de forma semicircular (pleotelson) del cual deriva un par de urópodos (Bastida y Torti 1972b). Los pleópodos cumplen funciones de intercambios gaseosos (como branquias) y natatorias (Eaton y Hale 1993). Debido al pequeño tamaño de estos organismos, y las semejanzas que presentan entre las distintas especies, su identificación taxonómica debe ser realizada con minuciosidad. Para ello se utiliza principalmente la morfología y ornamentación del quinto segmento abdominal y del pleotelson (Bastida y Torti *op. cit.*, Hayward *et al.* 1995a).

Estos organismos excavan túneles o galerías muy próximos a la superficie de la madera. Los túneles son largos y angostos, de un diámetro de 1 a 3 mm, y presentan regularmente oficios de respiración hacia la superficie del sustrato (ver Fig. 4.16), lo cual resulta en la creación de una extensa red galerías en la superficie de la madera o justo debajo de ella (< 2.5 cm) (Pournou 1999) (ver Fig. 4.6).

Las partículas de madera que el animal ingiere en tanto excava sus galerías son destruidas en el aparato digestivo. El análisis de sus desechos fecales indica que una gran proporción de los carbohidratos en la madera son hidrolizados, presumiblemente mediante celulasa producida por los animales, ya que no ha sido encontrado una flora intestinal microbiana. Sin embargo, es probable que el deterioro de la celulosa sea realizado por microorganismos ya presentes en la madera, los cuales también podrían proveer una importante fuente suplementaria de nitrógeno para los animales que de otro modo dependerían totalmente de los bajos niveles naturalmente presentes en la madera (Eaton y Hale 1993; Lane 1959).

En relación con lo indicado en el párrafo anterior, si bien la evidencia disponible indica que para el asentamiento de los Limnóridos no es esencial que los hongos

marinos hayan colonizado y deteriorado previamente la madera, se ha demostrado, que para el género *Limnoria* la presencia de hongos en el sustrato mejora su actividad alimenticia y reproductiva. Estudios relativos a la conducta alimenticia de *Limnoria tripunctata* demostraron que estos organismos fueron capaces de distinguir entre madera infectada y madera no infectada por hongos mediante quimiorreceptores, y que el éxito reproductivo fue mayor en el último caso (Eaton y Hale *op. cit.*).

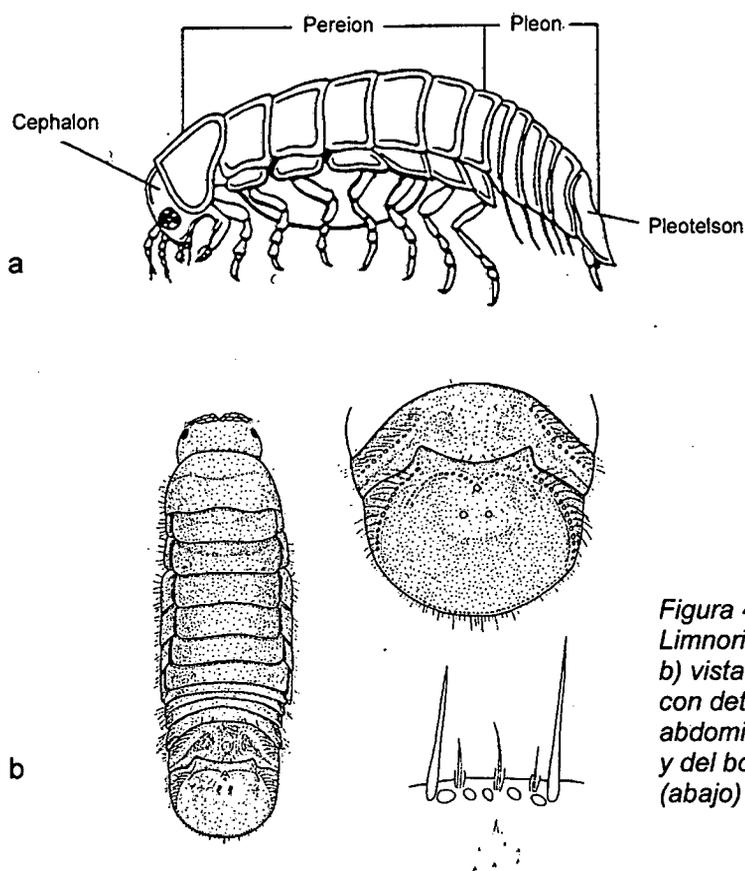


Figura 4.17. a) Vista lateral de *Limnoria* sp. (Pournou 1999: 17); b) vista dorsal de *Limnoria tripunctata* con detalle del quinto segmento abdominal y del pleotelson (arriba), y del borde exterior del pleotelson (abajo) (Bastida y Torti 1972b: 145).

Entre los crustáceos perforantes el género *Limnoria* es el más comúnmente registrado, y es el que agrupa las tres especies de crustáceos marinos más destructivas para la madera: *Limnoria lignorum*, *L. cuatripunctata* y *L. tripunctata*, si bien existen muchas otras especies de este género a lo largo del mundo. Las dos últimas son las más importantes por su habilidad para atacar madera tratada con sustancias químicas protectoras (Pournou 1999). Esto se debe a que los Limnóridos invaden la madera ya como adultos, a diferencia de los teredínidos, que al hacerlo en su etapa larval son más sensibles a la acción de los tóxicos (Bastida y Torti 1972b).

En lo que respecta a su reproducción, los Limnóridos tienen sexos separados y la copulación se produce en el interior de las galerías. Los huevos fertilizados (de 5 a 30, dependiendo de las especies), las larvas y los individuos juveniles en desarrollo permanecen en un saco marsupial que poseen las hembras adultas. Luego de 2 a 4 semanas son liberados en las mismas galerías (Pournou 1999) (Eaton y Hale *op. cit.*). Se han observado variaciones en el tiempo durante el cual las larvas permanecen en el saco marsupial, en función de la temperatura: de 10 días a 30° C a 40 días a 8° C

(*íbidem*). El género *Limnoria* puede producir de 1 a 3 puestas de huevos en una temporada o en un año, dependiendo de la temperatura del agua.

Los limnóridos jóvenes atacan maderas generalmente en aguas templadas y tropicales en las zonas intermareales o submareales poco profundas. No obstante en aguas más frías se han registrado especies coleccionadas a mayores profundidades (R. Bastida com. pers.; Eaton y Hale *op. cit.*).

La temperatura es uno de los factores ecológicos que regulan la distribución de los Limnóridos, los cuales se encuentran preferentemente en áreas tropicales y subtropicales (Bastida y Torti 1972b), entre los 9°C y los 26°C (Gregory 2004). Debajo de los 10°C la actividad de los Limnóridos decrece (Eaton y Hale *op. cit.*). La temperatura también afecta la actividad reproductiva y alimentaria de algunas especies en forma significativa. La especie *L. lignorum*, que vive principalmente en regiones de aguas frías, no se desarrolla bien en temperaturas de más de 20° C y su reproducción comienza cuando la temperatura alcanza los 9° C a 10° C. En contraste, *L. tripunctata* se registra tanto en aguas templadas como tropicales y tiene su actividad óptima entre los 22° C y los 26° C y su reproducción comienza en los 14° C. Los requerimientos de temperatura de *L. cuatripunctata* se encuentran entre los de las dos especies anteriores (son de aguas templadas) (Eaton y Hale *op. cit.*).

Los Limnóridos requieren para vivir que el contenido de oxígeno disuelto del agua sea mayor a 1mg/l, y que la salinidad se encuentre entre los 15 a 35 ‰ (Gregory 2004). Este último factor parece también constituir una barrera ambiental que difícilmente pueda franquearse (Bastida y Torti 1972b), debido a que normalmente toleran los niveles más bajos de salinidad sólo por cortos períodos. En general parecen ser además más resistentes a los contaminantes que los Teredínidos (Eaton y Hale *op. cit.*).

En cuanto a su relación con otros perforantes, se ha registrado que ejemplares de *Limnoria tripunctata* pueden compartir el sustrato con el teredínido *Lyrodus pedicellatus* (Bastida y Torti 1972b).

▪ Familia Sphaeromatidae

Al pertenecer al mismo orden que los Limnóridos comparten con ellos similar forma y estructura básica, es decir, un cuerpo segmentado compuesto de cabeza, tórax y abdomen, aplanado dorsoventralmente. Pero a diferencia de ellos, los segmentos del abdomen están parcialmente fusionados y sólo sus líneas superficiales indican la segmentación original. La ornamentación dorsal del abdomen -incluyendo el pleotelson-, más la forma de los pereiópodos o patas, de los pleópodos y de los urópodos son usados para la identificación de las especies (Barnes 1977; Bastida 2004; Eaton y Hale 1993; Hayward *et al.* 1995a); Kühne 1971 en Pournou 1999).

Los Sphaeromatidos adultos miden 10 mm o más de largo (Fig. 4.18). Las especies que perforan la madera crean túneles en ángulo recto a la superficie de la misma, usualmente a través del grano (ver Fig. 4.16). Estos túneles miden aproximadamente unos 5 mm de diámetro (Eaton y Hale *op. cit.*). Dentro del género *Sphaeroma*, las especies que perforan madera son: *S. annandalei*, *S. triste*, *S. walkeri*, *S. retrolaevis* y *S. terebrans*, además de otras especies que utilizan las galerías de otros perforantes como abrigo, como por ejemplo, *Lekanesphaera* (*Sphaeroma*) *hookeri* y *S. serratum* (R. Bastida com. pers.). A diferencia de los Limnóridos, estos

crustáceos excavan un único agujero en el cual viven, cuyo largo puede ser de dos a tres veces su diámetro (Pournou 1999). Debido a su tamaño suele ocupar por completo el túnel, por lo que es probable que dejen la madera para reproducirse, aunque también se ha sugerido que pueden vivir de a pares y que la cría puede ser mantenida en el extremo ciego del agujero (Eaton y Hale *op. cit.*).

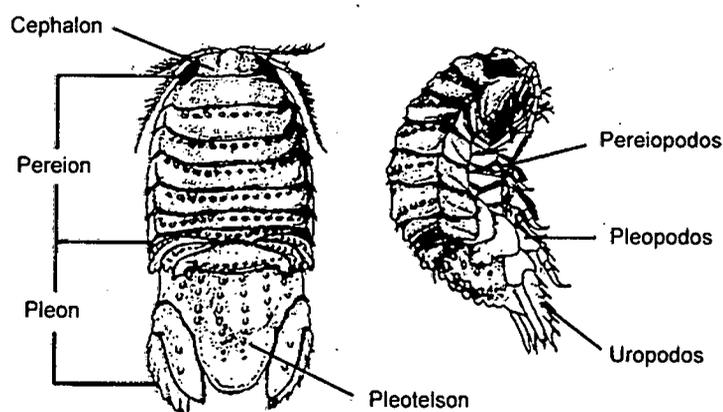


Figura 4.18. Diagrama de la vista dorsal y lateral de *Sphaeroma walkeri* (Pournou 1999: 19).

Si bien las partes de la boca de estos animales están adaptadas para perforar, no se sabe si los mismos ingieren las partículas de la madera (Pournou 1999). Se discute también si estas partículas son digeridas, ya que aunque se ha encontrado celulosa en el sistema digestivo, la relativamente pequeña cantidad de madera que es removida no se compara con el tamaño del animal. Al parecer, es más probable que para su alimentación dependan de microorganismos que viven en la superficie del túnel y de la filtración de plancton, por lo que entonces usarían la madera básicamente como refugio (Eaton y Hale *op. cit.*; Gareth Jones *et al.* 1976).

La infectación de maderos en el mar por *Sphaeroma* ocurre en las regiones medias a altas de la zona intermareales por lo que los animales están expuestos a desecación durante varias horas y sobreviven a pesar de las altas temperaturas en latitudes tropicales (Eaton y Hale 1993). Se encuentran en aguas estuariales y marinas cálidas templadas a tropicales, aunque son generalmente registradas en aguas cálidas (Pournou 1999). Es característico en ellas su habilidad para adaptarse a varias condiciones de nutrición, su tolerancia a los extremos ambientales y su habilidad para construir túneles en madera tratada (*ibidem*). Su tolerancia al estrés ambiental es bien ilustrada por su habilidad para resistir fluctuaciones de salinidad. Se dice que es capaz de vivir en agua destilada cerca de una semana. La habilidad para tolerar agua dulce por largos periodos lo convierte en un problema particular en sitios estuariales, donde una severa reducción de la salinidad puede suceder en la estación lluviosa, la cual inhibe la acción de otros perforantes marinos (Eaton y Hale *op. cit.*).

- Familia Cheluridae

Este es el grupo más reducido en número dentro de los crustáceos perforantes de madera (Eaton y Hale 1993). Consta sólo de un género y tres especies. *Chelura*

terebrans tiene una distribución mundial en regiones templadas y subtropicales (*ibidem*), mientras que *C. insulae* y *C. brevicauda* solo han sido registradas en aguas tropicales (Becker 1971 en Pournou 1999).

Tienen un largo de 3 mm a 8 mm (Pournou *op. cit.*). Sus rasgos anatómicos, como por ejemplo el número de segmentos y su disposición, es similar a los isópodos, pero el pleon o abdomen está compuesto por dos regiones, el metasoma y el urosoma (Fig. 4.19). El metasoma está formado por tres segmentos del pleon, de los cuales se derivan tres pares uniformes de pleópodos. El urosoma está formado por los siguientes tres segmentos del pleon, los cuales están fusionados, y tienen un par de urópodos marcadamente diferentes, los cuales son útiles para la identificación de las especies (Kuhne 1971 en Pournou *op. cit.*) (Eaton y Hale *op. cit.*).

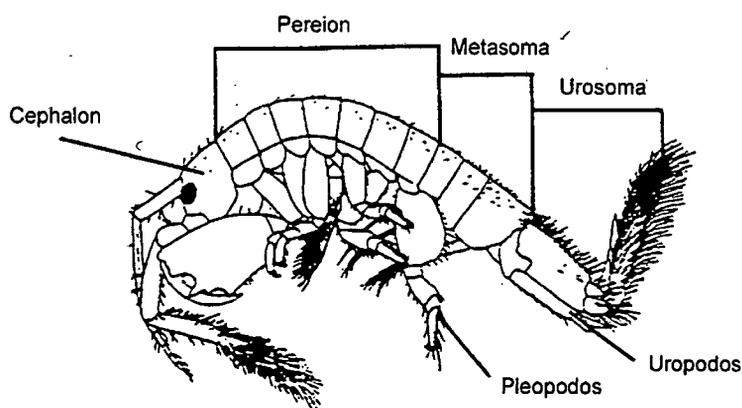


Figura 4.19. Vista lateral de *Chelura terebrans* (Pournou 1999: 20).

Se cree que los Chelúridos son muy dependientes de las actividades horadoras de los Limnóridos para mantener un habitat adecuado en la madera, así como de sus desechos fecales para su nutrición (Becker 1971 en Pournou 1999; Eaton y Hale 1993). En el medioambiente natural están casi siempre asociados con especies de *Limnoria*. En esos casos *Chelura* ocupa las zonas exteriores y *Limnoria* se encuentra en las zonas más profundas (Becker 1971 en Pournou *op. cit.*). *Chelura* limpia y agranda las galerías de *Limnoria* permitiendo una mejor circulación del agua y un suplemento mayor de oxígeno, lo cual les permite excavar más profundo en la madera (Hochman 1973 en Pournou *op. cit.*). Estudios experimentales han demostrado que *Chelura* meramente ramonea en la madera (ver Fig. 4.16) y que en ausencia de *Limnoria* causaría poca destrucción en el sustrato (Hochman 1973 en Pournou *op. cit.*). Sin embargo, otros estudios han mostrado que *Chelura* es capaz de excavar sus propias galerías y que puede ingerir pequeñas partículas de madera. También ha sido observada alrededor de la boca del animal una flora bacteriana y se ha sugerido que está relacionada a las necesidades nutricionales de *Chelura* (Pournou *op. cit.*).

La actividad reproductiva de *Chelura* también está estrechamente relacionada a la presencia de Limnóridos en la madera, y se ha demostrado que la madurez sexual está influenciada por los desechos fecales de los Limnóridos (Eaton y Hale 1993). Los animales copulan en sus agujeros y los huevos fertilizados y las larvas jóvenes se mantienen en la bolsa marsupial de las hembras por diferentes períodos de tiempo, dependiendo de la temperatura del agua (Eaton y Hale *op. cit.*; Pournou 1999). En *C.*

terebrans se observó que el tiempo de desarrollo fue de 17 días a 26° C y de 47 días a 14° C (Becker 1971 en Eaton y Hale *op. cit.*).

Los Chelúridos son menos tolerantes que los Limnóridos a cambios ambientales y morirán si se los mantiene en condiciones de baja salinidad o bajo oxígeno por aproximadamente un día (Eaton y Hale *op. cit.*).

5. ENCUADRE TEÓRICO

La investigación que se desarrolla en esta tesis -al igual que el proyecto dentro del cual se lleva a cabo- se adscribe a la perspectiva de la arqueología de momentos históricos, *sensu* Goñi y Madrid (1996) (Dellino 2000, 2002; Elkin 1997). De acuerdo a los mencionados autores se afirma que más allá de que exista amplia evidencia documental relativa al problema que se investiga, el registro arqueológico tiene la capacidad por sí mismo de dar cuenta del comportamiento humano del pasado. Por lo tanto, en una investigación arqueológica, los postulados teóricos y metodológicos que guían la investigación deben ser de carácter arqueológico. La evidencia arqueológica y la evidencia documental tienen capacidades explicativas disímiles porque son cuerpos de datos de distinta naturaleza, que responden a escalas de análisis diferentes. Es por esto que en la investigación arqueológica, la escala de análisis va a estar determinada en función de la resolución del registro arqueológico (Senatore y Zarankin 1996).

Desde el enfoque planteado se reconoce, de todos modos, que las fuentes de información histórica disponibles tienen una gran utilidad para la arqueología (Goñi y Madrid *op. cit.*; Senatore y Zarankin *op. cit.*). Al considerar el papel de la información histórica en la investigación arqueológica, es conveniente diferenciar en ella dos niveles de análisis (Elkin 1997; Elkin *et al.* 2001):

- Por un lado, la información histórica correspondiente a una escala espacio-temporal significativamente más amplia que el caso de estudio. En nuestro caso, la referida al contexto de expansión comercial y económica inglesa del siglo XVIII.

- Por otro lado, la información documental específica a la *sloop HMS Swift*. Por ejemplo, referida a las características de su construcción, sus actividades en el Atlántico Sur, su carga, tripulación, vida a bordo (alimentación, relaciones sociales).

En el primer caso, se trata de cuestiones que están referidas a una realidad histórica en términos generales, la cual se encuentra suficientemente documentada y sirve a la comprensión del contexto sociocultural en el cual se enmarca el tema de investigación, así como a la definición de las variables relevantes para la investigación. En el segundo caso, la información histórica es utilizada como fuente para generar hipótesis referidas a las problemáticas bajo estudio. Estas hipótesis deberán ser luego contrastadas en forma independiente con el registro arqueológico. De este modo se evita caer en la tautología que implica utilizar la evidencia arqueológica como expresión material de lo que el registro histórico señala (Dellino 2000; Elkin 1997; Elkin y Argüeso 2001; Elkin *et al.* 2001; Goñi 2000; Goñi y Madrid 1996, Senatore y Zarankin 1996).

Asimismo, debe tenerse en cuenta que en la investigación arqueológica de momentos históricos se pueden postular también hipótesis que son generadas en forma independiente del registro histórico. Estas pueden ser divididas en dos categorías (Elkin 1997; Elkin *et al.* 2001): a) las referidas a temas sobre los que no existe o no se conoce información histórica y b) las referidas exclusivamente a procesos de formación del registro arqueológico.

Con respecto a su campo específico de interés, este trabajo se enmarca dentro de lo que Elkin y Argüeso (2001) definen como "arqueología náutica": "la especialidad de la arqueología que se ocupa tanto de las embarcaciones en sí como de su equipamiento, cargamento, tripulantes y todo un *corpus* de elementos que permiten avanzar en el conocimiento de la compleja red de los sistemas económicos y sociales que se relacionan con el desarrollo de la navegación".

Se sigue aquí el uso de esta terminología por considerársela más específica que la de "arqueología marítima" (cf. punto 4.1). Es importante aclarar, también, que aunque a veces se lo suele utilizar indistintamente, la denominación "arqueología subacuática" no refiere a una temática específica de interés, sino al contexto ambiental en el que se encuentra la evidencia material que es estudiada, el cual como tal presenta atributos y problemáticas que le son propios (ver Cap. 2).

Volviendo a la arqueología náutica, es evidente que los pecios constituyen su principal fuente de evidencia material. Es claro también que los mismos pueden encontrarse actualmente tanto en ambientes terrestres como acuáticos, ya sea parcialmente, temporalmente o completamente sumergidos. Sin embargo, debido a que es en este último contexto en el que suelen encontrarse los pecios, de aquí en más se considera que los términos "pecio" o "sitio de naufragio" refieren a embarcaciones que se encuentran completamente sumergidas bajo el agua. Si bien existe una amplia variedad de tipos de embarcaciones, nuestras generalizaciones estarán referidas aquí básicamente a aquellas construidas en madera de acuerdo a la tradición europea posmedieval. Esto comprende hasta mediados del siglo XIX, debido a que luego de esa época comenzó a reemplazarse la madera con otros materiales. Más allá de la complejidad tecnológica que las caracteriza, se trata de embarcaciones de propulsión a vela y que tienen al menos una cubierta.

De acuerdo con Elkin y Argüeso (2001) y con Muckelroy (1978) se considera que, más frecuentemente de lo que suele suceder en sitios en tierra, los sitios de naufragio se caracterizan por presentar una alta resolución e integridad. Por lo tanto, cuentan con un gran potencial para generar información sobre el pasado. Tal como indican los autores mencionados esto se debe a ciertos rasgos particulares que son comunes a gran parte de estos sitios:

a) En lo que hace al modo en que se produce el paso del contexto sistémico al contexto arqueológico (*sensu* Schiffer 1987), y a las características que pueden ofrecer los ambientes de depositación:

- un naufragio es generalmente el resultado de un accidente que sucede en forma repentina e imprevista, por lo cual el barco y todo su contenido tienden a depositarse rápidamente sobre el fondo;

- si el barco se ha hundido sin grandes daños a su estructura, en ambientes de depositación favorables (es decir, en fondos blandos cuyas características permitan el rápido enterramiento y/o sedimentación sobre los restos), permitirá una alta integridad del registro y una muy buena conservación de los materiales.

b) Derivadas de las particularidades del objeto de estudio en su contexto sistémico (i. e.: una embarcación navegando):

- constituyen un tipo especial de comunidad o sociedad en pequeña escala, que se encuentra restringida espacialmente a las dimensiones de una embarcación; por lo

tanto, contienen un rango suficientemente amplio de evidencia material vinculada a la navegación en un sistema sociocultural determinado;

- representan una ocupación muy acotada temporalmente, por lo que puede afirmarse que todos los artefactos encontrados en estos sitios son contemporáneos, considerando este concepto en un nivel mucho más preciso (de semanas o días incluso) de lo que generalmente puede ser considerado en sitios de tierra (esto no implica desconocer que se pueda producir la "contaminación" del sitio con materiales más tardíos);

- en su mayor parte, la evidencia material que se encuentra en sitios de naufragio no corresponde a elementos descartados o perdidos, sino a elementos que se encontraban en uso a bordo, ya que en una embarcación no se suelen acumular vestigios materiales resultantes de actividades de descarte. Esto explica la posibilidad de encontrar una gran proporción de artefactos completos. La presencia de artefactos fragmentados o rotos se deberá entonces al proceso de hundimiento y demás procesos posdepositacionales.

El reconocimiento de los mencionados aspectos no implica, sin embargo, asumir que todos los sitios de naufragio constituyen "cápsulas del tiempo", sino que se entiende que diversos factores y procesos han intervenido desde el acontecimiento del naufragio hasta el presente. En palabras de Muckelroy (1978: 157): "Un naufragio es el evento por el cual un conjunto altamente organizado y dinámico de artefactos son transformados en un estado estático y desorganizado [...]. Mientras que el arqueólogo debe observar esta situación final, su interés [...] está centrado en el primero" (traducción propia). Por lo tanto, se considera fundamental que toda investigación arqueológica en sitios de naufragio comprenda el estudio de los procesos de formación de sitio. Entendemos por esto, de acuerdo con Schiffer (1987), los factores culturales y naturales responsables de la creación del registro arqueológico que estudiamos, es decir, aquellos procesos que median el paso de los materiales desde el contexto sistémico al contexto arqueológico. La validez de cualquier interpretación sobre el pasado humano que se realiza en la base de la evidencia arqueológica depende primordialmente del entendimiento de estos procesos (Schiffer 1987; Muckelroy 1978).

Se cree que es conveniente considerar el estudio de los procesos de formación de sitios de naufragio en base a los dos conceptos básicos postulados por Keith Muckelroy (1978: 159): "filtros extractores" (*extracting filters*) y "redistribuidores de elementos" (*scrambling devices*), ya introducidos en el Capítulo 4. En el primer caso, se trata de agentes y procesos que actúan como filtros que reducen el espectro del registro arqueológico que llega a nosotros al producir el deterioro parcial o total de ciertos materiales. En cuanto a los segundos, se trata de agentes y procesos que alteran la localización contextual (original) de los materiales, y que incluso pueden llegar a crear patrones de asociación de materiales no vinculadas a las conductas pasadas que les dieron origen.

Los procesos involucrados en la formación de un sitio de naufragio son a menudo fenómenos muy complejos que resultan de la interacción permanente de una multiplicidad de agentes que actúan en forma combinada, ya sea en forma simultánea o secuencial y, por lo tanto, pueden ser difíciles de desentrañar. Sin embargo, se cree que los mencionados conceptos son una herramienta útil para encarar su estudio.

La importancia de identificar los diversos agentes y procesos que caracterizan un sitio, y la comprensión del modo particular en que interactúan con los materiales

arqueológicos no sólo son relevantes en función de controlar las interpretaciones derivadas del registro arqueológico. Desde ya, este conocimiento es fundamental para evaluar el estado de conservación de los distintos materiales arqueológicos, tanto en cuanto a los artefactos en particular como respecto al sitio en su conjunto. Esta información es importante, por un lado, para orientar el tipo y la secuencia de las intervenciones arqueológicas en un sitio (Elkin 2000), ya que se puede ajustar la planificación de tareas de excavación y/o extracción de artefactos a fin de priorizar los sectores del pecio más propensos a ser destruidos por factores naturales o culturales (Bastida *et al.* 2004). Por otro lado, estos estudios también son esenciales para evaluar la necesidad de implementar medidas de protección *in situ* -ya sea a corto, mediano o largo plazo- con la finalidad de controlar procesos de deterioro.

Desde otro punto de vista, un mayor entendimiento de las relaciones causales entre determinados procesos y los productos que de ellos resultan, es decir, el registro material sumergido, constituyen la base para el desarrollo de modelos predictivos (Bastida *et al.* 2001; Elkin 2000). Los mismos brindarán una mayor comprensión de los procesos que tiene lugar en la evolución de estos sitios, y permitirán predecir patrones de dispersión, redistribución y/o deterioro de materiales. Este conocimiento será útil incluso en las primeras etapas de prospección en torno a un pecio en función de determinar el área máxima de dispersión de los restos materiales, ya que la aplicación de los modelos predictivos permitirá maximizar tiempo y recursos en las tareas de investigación (Grosso 2000).

5.1. CONSIDERACIONES RESPECTO A LOS PROCESOS DE FORMACIÓN EN EL SITIO SWIFT

De acuerdo con lo que afirma Muckelroy (1978) para la mayoría de los sitios de naufragio, y en función de nuestras propias consideraciones (señaladas en la última sección del Cap. 3), los procesos culturales que han actuado en forma directa en el sitio *Swift* se encuentran limitados a unas pocas actividades identificables. Sin embargo, la intervención humana se ha manifestado en forma indirecta, a través de procesos de índole natural (por ejemplo, la construcción de un enrocado y otras obras portuarias que pueden haber alterado la circulación de las masas de agua y la sedimentación). Es por esto que nuestra atención está dirigida aquí especialmente a los procesos de origen natural, pero sin que esto signifique ignorar aquellos culturales, y aunque los agentes o procesos de uno u otro origen se van a observar en forma aislada se reconoce que todos ellos suelen combinarse en forma compleja.

La investigación de los procesos de formación del sitio *Swift* se realiza dentro de una escala temporal histórica, que comprende poco más de 200 años. Creemos que para su estudio estos procesos deben ser considerados conceptualmente desde una perspectiva dinámica. Esta visión requiere que podamos verlos como un proceso continuo que, comenzando a partir del momento del naufragio, continúa en el presente. A lo largo de este proceso pueden distinguirse dos etapas, de acuerdo con Ward *et al.* (1999). En un primer momento, luego de que el barco se hubiera depositado en el fondo de la ría, son los procesos físicos los que tuvieron un papel más significativo, ya que durante este período se produce un importante deterioro estructural del pecio. Luego de ello, un segundo momento se produce a partir de que los distintos materiales logran un estado de equilibrio con el medio ambiente. De no

alterarse otras condiciones, tales como corrientes y sedimentación sobre el sitio, se observará que el mismo presenta un considerable grado de estabilidad. Sin embargo, de un modo más lento aún continúan actuando sobre los materiales diversos procesos biológicos y químicos. Dentro de ellos, dos tipos de agentes biológicos son los que actúan con mayor rapidez: el *biofouling* y los organismos marinos perforantes de madera. A continuación se describen sus principales implicancias.

5.2. IMPLICANCIAS ARQUEOLÓGICAS DE LA ACCIÓN DE LAS COMUNIDADES INCRUSTANTES (*BIOFOULING*)

Aún no está claro de qué modo la presencia del *biofouling* influye en la conservación e integridad de los materiales arqueológicos, es decir, si su presencia en el sitio puede llegar a ser positiva o negativa.

Desde otro punto de vista, los estudios relativos a los ciclos de vida de ciertos organismos incrustantes pueden constituir una potencial vía analítica para comprender procesos vinculados a la dinámica de los depósitos arqueológicos. Por ejemplo, bajo determinadas características y condiciones de la matriz sedimentaria, la presencia de ciertas especies adheridas a materiales arqueológicos podrían indicar que al menos durante su lapso de vida dichos restos no han estado cubiertos por sedimento (Elkin 2000).

En todos los casos, un primer paso indispensable para evaluar los aspectos considerados es determinar cuáles son las especies que están presentes en el sitio y si las mismas se asocian preferencialmente a ciertos tipos de materiales en función de su materia prima y/o características morfológicas. También es fundamental conocer los ciclos periódicos que poseen estas comunidades biológicas, en cuanto a la colonización, desprendimiento y posterior recolonización del sustrato. De acuerdo a la forma en que tengan lugar estos procesos -los cuales se producen continuamente en el tiempo- los mismos podrán tener distintas consecuencias para los materiales colonizados, así como también en relación a la evolución del sitio en general. Del mismo modo, estos procesos también pueden influir en la identificación de materiales *in situ*, sobre todo en condiciones de baja visibilidad como es el caso de la ría Deseado, ya que pueden cubrir por completo algunos materiales y dificultar su reconocimiento visual (Bastida *et al.* 2001).

5.3. IMPLICANCIAS ARQUEOLÓGICAS DE LA ACCIÓN DE LOS ORGANISMOS PERFORANTES DE MADERA

La acción de organismos perforantes de madera es claramente perjudicial para la conservación de objetos y estructuras confeccionados con dicho material. Una evidente implicancia de ello es que esta acción puede afectar en diverso grado la representación de artefactos de madera presentes en el pecio, pudiendo llegar a producir, incluso, su destrucción parcial o total. Esto, a su vez, incide en cualquier interpretación arqueológica subsiguiente, ya que la ausencia o subrepresentación de

determinados restos de madera puede no ser siempre un hecho evidente. Por ejemplo, la falta de determinados elementos estructurales que constituyen componentes esenciales de una nave (cubiertas, cuadernas, etc.) podría ser percibida de manera inmediata, mientras que la ausencia de muchos otros artículos podría no ser tan fácilmente deducida. La evidencia directa de actividad de perforantes debe entonces advertirnos sobre esta posibilidad (Bastida *et al.* 2001).

Por otro lado, la debilitación estructural o la destrucción de piezas de madera causada por organismos perforantes puede provocar también una modificación en su distribución espacial y, por lo tanto, en la asociación contextual de artefactos, como sería el caso de un recipiente de madera que al deteriorarse o destruirse produce la dispersión de su contenido (Bastida *et al.* 2001).

6 . OBJETIVOS E HIPÓTESIS

6.1. OBJETIVOS

Objetivo general

El objetivo general de este trabajo es incrementar el conocimiento de diversos aspectos vinculados al proyecto de investigación arqueológica del sitio *Swift*, así como también a la preservación de dicho patrimonio, a partir de la comprensión de los procesos que están vinculados a la formación del sitio.

Objetivos particulares

Evaluar el rol -tanto en el pasado como en el presente- de los organismos marinos perforantes de madera y del *biofouling* en el sitio *Swift*, en cuanto a la conservación diferencial de los materiales arqueológicos, y/o la distribución espacial de los mismos. Para ello se plantea:

- Identificar las especies de *biofouling* presentes, conocer sus mecanismos y ciclos de colonización y crecimiento; determinar sus acciones sobre los distintos materiales arqueológicos.
- Determinar la presencia de organismos marinos perforantes de madera, identificar las especies y evaluar sus ciclos biológicos; determinar la extensión de sus efectos perjudiciales sobre los materiales de madera del sitio.

6.2. HIPÓTESIS

En el presente trabajo se postulan las siguientes hipótesis:

- El *biofouling* es capaz de colonizar indistintamente los diferentes sustratos materiales.
- La temperatura del agua constituye un factor determinante en la formación, regulación y crecimiento de las comunidades incrustantes (biomasa) y de la diversidad de especies presentes (biodiversidad).
- Los ciclos de desprendimiento de los organismos incrustantes ejercen una acción destructiva en distintos sustratos materiales.
- El ataque de organismos marinos perforantes de madera se produjo en forma intensiva y extensiva en el pasado, y aún continúa en el presente.

7. METODOLOGÍA

La metodología de trabajo consistió, por un lado, en examinar la asociación entre las comunidades bióticas y los materiales arqueológicos. Por otro lado, se desarrolló un estudio experimental con el objetivo de observar en forma controlada la actividad del *biofouling* y de los organismos marinos perforantes de madera en el sitio (Bastida *et al.* 2001, Bastida *et al.* 2003; Bastida *et al.* 2004, Elkin *et al.* 2006).

Asimismo, a fin de obtener información complementaria sobre la ocurrencia de organismos perforantes de madera en el estuario, fueron examinadas estructuras y otros tipos de maderas que se encontraban en la ría Deseado.

7.1. RELEVAMIENTO DE LOS MATERIALES ARQUEOLÓGICOS

El examen de los materiales arqueológicos fue realizado una vez que éstos fueron extraídos del sitio. Ocasionalmente el relevamiento de algunos artefactos se realizó a través de imágenes fotográficas de los mismos, cuando no se pudo tener acceso a dichos materiales y siempre que la calidad de las fotografías lo permitiera. Otras observaciones generales también fueron realizadas *in situ*, en la medida en que las condiciones de escasa visibilidad que caracterizan al estuario lo permitieron.

A partir de la observación sistemática de los distintos materiales arqueológicos se realizó un registro macroscópico de las principales especies de *biofouling* asociados a ellos. Con el objetivo de detectar posibles recurrencias en la fijación de las especies incrustantes en función de las características particulares de los diferentes sustratos, se consideró en forma general el tipo de materia prima, la textura y la forma de cada uno de los materiales colonizados.

En los artefactos de madera se registró además la actividad de organismos perforantes. También se realizaron observaciones en restos estructurales del pecio que permanecen *in situ*. Se entiende por "estructura" de un barco al complejo conjunto de maderas que durante la construcción del mismo son ensambladas y unidas entre sí con la finalidad de darle forma y solidez a dicha embarcación. Es conveniente tener en cuenta que los procesos de deterioro que ocurren en un sitio suelen provocar la fragmentación y/o desarticulación de maderas que formaban parte de dicha estructura. Por lo tanto, a los fines de esta tesis, estas maderas desarticuladas se consideran como "artefactos".

La identificación de la actividad de perforantes se realizó a ojo desnudo, macroscópicamente y en forma no intrusiva. Es decir que se registraron aquellos casos en los que, en función del deterioro que presentaba la superficie del material, las galerías habían quedado expuestas. Es claro que podría darse el caso de que algún artefacto estuviera perforado y que esto no fuera visible exteriormente, pero de todos

modos la información provista mediante este relevamiento brindaría información de base sobre la extensión del ataque de estos organismos. Cuando fue posible se procuró además localizar organismos vivos, o al menos restos de los mismos, a fin de poder reconocer su especie. Finalmente, se registró información sobre la procedencia de los artefactos de madera: el sector del pecio en el que se encontraban y si habían sido hallados en recolección superficial o en excavación.

La identificación taxonómica de los organismos fue realizada por el laboratorio de Ecología Bentónica y Biodeterioro de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad Nacional de Mar del Plata, institución con la cual el INAPL, a través del Programa de Arqueología Subacuática, del posee un acuerdo.

7.2. ESTUDIO EXPERIMENTAL

7.2.1. Materiales

Cada sistema colector experimental (Figs. 7.1 y 7.2) estaba formado por una base de acrílico de 30 cm por 40 cm y de 1 cm de espesor. A esta base se le aplicó pintura antifouling a los efectos de evitar la colonización de organismos en ella y restringir la fijación de organismos a las superficies experimentales correspondientes. Para el estudio del biofouling, en uno de los lados de esta base se colocaron ocho paneles de acrílico arenado de 5 cm de ancho por 10 cm de largo y 0,5 cm de espesor. El arenado fue realizado con el objetivo de que la superficie de los paneles tuviera una rugosidad similar a la de los sustratos naturales. Esto permite que se produzca el proceso normal de colonización por parte de los primeros microorganismos, así como el desarrollo de las primeras etapas sucesionales, fundamentales para el posterior desarrollo de la comunidad (Bastida *et al.* 2004).

Para el estudio de organismos perforantes, en el reverso de la base acrílica, fueron colocados ocho paneles de madera de pino, de 5 cm de ancho por 12 cm de largo y 1,5 cm de espesor. La elección de *Pinus* sp. se debió a que es un tipo de madera muy susceptible a la biodegradación (Castan 1985), y por esa razón es que se lo utiliza generalmente en este tipo de ensayos experimentales (Gareth Jones *et al.* 1972, Hoagland y Turner 1980, Pournou *et al.* 1999; Pournou 1999, Santhakumaran 1980). El pino, además, es una madera utilizada habitualmente en construcción naval.

Los paneles de madera fueron colocados en un recipiente con agua de mar antes de ser instalados en la base acrílica a fin de que comenzaran a hidratarse. Debido que al absorber agua la madera aumenta su volumen, esto permitió que al ser colocados en la base de acrílico los tornillos se ajustaran convenientemente en función de dicho volumen y, de ese modo, se mantuvieran firmes a la base a lo largo de todo el período experimental.

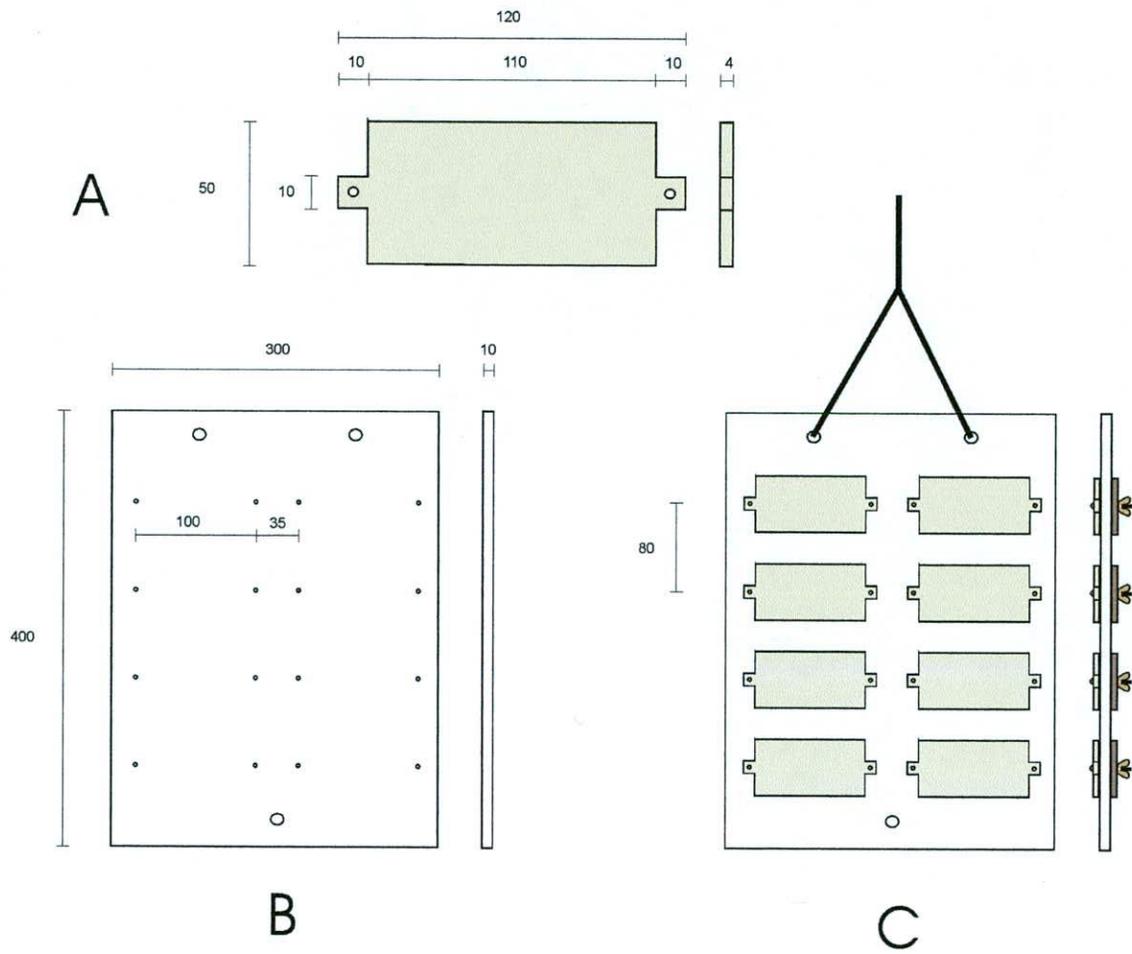


Figura 7.1. Croquis del sistema colector experimental. A) Panel móvil de acrílico/madera; B) base de acrílico; C) el conjunto armado (adaptado de Bastida et al. 2003).



Figura 7.2. Armado de uno de los sistemas colectores experimentales.

Adicionalmente se diseñó un tipo especial de paneles de madera con el objetivo de que, en el caso de que se encontraran, se pudieran obtener ejemplares completos de organismos perforantes. Cada uno de estos paneles de madera compuestos estaba formado por una serie de láminas de madera de 12 cm por 12 cm de lado y alrededor de 1 mm de espesor apiladas una sobre otra hasta alcanzar cerca de 1 cm. Se confeccionaron dos de estos paneles, uno con madera de pino (*Pinus sp.*) y el otro de cerejeira (*Amburana cearensis*). Cada grupo de láminas se mantenía firmemente unido en su posición en virtud de estar aprisionado entre una plancha de acrílico en su parte posterior y un marco del mismo material en su parte anterior, estando todo el conjunto ajustado mediante ocho tornillos con mariposas (Fig. 7.3). Dos de estos tornillos se empleaban también para fijarlo a la base de acrílico del sistema colector experimental. También en este caso, y por la misma razón indicada para los paneles de madera, se procedió a la inmersión de los materiales en agua marina previamente a ser instalados en la base acrílica del sistema colector. Al finalizar el período experimental estos paneles pudieron ser desarmados separando las finas láminas de madera una de otra. Esto permitió observar el interior de la madera sin necesidad de realizar cortes que pudieran impedir la recuperación de ejemplares completos de dichos organismos.



Figura 7.3. Armado de los paneles de madera compuestos.

En todos los casos mencionados los paneles fueron sostenidos a la base de acrílico mediante tornillos y mariposas de bronce. La utilización de este material se debe a que no sufre deterioro por corrosión al estar en contacto con agua de mar, por lo que fue posible colocar y quitar paneles con facilidad en cada muestreo.

A fin de que cada sistema colector experimental pudiera ser colocado en el sitio manteniendo una posición vertical fue colocado en el extremo superior de cada una de las bases de acrílico una soga de nylon. El nylon es un material que puede permanecer prácticamente inalterable por largo tiempo, aún ante condiciones altamente agresivas como las que puede ofrecer el medio marino, por lo que permitiría sostener con seguridad al conjunto. Previendo además que las fuertes corrientes de

marea provocarían el movimiento de los colectores, se colocó un rotor de bronce entre la soga y la base para permitir que ésta girara libremente sobre sí misma. En la parte inferior del conjunto se colocó otra soga de nylon sosteniendo un peso en su extremo a fin de contrarrestar la fuerza de las corrientes y contribuir a mantener la verticalidad del conjunto.

Finalmente cabe señalar que se realizó un registro escrito y fotográfico de todos los elementos utilizados y de los procedimientos seguidos en cada una de las etapas de este estudio experimental.

El diseño experimental que se describe aquí es el resultado de la adaptación de otros similares que se han utilizado exitosamente desde la década del '60 en nuestro país para la investigación del *biofouling* y de los organismos perforantes de madera en puertos y áreas costeras (Bastida 1971, 1973, 1977; Bastida *et al.* 1971; Bastida *et al.* 1976; Bastida y Lichtschein 1981; Bastida *et al.* 1980; Rascio *et al.* 1973).

La utilización de este tipo de sistemas colectores experimentales está basado en la aplicación del "modelo conceptual de microcosmos" y en la existencia de procesos sucesionales en la formación de las comunidades bentónicas (Cooke 1967; Odum 1969, 1971, 1997). Este modelo, que ha sido desarrollado para el estudio de ecosistemas en una escala muy pequeña, postula además que las dimensiones de las superficies experimentales que se utilizan deben representar un "área de muestreo mínima para una comunidad". Esto significa que al menos debe permitir registrar un espécimen de todas las especies que pertenecen a esa comunidad (Bastida 1971; Margalef 1974).

7.2.2. Ubicación de los sistemas colectores experimentales

En el sitio *Swift* fueron colocados dos sistemas colectores experimentales. Uno de ellos en el área de proa, aproximadamente a 15 m de profundidad y el otro en la zona de popa, aproximadamente a 18 m de profundidad (en ambos casos con marea alta). La ubicación diferencial de cada uno de estos dos colectores, en ambos extremos del pecio, permitiría registrar dentro del mismo sitio variaciones en las especies colonizantes y en su evolución.

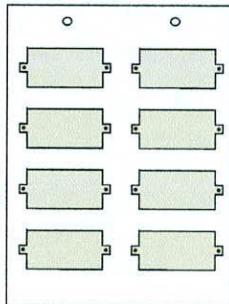
7.2.3. Técnica de muestreo

Este estudio fue planteado por un período máximo de 24 meses, el cual constituye un plazo suficiente para el monitoreo de la evolución de las comunidades, tanto con relación a sus ciclos estacionales como a los procesos de sucesión ecológica que se presentan (Bastida *et al.* 2001; Bastida *et al.* 2003; Bastida *et al.* 2004). Asimismo, también permite realizar comparaciones entre dos ciclos anuales.

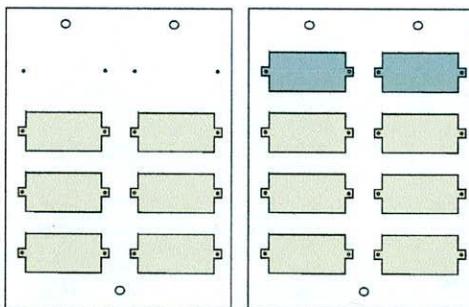
Los muestreos se realizaron a los 6, 12 y 24 meses a partir de la instalación de los sistemas colectores (respectivamente: primer, segundo y tercer muestreo). De este modo, en cada período de muestreo pudo observarse cómo evolucionó la comunidad desde el inicio del ensayo. Esto permitió identificar los períodos de colonización de las distintas especies de incrustantes y/o perforantes, comprender los procesos de

evolución de las comunidades de *biofouling* y el alcance de su etapa clímax, así como también el desprendimiento de los organismos que la componen (Bastida 1971; Bastida y Brankevich 1980; Bastida *et al.* 1980).

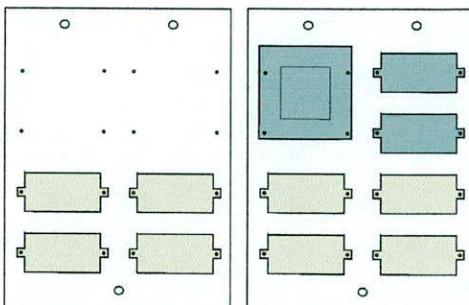
El procedimiento de muestreo consistió, en cada caso, en retirar periódicamente del sistema colector dos paneles de madera y dos de acrílico. De este modo se obtendría cada vez un panel original (panel A) y su correspondiente réplica (panel B). En el último muestreo se retiraron además otros dos paneles (panel C y panel D), tanto de madera como de acrílico, a fin de contar con material adicional de estudio. Además, en el primero (6 meses) y en segundo muestreo (12 meses), luego ser retirados los paneles correspondientes, se colocó en su lugar un nuevo juego de paneles, que a su vez fueron retirados en el muestreo siguiente (respectivamente, 12 meses y 24 meses) (ver Fig. 7.4 y Tabla 7.1). Estos paneles permitirían contar con información específica de la evolución de las comunidades en relación con el período del año durante el cual estuvieron sumergidos. Finalmente, en cuanto a los paneles de madera compuestos, éstos fueron colocados en la segunda etapa de muestreo y se retiraron al finalizar el estudio (es decir, permanecieron en el sitio durante 12 meses).



Marzo 2001:
Instalación del sistema colector experimental.



Septiembre 2001 (seis meses):
Primer muestreo. Se retiran los dos paneles superiores y en su lugar se colocan otros dos.



Marzo 2002 (doce meses):
Segundo muestreo. Se retiran los dos paneles colocados en el primer muestreo y dos de los paneles colocados al inicio del período experimental. Se colocan dos nuevos paneles y el panel compuesto de madera.

Marzo 2003 (veinticuatro meses):
Tercer muestreo. Se retira el sistema colector del sitio.

Figura 7.4. Esquema que reproduce el procedimiento de muestreo.

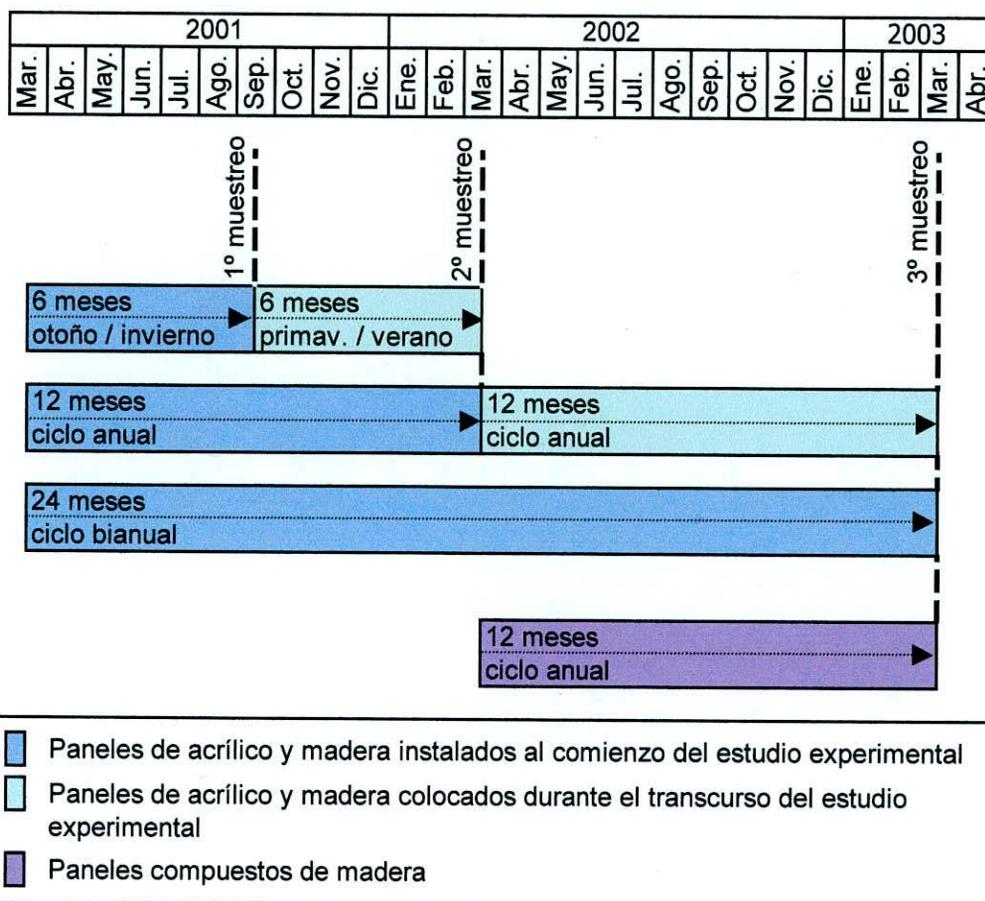


Tabla 7.1. Cronograma de colocación y de retiro de paneles en los sistemas colectores experimentales ubicados en el sitio Swift.

En cada etapa de muestreo se retiraron los sistemas colectores experimentales del lugar en el que estaban ubicados y fueron llevados a superficie. A fin de que no se produjeran desprendimientos de material orgánico durante su traslado a superficie, en los casos en que fuera necesario, se procedió a embolsar *in situ* cada uno de los sistemas colectores experimentales. Las bolsas fueron cerradas con un precinto y se incluyó dentro de ellas un rótulo con la identificación del lugar de procedencia del colector.

Una vez en superficie, sobre el pontón de trabajo se tomaron fotografías de los paneles. Luego se procedió a acondicionar las muestras. En primer lugar se colocaron los colectores dentro de baldes para contener el material que se desprendiera al realizar el retiro de los paneles. A continuación se procedió a quitar los tornillos que sujetaban los paneles que serían muestreados a la base acrílica del sistema colector. Siguiendo un orden de arriba hacia abajo fueron retirados los paneles que correspondían a cada período de muestreo, tanto los paneles de acrílico como los de madera que estaban atornillados con ellos en el reverso de la base acrílica.

Cada panel fue colocado en un frasco de plástico o de vidrio que contenía agua de la ría y luego tapado. En cada caso se incluyó una etiqueta con la siguiente información:

- Procedencia del colector (PROA o POPA)
- Tipo de panel (madera, acrílico o madera compuesto), original (A) o réplica (B, C ó D).
- Período representado (fecha de inmersión y fecha de retiro)

Una vez en el laboratorio del Museo Brozoski se procedió a la fijación de las muestras para evitar el deterioro de la materia orgánica. Para ello se trasladaron los paneles a frascos previamente esterilizados que contenían una solución entre el 5% y 10% de formaldeído neutralizado en agua.

7.2.4. Análisis de los datos

Este estudio fue realizado por el laboratorio de Ecología Bentónica y Biodeterioro de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad Nacional de Mar del Plata (FCyEN - UNMDP), bajo la dirección del Dr. Ricardo Bastida. Mientras se realizaba este análisis la autora de este trabajo realizó una pasantía en dicho laboratorio a fin de familiarizarse con las técnicas utilizadas.

Los resultados del análisis de cada uno de los paneles de acrílico y de madera permitieron obtener información sobre el grado de desarrollo alcanzado por el *biofouling* en función del período representado por cada panel. Se describe a continuación el procedimiento empleado:

- 1) Registro fotográfico en detalle de cada uno de los paneles.
- 2) Descripción general de las características del *biofouling* de cada panel mediante el empleo de lupa binocular y microscopio, y su posterior comparación con las imágenes fotográficas.
- 3) Observación de la superficie de los paneles de madera con la finalidad de registrar la eventual presencia de orificios realizados por organismos perforantes.
- 4) Identificación, cuantificación y cálculo de densidad máxima de las principales especies de *micro* y *macrofouling* representadas en cada panel.
- 5) Raspado de los paneles a fin de desprender todo el material orgánico que se encontraba en su superficie y acondicionarlo en alcohol al 70%.
- 6) Determinación de la biomasa correspondiente a cada panel mediante evaluación de su volumen (método volumétrico). Este método fue elegido porque permite evaluar valores bajos de biomasa tales como los que se desarrollan en las primeras etapas de colonización de los sustratos. Para ello el material de los paneles fue depositado en tubos de ensayo graduados con escala en mililitros. Se lo dejó reposar inicialmente por un período de 24 hs hasta la estabilización de la muestra. El material permaneció depositado durante 48 horas extras, a los efectos de una segunda lectura que permitiera realizar los ajustes necesarios en las muestras con contenido de arcillas, ya que éstas suelen tomar más tiempo en precipitar que el resto. Luego se procedió a procesar los datos obtenidos.

7.3. RELEVAMIENTO DE OTRAS FUENTES DE EVIDENCIA NO ARQUEOLÓGICAS

En forma complementaria, se buscó relevar fuentes de evidencia no arqueológicas que permitieran evaluar la presencia de perforantes en el estuario. Esto implicó localizar construcciones realizadas en madera que estuvieran en contacto con el agua de la ría -tal como muelles y embarcaderos-, así como también embarcaciones de madera e incluso restos de maderas que se encontraran a la deriva en el agua.

Para ello se realizó una prospección en la margen norte del estuario, a lo largo de la línea de costa. El mismo se realizó a pie cubriendo una distancia aproximada de unos 5,6 km, desde el Club Náutico Capitán Oneto -en la ciudad de Puerto Deseado- hasta Península Foca. Cabe aclarar que el área prospectada incluye una zona costera que se encuentra más allá de la entrada a la ría. Debido a que las características ambientales no difieren básicamente a ambos lados de la entrada a la ría (Punta Cascajo), la inclusión de esta zona tendría la ventaja de permitir relevar un área mayor. Ocasionalmente se realizaron también relevamientos en otras locaciones de la costa norte, como por ejemplo en la zona del dique seco (ver ubicación de estos puntos en Figs. 3.1B y 3.4).

8. RESULTADOS

8.1. EXAMEN DE LOS ARTEFACTOS Y ESTRUCTURAS

8.1.1. Asociación del *biofouling* con los materiales arqueológicos

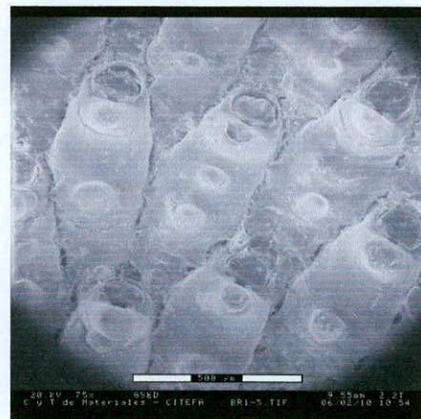
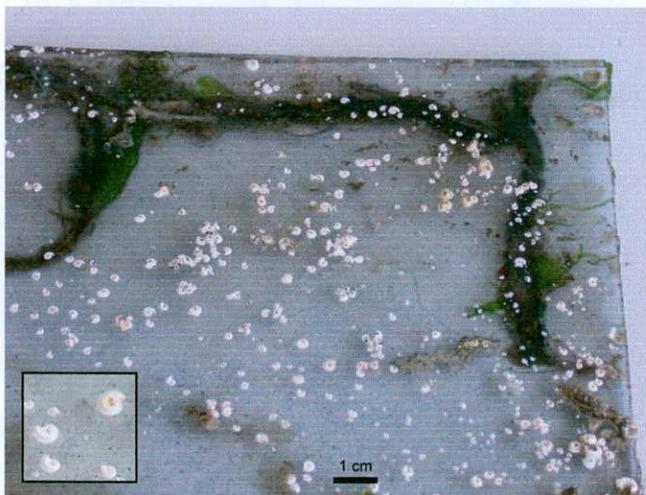
Las observaciones realizadas *in situ*, y el examen de los artefactos que fueron extraídos del sitio, permitió identificar ciertas preferencias vinculadas a las características del sustrato colonizado por los distintos organismos. A continuación se describen aquellas asociaciones más conspicuas (ver Fig. 8.1).

Los tunicados (n. v. "papas de mar") son los que -por su tamaño y distribución- alcanzan mayor notoriedad a simple vista en todo el pecio, registrándose su fijación en diferentes tipos de sustratos. Se ha observado, además, que pueden desarrollarse grandes acumulaciones de estos organismos a partir de superficies muy pequeñas. Por ejemplo, en algunos cabos modernos de alrededor de 1 cm de diámetro que se encuentran en el sitio se han observado colonias que llegan a más de 30 cm de diámetro. Esto sucede fundamentalmente en las zonas de buena circulación de agua, como también puede observarse en los extremos de los maderos estructurales que sobresalen del conjunto del pecio. Otras zonas, como sectores de la cubierta que se encuentra junto al sector de excavación, presentan baja concentración de tunicados del género *Paramolgula*.

En las grandes piezas estructurales de madera que se destacan sobre el volumen del pecio, como por ejemplo en cuadernas y baos, abundan diversas especies de celenterados actinarios (n. v. "anémonas marinas"), tanto pequeños como grandes, y los mencionados tunicados. Entre estos últimos se encuentran tanto especies solitarias (p. ej. *Cnemidocarpa verrucosa*, *Molgula* sp., *Paramolgula gregaria*, *Ciona* sp. y *Corella eumyota*), como así también especies coloniales (p. ej., *Sycozoa gaimardi*, *Amaroucium* sp., *Didemnum* sp., *Polyzoa opuntia*). También se registran algas rojas del género *Rhodymenia* y *Ceramium*, y pardas del género *Dyctiota*, si bien todas ellas en bajas cantidades por las restricciones lumínicas del sitio. Excepcionalmente pueden encontrarse ejemplares aislados de la Clorofita del género *Ulva*, que suele requerir una mayor intensidad luminosa. Los artefactos de madera de tamaño pequeño, como motones y poleas -entre otros-, presentan comparativamente una menor diversidad, predominando pequeños celenterados actinarios y algunas colonias de briozoos arborescentes (p. ej. *Hippotoa bouganvillei*) (Bastida *et al.* 2001; Elkin *et al.* 2006).

En artefactos de vidrio se observan tanto organismos sésiles (adheridos al sustrato), como organismos vagantes (se desplazan libremente). Aparentemente ambos tipos de organismos estarían asociados a las distintas texturas que presentan la superficie de los artefactos de vidrio recuperados. En vidrios lisos, como los que presentan algunas botellas, se observa un claro predominio de briozoos incrustantes (p. ej. *Membranipora hyadesi*) que pueden alcanzar una cobertura significativa de la superficie total del artefacto. También se encuentran briozoos arborescentes (*Hippotoa*

bouganvillei). Se observan asimismo pequeñas especies de poliquetos de tubo calcáreo de la familia Spirorbidae y especies de tubo blando de material orgánico del género *Thelepus*, adheridos tanto sobre el vidrio mismo como así también en calidad de epibiontes de los briozoos. Otras botellas presentan además pequeños celenterados actinarios. Entre los organismos libres, también encontrados sobre botellas, merece señalarse la presencia del molusco gasterópodo *Crepidula dilatata* y en menor frecuencia *Calyptreaea costellata*. En el caso de otros vidrios que presentan superficies esmeriladas de buena adherencia, como ocurre con los paneles de vidrios de ventanas, se observa un *biofouling* más diversificado. Sobre ellos suelen adherirse pequeños celenterados actinarios, poliquetos de tubo calcáreo de la familia Serpulidae y especies de tubo orgánico de material blando de las familias Terebellidae y Nereidae, moluscos gasterópodos como *Crepidula dilatata*, *Calyptreaea costellata*, *Lucapinella genselli* y *Pereuthria plumbea*, crustáceos cirripedios del género *Balanus* (p. ej. *B. laevis* y *B. psittacus*), crustáceos isópodos de los géneros *Cassidinopsis* y *Exosphaeroma*, briozoos incrustantes género *Membranipora* (*M. hyadesi*) y otros briozoos arborescentes de los géneros *Hippotoa* (*H. bouganvillei*) y *Bowerbankia* (*B. gracilis*), y tunicados solitarios y coloniales de los géneros *Ciona*, *Molgula*, *Paramolgula* (*P. gregaria*), *Corella* (*C. eumyota*), *Sycozoa* (*S. gaimardi*), *Amaroucium* y *Polyzoa* (*P. opuntia*) (Bastida et al. 2001; Elkin et al. 2006).



b

a

c

d



e



f



g



h



i

Figura 8.1. Biofouling en el sitio Swift: a) motón de madera con pequeños celenterados actinarios (parte superior) y briozoos arborescentes (lado izquierdo); b) colonia de briozoos incrustantes en un madero; c) imagen de MEB de briozoos incrustantes (75x); d) pequeños poliquetos de tubo calcáreo de la familia Spirorbidae en un panel de vidrio (abajo a la izquierda detalle de los mismos); e) detalle de panel de vidrio de ventana en el que se observan algas calcáreas, tubos de poliquetos y briozoos arborescentes, entre otros organismos; f) bomba de agua de plomo colonizada por *Crepidula dilatata* y pequeños celenterados actinarios; g) escaso desarrollo del biofouling -excepto por algunos tunicados- en un artefacto de cobre (probablemente parte de la chimenea de la cocina); h) ejemplares del molusco *Crepidula dilatata* y briozoos arborescentes en una botella de vidrio; i) baos y otros restos estructurales colonizados por tunicados solitarios y coloniales.

Con respecto a los elementos metálicos ferrosos se han detectado sobre ellos algas rojas calcáreas del género *Lithothamnium*, pequeños celenterados actinarios, briozoos incrustantes del género *Membranipora* (*M. hyadesi*) y arborescentes de los géneros *Hippotoa* (*H. bouganvillei*) y *Bowerbankia* (*B. gracilis*), poliquetos de tubo calcáreo de la familia Spirorbidae y de la familia Serpulidae. También es frecuente la presencia del molusco gasterópodo *Crepidula dilatata*. Esta última especie, junto con el molusco *Calyptraea costellata* son las más frecuentes en elementos no ferrosos (Bastida *et al.* 2001). En materiales realizados en cobre, el *biofouling* es escaso o inexistente, dado que básicamente dicho metal resulta tóxico para la mayor parte de las especies del *macrofouling* (Elkin *et al.* 2006).

Hasta el momento no contamos con observaciones sobre el *biofouling* en relación a otros materiales -como cerámica, cabo o cuero-, debido a que los mismos fueron hallados por el equipo del PROAS en su mayor parte en contextos de excavación.

La Tabla 8.1 presenta en forma sintetizada las características principales en las asociaciones entre los organismos y los materiales arqueológicos mencionados, señalando además su nivel de biodiversidad y de biomasa. Los mismos están referidos en forma comparativa a las comunidades bentónicas de los fondos rocosos aledaños al sitio *Swift*, considerándolos a ellos como el máximo nivel de biodiversidad y de biomasa posible.

MATERIALES	Características del sustrato	Características de las asociaciones principales (*)	Niveles de Biodiversidad (B1) y Biomasa (B2)
VIDRIO	Superficies lisas (botellas)	Asociaciones representadas por varios grupos de invertebrados	B1: Medio B2: Bajo
	Superficies rugosas (paneles de vidrio de ventanas)	Asociaciones representadas por varios grupos de invertebrados y cordados	B1: Alto B2: Medio
MADERA	Artefactos pequeños encontrados sobre el sedimento	Asociaciones representadas por varios grupos de invertebrados	B1: Bajo B2: Bajo
	Componentes estructurales de la embarcación (cuadernas y baos)	Asociaciones representadas por algas, invertebrados y cordados	B1: Medio B2: Alto
METAL	Hierro	Asociaciones representadas por algas e invertebrados	B1: Alto B2: Medio
	Plomo	Representados sólo por un grupo de invertebrados	B1: Bajo B2: Bajo

Tabla 8.1. Caracterización general del *biofouling* en relación a diversos tipos de sustratos (adaptado de Elkin *et al.* 2006).

8.1.2. Efectos de la fijación del *biofouling*

Se ha observado en el sitio *Swift* que la remoción de tunicados que se encuentran adheridos a artefactos o estructuras de madera ocasiona el desprendimiento de fragmentos del sustrato, lo cual posee claras implicancias arqueológicas. La Figura 8.2 representa dos casos en los que se puede ver de qué modo han quedado adheridos fragmentos de la madera que conforma el sustrato sobre el cual se fijaron estos organismos. Uno de estos ejemplos proviene de una cuaderna y el otro de un sector interior una caja.

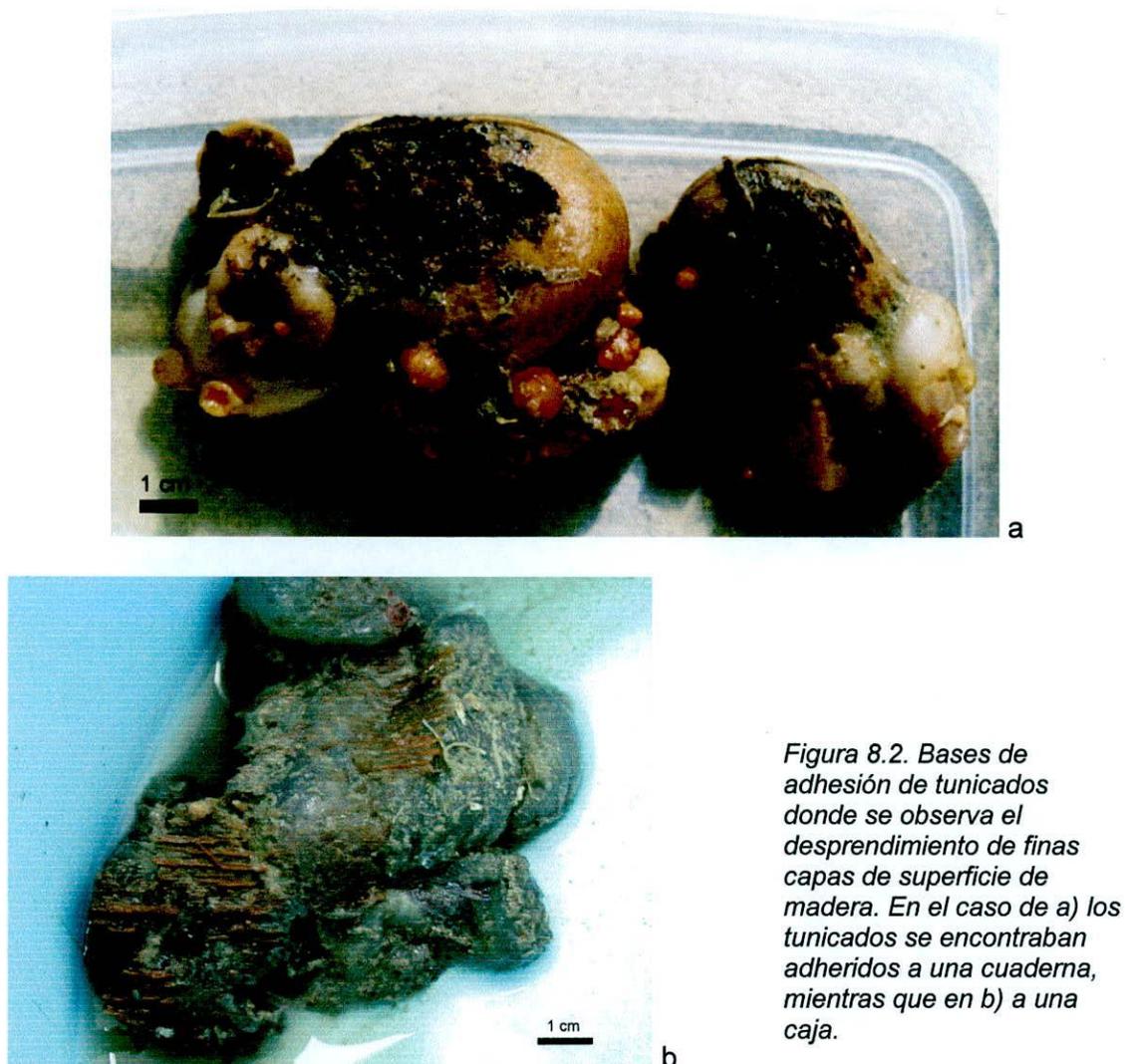


Figura 8.2. Bases de adhesión de tunicados donde se observa el desprendimiento de finas capas de superficie de madera. En el caso de a) los tunicados se encontraban adheridos a una cuaderna, mientras que en b) a una caja.

Se ha advertido también que la fijación de ciertos organismos sobre las maderas puede producir improntas o marcas en ellas. Un ejemplo notable en este sentido es el de poliquetos de tubos blandos de material orgánico, como *Platynereis australis*, que al construir el tubo en el que viven pueden producir en la madera depresiones irregulares de forma alargada (Fig. 8.3) En algunas maderas se registró además un tipo particular de impronta de forma circular, la cual se ha encontrado en forma aislada o en grupos

de varias de ellas (Fig. 8.4). Si bien hasta el momento no se han podido asociar con la actividad de ningún organismo específico, por su forma y talla podrían corresponder a la fijación de algún molusco, probablemente *Crepidula dilatata*. La medida en que dichas improntas quedan marcadas en la madera depende del nivel de dureza de la superficie del sustrato. Cuanto más blanda o esponjosa se muestre la madera al tacto, más profunda podrá ser dicha impronta. En función de ello, en algunas maderas puede incluso llegar a observarse “negativos” dejados por el contacto con algas y otros organismos de los cuales normalmente no se encuentra evidencia en otras maderas que presentan un mejor estado de conservación o mayor dureza.

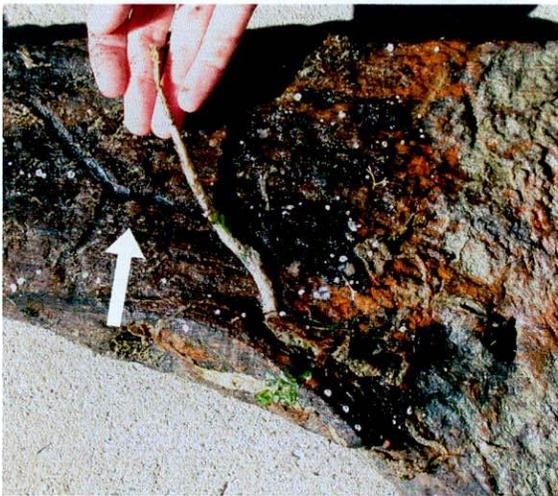


Figura 8.3. Artefacto de madera (curva) en la que se observa la impronta dejada por un poliqueto tubícola.



Figura 8.4. Artefacto de madera (extensión del codaste) en el que se observan improntas circulares.

8.1.3. Observaciones *in situ* relacionadas con perforantes

En lo que respecta a las observaciones relativas a la actividad de perforantes que se realizaron *in situ*, las mismas se vieron limitadas por la escasa visibilidad que caracteriza al sitio. Como se ha explicado anteriormente, la abundante cantidad de

sedimento que se encuentra en suspensión en la ría disminuye en gran medida la penetración de la luz. Consecuentemente esto hace que sea prácticamente imposible detectar rasgos de pequeños tamaño, tales como los orificios que producen los perforantes al ingresar a la madera por primera vez. Además, el *biofouling* que se desarrolla en los distintos materiales del pecio en algunos lugares alcanza varios centímetros de espesor, cubriendo por completo algunos de los sustrato colonizados. De todos modos fueron realizadas algunas observaciones en forma no sistemática en determinados sectores del pecio. En ciertos casos se emplearon espátulas y cepillos para remover la cobertura orgánica de los materiales. Algunos de los sectores relevados fueron: el tablazón exterior de la banda de babor hacia proa, la zona media de la banda de babor hacia popa (cuadrícula G 27), la cubierta principal próxima a la zona de excavación, así como también los alrededores del pecio en el área de popa. Los datos así obtenidos fueron complementados con información proveniente de observaciones realizadas en otras oportunidades por investigadores del PROAS.

En los mencionados relevamientos realizados *in situ*, en los casos en que se detectó la actividad de organismos perforantes se trataba de materiales que presentaban escasa cobertura orgánica y, a su vez, grandes galerías, lo cual hizo posible distinguir a simple vista que la madera estaba atacada. Uno de estos casos corresponde a un sector de la cubierta principal que se encuentra a proa del palo mesana. En el mismo se observaron algunas perforaciones que podrían haber sido producidas por organismos perforantes (R. Bastida com. pers.). Debido a que se encontraban bastante erosionadas y no exhibían recubrimiento de carbonato de calcio en su interior aparentaban haber sido producidas hace tiempo. En otras oportunidades se trataba de maderos o fragmentos de los mismos encontrados sobre el sedimento, en la zona de popa-babor. Los mismos presentaban los característicos túneles realizados por la actividad de moluscos teredínidos. Al igual que en el caso anterior, las perforaciones se encontraban algo erosionadas, y tampoco presentaban carbonato de calcio en su interior.

Considerando que el ataque severo de perforantes provoca la fragilidad estructural de aquellos sustratos que son colonizados, se examinaron maderos de gran volumen - como cuadernas y baos- a fin de verificar su firmeza. En los casos relevados se comprobó que si bien la superficie exterior de las maderas era esponjosa, los materiales aún conservaban su solidez.

8.1.4. Actividad de los organismos perforantes en diversos artefactos

Para realizar el relevamiento de los artefactos de madera que fueron extraídos del pecio desde su descubrimiento en el año 1982 hasta el año 2005 inclusive, se debió comenzar con la confección de un inventario integral de los mismos. Para ello se utilizó en primer lugar el registro de los materiales extraídos por el PROAS, entre los años 1998 y 2005. Al número de registro de estos artefactos le fue agregada la sigla "INA". Luego se incorporaron los artefactos que, habiendo sido extraídos en años anteriores a los mencionados, contaban con algún tipo de identificación. Ésta, de tipo alfanumérica, había sido provista en aquel momento por el Museo Brozoski, por lo cual se le antepuso a dicha identificación las letras "MB". Luego fueron incorporados al inventario todos aquellos artefactos de los cuales no se contaba con registros pero que pudieron ser individualizados, ya sea en el depósito del museo o mediante fotografías.

La utilización de fotografías fue necesaria en varias oportunidades por dos motivos. Por un lado, debido a que -por diversas razones- la observación directa a los materiales no siempre fue posible. Por otro lado, algunos de los artefactos extraídos durante las primeras intervenciones en el sitio, si bien se pudieron observar directamente, habían sufrido diversos grados de deterioro, por lo que hubo de recurrirse a fotografías que se les habían tomado un tiempo atrás para poder evaluar su estado original. Por último, se sumaron al inventario todos aquellos artefactos que fueron extraídos en forma temporal por el PROAS y luego fueron regresados al sitio, razón por la cual no se les había asignado número de registro. Tanto en este último caso como en anterior, a los fines del presente trabajo, le fue asignado en forma provisoria a cada uno de estos artefactos un número elegido en forma arbitraria precedido por las letras "NP".

A partir de este inventario se confeccionó una tabla (Anexo 1) registrando en cada caso la siguiente información:

- Colector

Se refiere al grupo de trabajo que fue responsable de la extracción del artefacto, identificado por sus siglas. Las mismas se indican a continuación. Se señala aquí también el período durante el cual se realizaron las extracciones:

- **CBYR** (Comisión de Búsqueda y Rescate, Puerto Deseado)
Período: desde 1982 hasta 1986¹.
- **ICOMOS** (Grupo de Patrimonio Subacuático, ICOMOS Argentina)
Período: año 1989.
- **PROAS** (Programa de Arqueología Subacuática, INAPL)
Período: desde 1998 hasta 2005 inclusive.

- N° de identificación

De acuerdo a lo que se explicó más arriba.

- Descripción

Se describe a cada artefacto siguiendo un criterio funcional, en aquellos casos en que esto pudo ser determinado.

- Actividad de perforantes

- **Sí / No:** Se refiere a la presencia o ausencia de actividad de organismos perforantes, determinado en base a un examen visual macroscópico no intrusivo.
- **Indet.:** Cuando no fue posible determinar si el artefacto presentaba o no ataque de perforantes. Esto pudo deberse a que el artefacto no pudo ser observado (o al menos no adecuadamente), ya sea en forma directa o a través de fotografías, o bien, porque presentaba algún tipo de deterioro que impedía realizar una evaluación apropiada.

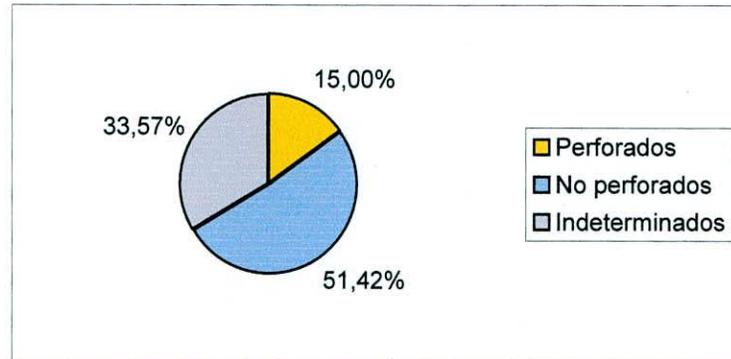
- Ubicación:

- **Cuadrícula:** señala la localización planimétrica en el sitio (ver Fig. 3.5).
- **Nivel:** indica si se trata de un hallazgo superficial (nivel 0), o si fue hallado en excavación (nivel 1 = -40 cm o nivel 2 = -80 cm). En el caso de que,

¹ Se desconoce hasta qué año la CBYR extrajo materiales del sitio. Es posible considerar como fecha máxima el año 1986, ya que en ese año se solicitó la intervención del ICOMOS en el sitio. Este pedido estuvo motivado principalmente por el hecho de que los materiales que se habían rescatado hasta aquel momento estaban sufriendo un deterioro irreversible. Por esta razón se había suspendido la extracción de materiales (C. Murray com. pers.).

por sus características formales o por su disposición, la ubicación de un artefacto abarcara más de un nivel fue registrado el nivel inferior, es decir, aquel sobre el cual yacía el mismo.

A partir de la información registrada en la tabla del Anexo 1, podemos resumir los valores referidos al porcentaje de artefactos con evidencia exterior de ataque del siguiente modo (Tabla 8.2):



	CANTIDAD	PORCENTAJE
Total de artefactos de madera	140	100%
Artefactos con evidencia exterior de ataque	21	15,00%
Artefactos sin evidencia exterior de ataque	72	51,42%
Indeterminados	47	33,57%

Tabla 8.2. Distribución porcentual de artefactos perforados, no perforados e indeterminados.

El relevamiento de los artefactos indicó que en todos aquellos en los cuales hubo ataque de perforantes, éste se debía a la actividad de moluscos. En todos los casos, excepto uno, la morfología de las galerías observadas correspondía al tipo de orificios causados por organismos de la familia Teredinidae. El fragmento indeterminado NP33, en cambio, presentaba el tipo de perforación que suelen realizar los moluscos de la familia Pholadidae (Fig. 8.5).

Las dimensiones de las galerías realizadas por teredínidos presentaban en general un diámetro mínimo de 0,4 cm y máximo de 1,5 cm. Si bien se registraron túneles de más de 2 cm de diámetro, se trataba de artefactos que habían sufrido gran erosión, por lo tanto, es probable que el diámetro original haya sido mucho menor. Para estimar el largo de las perforaciones se introdujo un cable flexible por los orificios que estaban expuestos. De este modo fue posible seguir el recorrido y forma de algunos de los túneles, observando que éstos podían llegar a tener más de 20 cm de longitud (Fig. 8.6). En algunos artefactos pudo ser observada la densidad que alcanzaban las galerías en una misma madera (Fig. 8.7).



Figura 8.5. Madera perforada por un Pholadídeo.

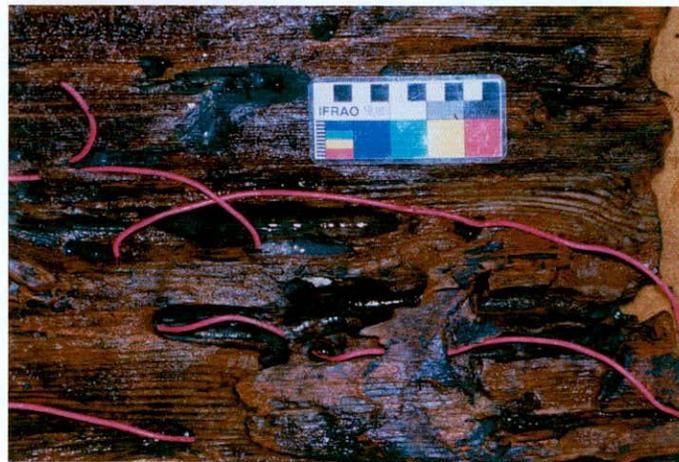


Figura 8.6. Recorrido las galerías realizadas por teredínidos en una tapa de escotilla (INA 144).



Figura 8.7. Madero que formaba parte de un enjaretado, fragmentado por las galerías producidas por teredínidos. En algunas de ellas aún puede observarse el recubrimiento blanquecino de carbonato de calcio (INA 184).

Si bien no se hallaron ejemplares completos de moluscos perforantes -con o sin vida-, fue posible encontrar algunos componentes calcáreos de los mismos. Estos consistían en valvas y paletas pertenecientes a teredínidos. En cuanto a las valvas, fueron encontrados dos pares, en ambos casos en el interior de túneles que habían producido los perforantes (NP 24 e INA 167). Las paletas fueron halladas también en asociación con uno de los artefactos atacados (NP 27). Aunque se encontraban parcialmente fragmentadas, en base al análisis de su estructura anatómica pudo determinarse que pertenecían a la especie *Bankia martensi* (R. Bastida com. pers.) también llamada *Bankia odhneri* o *Bankia argentinica*, si bien constituyen actualmente la sinonimia de la primera (Bastida y Torti 1972a) (Fig. 8.8).

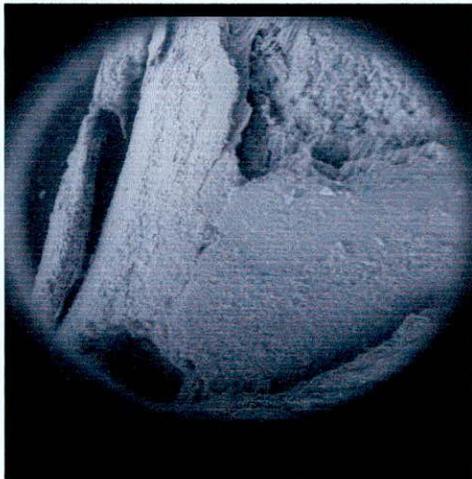


Figura 8.8. Imagen de MEB de una paleta fragmentada de *Bankia martensi* encontrada en el sitio Swift (65x).

En lo que respecta a la distribución de los materiales atacados por perforantes en el sitio, tal como se indica en la tabla del Anexo 1, fueron encontrados tanto en superficie como en ambos niveles de la excavación. En la Figura 8.9 se muestra la distribución planimétrica de los artefactos de madera para los cuales se contaba con información precisa relativa a su proveniencia en el sitio. Se incluyeron aquí los hallazgos de superficie y los de excavación. De acuerdo a la información proveniente de la mencionada tabla, esto comprende prácticamente el total de las extracciones realizadas por el ICOMOS y por el PROAS, es decir, desde el año 1989 a 2005. Mientras que los artefactos que aparecen ploteados en este plano constituyen el 42,14% (55 de 140 artefactos) de todos los registrados en la mencionada tabla, en ese porcentaje está incluido el 71,42% de los artefactos que fueron atacados por perforantes.

En cuanto a la cronología del ataque de perforantes en el sitio, se pueden realizar dos observaciones. Una de ellas surge al considerar la ubicación que tenían los materiales atacados en el contexto sistémico. Tal como puede verse en la Tabla 8.3, más del 50% del total de artefactos perforados no estaba en contacto con el agua mientras el barco se encontraba navegando. Esto significa que sólo pudieron ser atacados una vez que el barco naufragó. La otra observación se refiere al hecho de que cuando se iniciaron las extracciones de artefactos del sitio en la década del '80, al menos algunos de ellos ya se encontraban atacados por perforantes (MB 1-3 y MB sd-12).

UBICACIÓN EN EL CONTEXTO SISTÉMICO	CANTIDAD	PORCENTAJE
Elementos que no se encontraban en contacto con el agua mientras el barco navegaba	12	57,15 %
Elementos que se encontraban en contacto con el agua mientras el barco navegaba	0	0 %
Indeterminados	9	42,85 %
Total	21	100 %

Tabla 8.3. Distribución de los materiales atacados por perforantes en relación a su ubicación en el contexto sistémico.

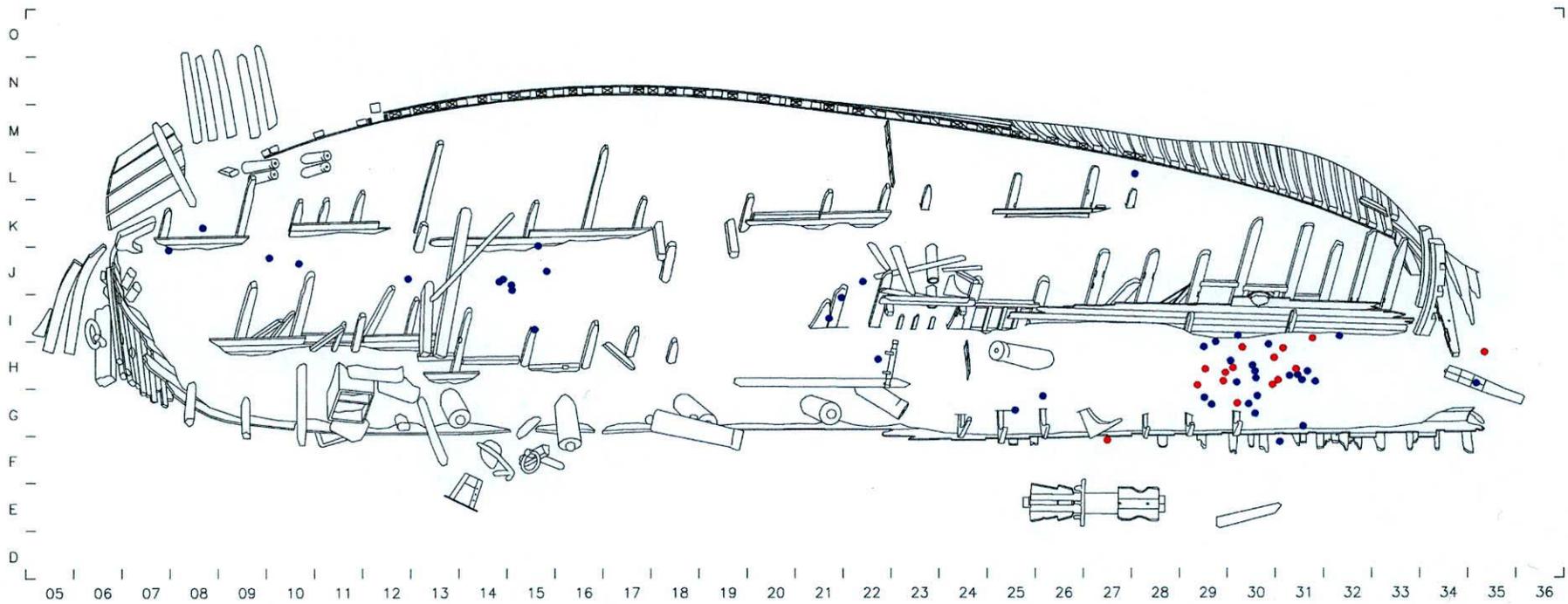


Figura 8.9. Los puntos de color indican la distribución de los artefactos de madera del sitio Swift, registrados en la tabla del Anexo 1, para los cuales se cuenta con datos de su proveniencia. Los puntos rojos señalan los artefactos que presentan evidencia exterior del ataque de perforantes. En color azul se indican los artefactos en los que no se registra evidencia exterior de ataque así como también aquellos casos en los que no fue posible determinarlo (C. Murray).

8.2. ESTUDIO EXPERIMENTAL CON SISTEMAS COLECTORES

8.2.1. Evolución de las comunidades incrustantes

- Paneles semestrales: Marzo 2001 - Septiembre 2001 (otoño - invierno)

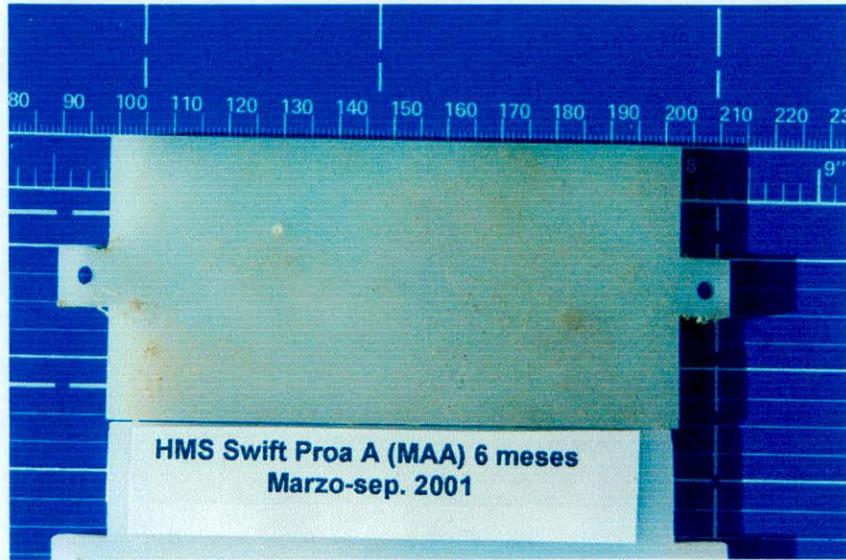
Los paneles de acrílico (Fig. 8.10 a, b, c y d) muestran algunas diferencias entre aquellos de proa y popa. Los paneles de proa poseen un *film* inicial de muy poco espesor, totalmente traslúcido y con bajos valores de biomasa (ver en la sección siguiente Tabla 8.5). El mismo está principalmente constituido por bacterias y organismos unicelulares y pluricelulares microscópicos, como diatomeas, cianofitas, foraminíferos, y ciliados sésiles, como en el caso de los foliculínidos. Sobre el *biofilm* ya aparecen diversas especies del *macrofouling* en sus etapas iniciales de colonización, como algas superiores, poliquetos Spirorbidae, tubos de crustáceos anfípodos y tunicados del género *Paramolgula*. La densidad de ellos es muy baja. Entre el panel A y B se observan diferencias menores en biomasa y densidad de organismos.

Los paneles de popa muestran un *film* inicial de mayor espesor que los de proa y que en algunos sectores llega a ocultar el sustrato original. Presentan también una biomasa y una diversidad específica superior, ya que a los componentes del *macrofouling* citados anteriormente se agregan colonias de hidozoos, crustáceos copépodos y briozoos incrustantes. Todos los organismos citados del *macrofouling* son- en popa- de mayor tamaño y se encuentran en mayor densidad que en proa.

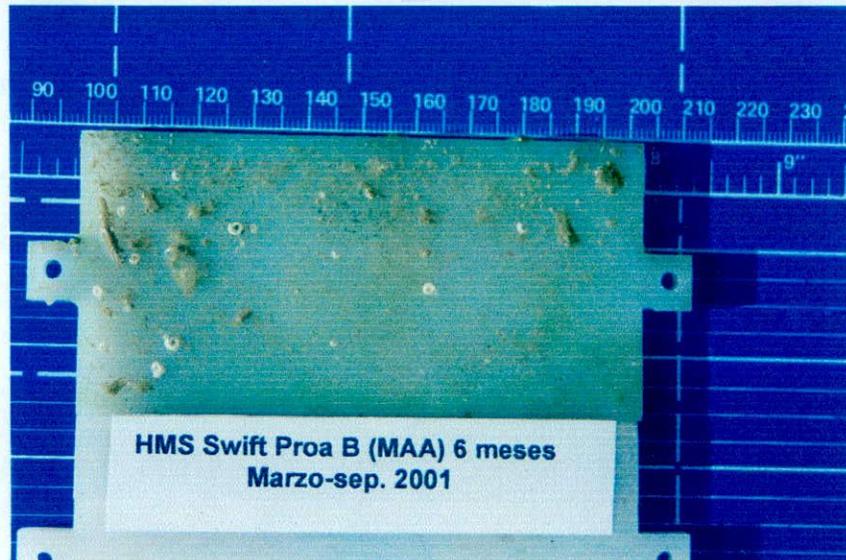
Los paneles de madera (Fig. 8.10 e, f, g y h), tanto de proa como de popa, muestran una mayor biomasa que los de acrílico (Tabla 8.5). Existen algunas diferencias menores entre los paneles de ambos sectores, si bien básicamente el *biofilm* está bastante desarrollado en ambos y tiene un espesor variable. En aquellos sectores de mayor espesor, éste oculta la superficie del sustrato experimental, mientras que en los sectores más delgados aun deja ver la superficie del panel de madera. El *biofilm* inicial está principalmente constituido por bacterias, organismos unicelulares y pluricelulares microscópicos como diatomeas, cianofitas, hongos, protozoos foraminíferos y ciliados sésiles como los foliculínidos. Aparecen especies del *macrofouling* en sus etapas iniciales de colonización, como algas superiores, colonias de hidozoos, poliquetos Spirorbidae, tubos de crustáceos anfípodos, crustáceos isópodos y copépodos, colonias de briozoos incrustantes y arborescentes, tunicados solitarios del género *Paramolgula* y tunicados coloniales del género *Botryllus*. En términos generales, los paneles de madera presentan una mayor diversidad y desarrollo de los organismos que los de acrílico.

Sobre los paneles de madera, una vez retirado el *biofouling*, se observan ciertos procesos de biodeterioro superficial, producidos principalmente por bacterias, hongos y protozoos foliculínidos. Estos últimos son incluso capaces de efectuar pequeñas perforaciones en la superficie de la madera o utilizar irregularidades naturales de la misma para adherirse y mantenerse protegidos.

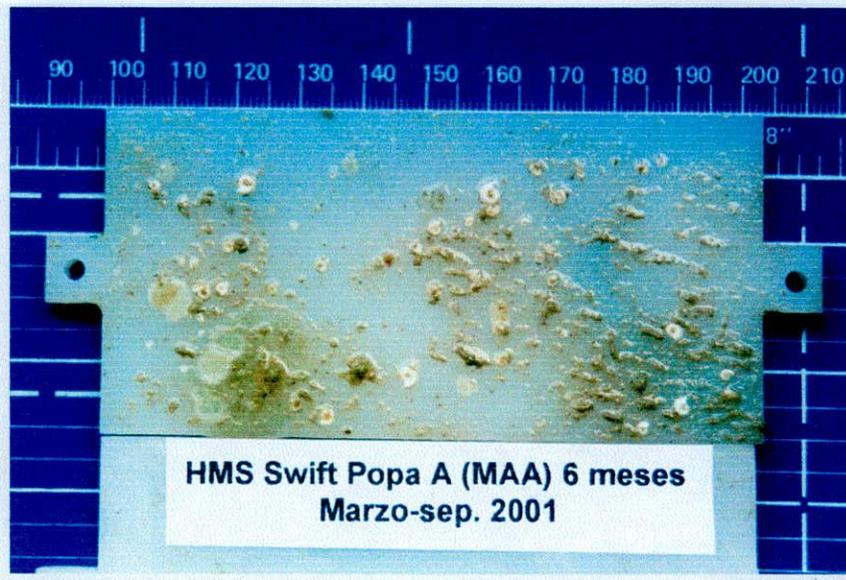
Figura 8.10. Paneles de acrílico y madera del período marzo 2001- septiembre 2001



a



b

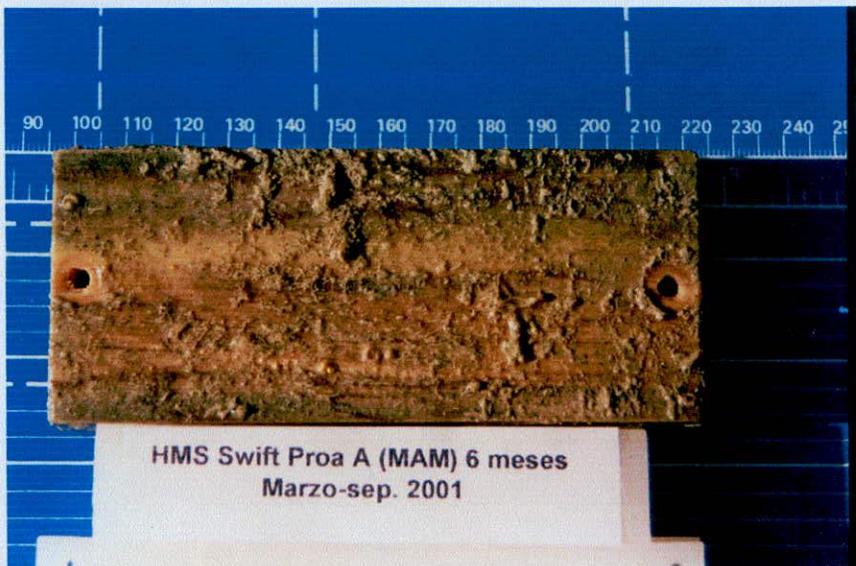


c



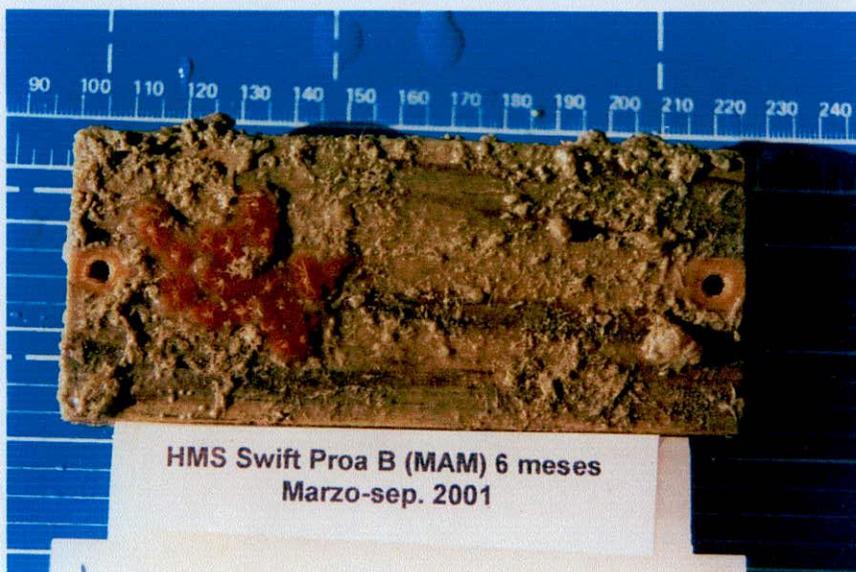
HMS Swift Popa B (MAA) 6 meses
Marzo-sep. 2001

d



HMS Swift Proa A (MAM) 6 meses
Marzo-sep. 2001

e



HMS Swift Proa B (MAM) 6 meses
Marzo-sep. 2001

f



- Paneles semestrales: Septiembre 2001 - Marzo 2002 (primavera - verano)

Los paneles de acrílico (Fig. 8.11 a, b, c y d) muestran grandes diferencias entre los ubicados en proa y en popa. Esta diferencia está dada fundamentalmente por sus valores de biomasa, la cual resulta superior en la zona de proa (Tabla 8.5). Todos los paneles de acrílico de este semestre han alcanzado una etapa de desarrollo comunitario mayor al del período invernal. El *film* inicial ha sido ya reemplazado mayormente por una comunidad de *macrofouling*.

En los paneles de proa se registra una alta biomasa, formando una comunidad dominada por tubos de crustáceos anfípodos del género *Corophium* de bastante espesor, por lo que cubre totalmente la superficie experimental. Forman parte de esta comunidad algunos poliquetos Spirorbidae, tunicados coloniales y algunos ejemplares de algas rodofitas. Sobre la superficie del panel aún persisten ejemplares de protozoos foliculínidos.

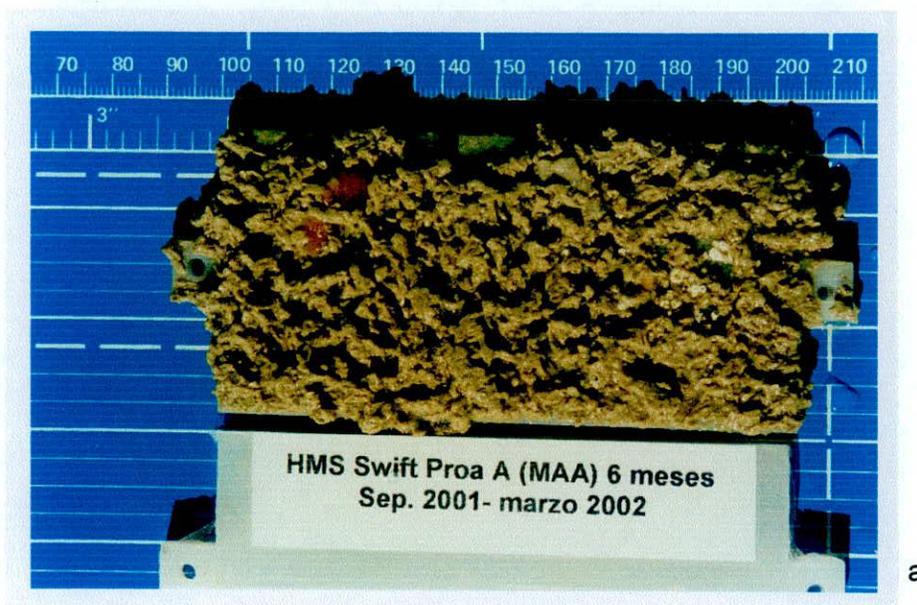
En los paneles de popa se observa una comunidad con una biomasa mucho menor que los de proa, dominada por poliquetos Spirorbidae de diversa talla y en alta densidad, que llegan a totalizar centenares de individuos. Los tubos de anfípodos del género *Corophium* se encuentran esparcidos en baja densidad, si bien es imposible definir si en períodos previos al muestreo pudieron encontrarse en mayor densidad, como se observa en los paneles de proa. Forman también parte de esta comunidad algunas colonias de briozoos incrustantes y arborescentes y también algunos ejemplares de algas rodfitas. Se observan también adheridos al sustrato y a los tubos calcáreos de los poliquetos Spirorbidae, protozoos foliculínidos, los que pueden constituir un remanente del *film* inicial, pero también podría tratarse de un segundo período de colonización.

Los paneles de madera (Fig. 8.11 e, f, g y h), correspondientes a proa muestran valores muy altos de biomasa y llamativamente coincidentes en el panel A y B (Tabla 8.5). La comunidad de proa está dominada por tubos del crustáceo anfípodo *Corophium*, que cubre totalmente el panel experimental al cual se agregan colonias de hidrozoos, Tunicados individuales y coloniales, poliquetos Spirorbidae, briozoos incrustantes y arborescentes. Se observan también ejemplares de algas rodfitas y clorofitas. Los tunicados adquieren en este semestre un gran desarrollo y están representados principalmente por los géneros *Paramolgula* y *Cnemidocarpa*.

Los paneles de popa presentan una menor biomasa, principalmente debido a la ausencia de la gruesa capa de tubos de anfípodos. Se ignora si estos organismos pudieron colonizar los paneles con anterioridad al muestreo y haberse desprendido en una etapa de su desarrollo.

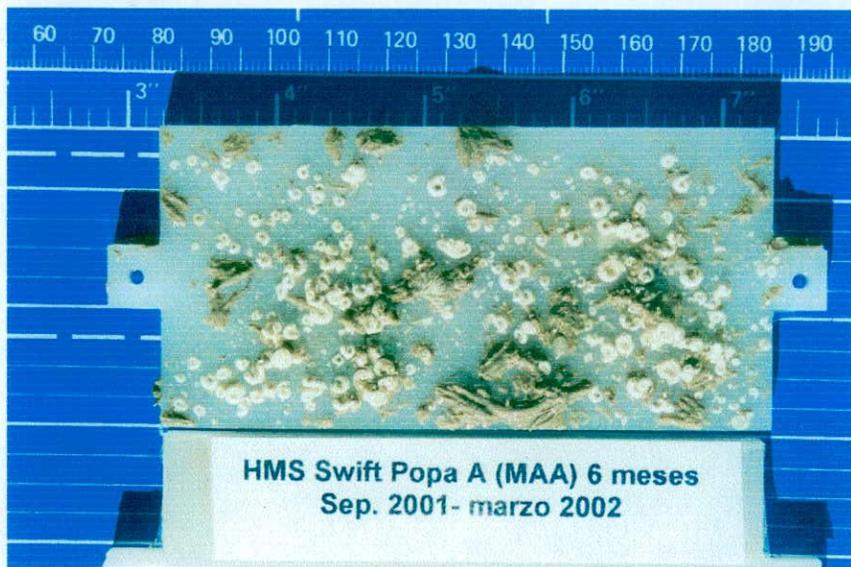
Los paneles de madera, luego de eliminar la capa de *biofouling*, muestran procesos de biodeterioro a nivel superficial como también fue observado durante el semestre invernal.

Figura 8.11. Paneles de acrílico y madera del período septiembre 2001- marzo 2002..

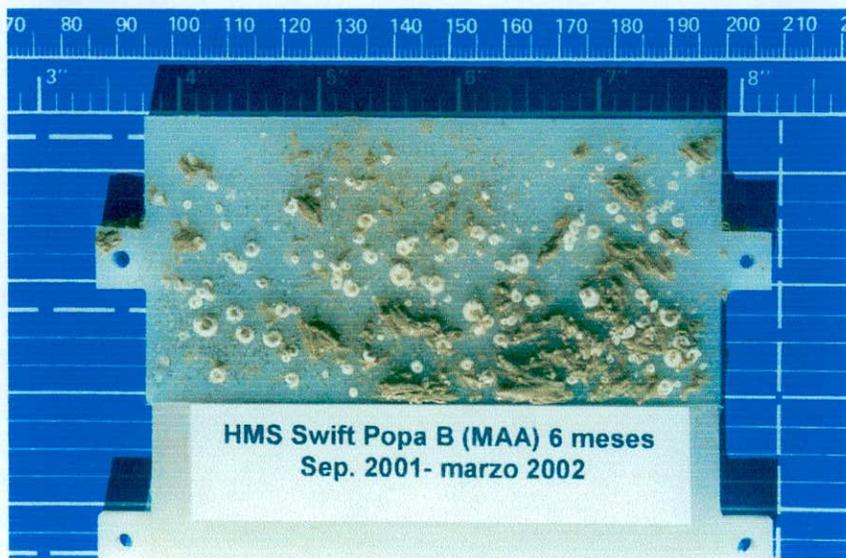




b



c



d



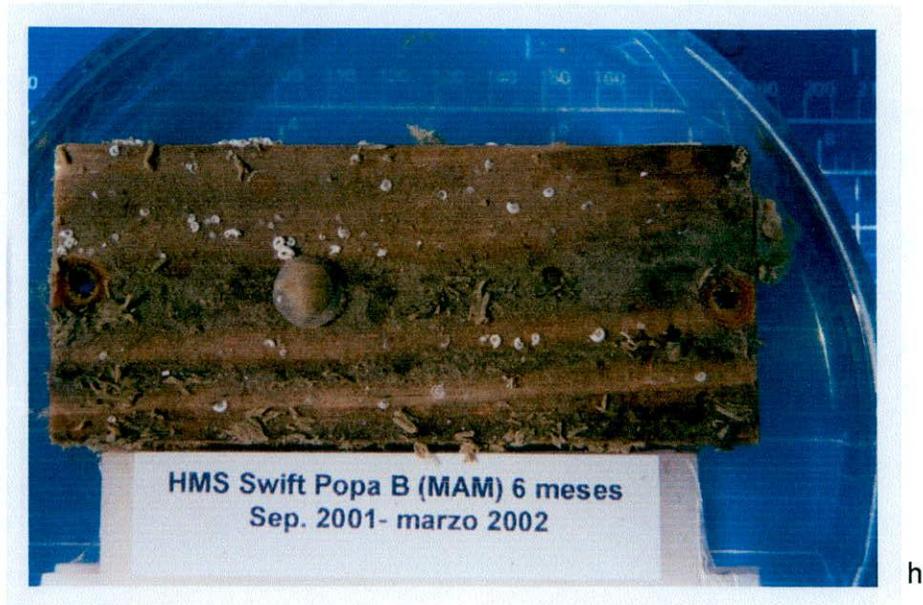
e



f



g

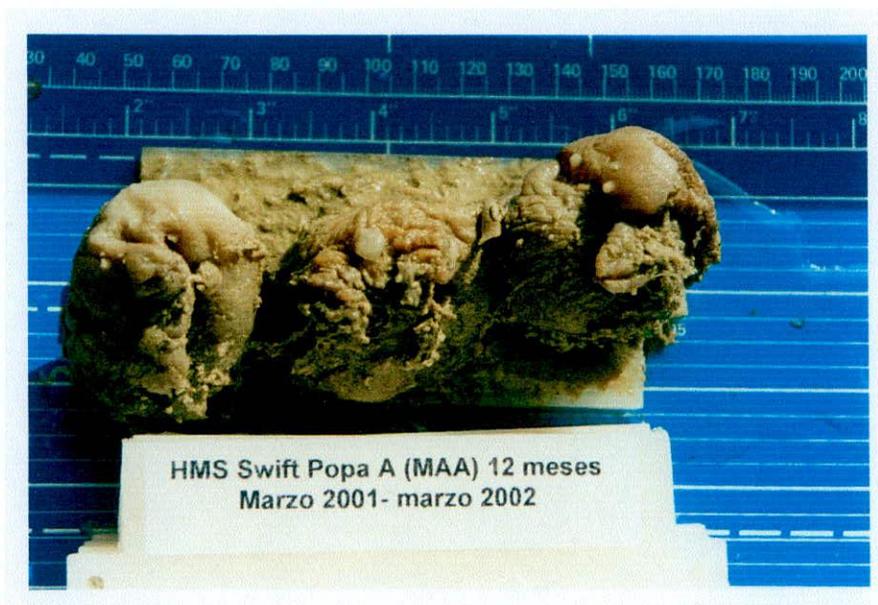


- Paneles anuales

Los paneles de acrílico y de madera de inmersión anual (Fig. 8.12 a y b) indican que su superficie no alcanza el concepto de "área mínima" requerida para comunidades con dicho grado de desarrollo. Pese a ello, han brindado interesante información, corroborando que la etapa clímax de la comunidad incrustante del sitio *Swift* corresponde a una dominancia de tunicados del género *Paramolgula* y *Cnemidocarpa*. Los mismos alcanzan valores de biomasa máximos en los paneles de madera y algo menores en aquellos de acrílico (Tabla 8.4). Esto está vinculado con las características de cada uno de los materiales, en relación a los mecanismos de adhesión de estos procordados marinos.

Figura 8.12. Paneles de acrílico y madera del período marzo 2001- marzo 2002.





b

Determinación de biomasa

La biomasa fue calculada exclusivamente en los paneles que permanecieron sumergidos por períodos de seis meses, tanto los correspondientes al período otoño - invierno, como primavera - verano. En cuanto a los paneles anuales, tal como se ha señalado en el punto anterior, por su tamaño no se adaptan bien para períodos de inmersiones prolongadas. Esto se debe a la gran talla que alcanzan algunas especies, como el caso de los tunicados solitarios, lo cual también favorece procesos de desprendimiento. Por lo tanto, los paneles anuales sólo fueron tenidos en cuenta para determinar la biomasa máxima que pueden alcanzar (Tabla 8.4).

De acuerdo a lo que se explicó en el capítulo anterior, para el cálculo de biomasa se aplicó el método volumétrico. Los datos obtenidos para cada uno de los períodos considerados fueron incluidos en una pequeña matriz (Tabla 8.5) y luego fueron procesados aplicando test paramétricos y no paramétricos, según el número de muestras a comparar. Para ello se emplearon las diversas alternativas estadísticas que permite el programa *Statistica*; StatSoft, Inc. (1999). A fin de testear la homogeneidad de varianzas se aplicó el test de Levene del mencionado programa, como paso preliminar para la elección del test más adecuado a aplicar. A través de los mismos interesó comparar para cada uno de los períodos considerados similitudes y diferencias entre: la biomasa y el área en donde se ubicaron los paneles experimentales (proa y popa), y la biomasa y los materiales empleados como sustrato experimental (acrílico y madera). Por último se realizaron comparaciones entre ambos períodos.

MEDICIÓN VOLUMÉTRICA - 12 meses			
Ubicación	Material	Muestra	Biomasa (volumen en ml)
Proa	madera	A	385,00
Popa	acrílico	A	155,00

Tabla 8.4. Biomasa máxima alcanzada en paneles que permanecieron inmersos durante un año.

MEDICIÓN VOLUMÉTRICA - 6 meses				
Ubicación	Material	Muestra	Biomasa (volumen en ml)	
			Marzo 2001 - Septiembre 2001	Septiembre 2001- Marzo 2002
Proa	acrílico	A	1,20	27,50
Proa	acrílico	B	1,60	37,00
Proa	madera	A	4,85	59,00
Proa	madera	B	5,50	59,00
Popa	acrílico	A	3,00	3,20
Popa	acrílico	B	2,10	3,50
Popa	madera	A	2,10	9,00
Popa	madera	B	5,70	15,00

Tabla 8.5. Biomasa alcanzada en los paneles semestrales en los períodos otoño - invierno / primavera - verano.

Paneles Semestrales: Marzo 2001- Septiembre 2001

a) Biomasa vs. ubicación en el sitio:

Ubicación	media	n	ds	mínimo	máximo
Proa	3,28	4	2,20	1,20	5,50
Popa	3,22	4	1,70	2,10	5,70
Ambos grupos	3,26	8	1,82	1,20	5,70

En función de que el test de Levene arrojó un P mayor a 0,05 se pudo realizar un test de t para verificar diferencias entre las medias (ver Anexo 2). Los resultados del mismo indican que no se observan diferencias significativas entre la ubicación de la muestra en el barco y la biomasa existente.

b) Biomasa vs. materiales:

Material	media	n	ds	mínimo	máximo
Acrílico	1,97	4	0,78	1,20	3,00
Madera	4,54	4	1,67	2,10	5,70
Ambos grupos	3,26	8	1,82	1,20	5,70

En este caso también se aplicó el test de t (ver Anexo 2). Los resultados indican que existen diferencias significativas entre la biomasa y los sustratos materiales en donde se encontraba la muestra (Fig. 8.13).

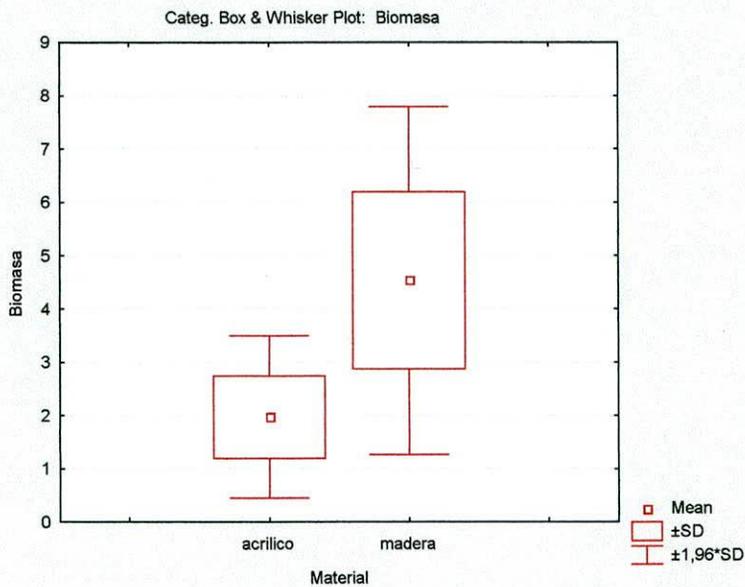


Figura 8.13. Relación biomasa / materiales en los paneles semestrales del período marzo 2001- septiembre 2001.

Paneles Semestrales: Septiembre 2001 - Marzo 2002

a) Biomasa vs. ubicación en el sitio:

Ubicación	media	n	ds	mínimo	máximo
Proa	46,62	4	15,92	27,50	59,00
Popa	7,67	4	5,56	3,20	15,00
Ambos grupos	26,65	8	2,09	3,20	59,00

En este período se observaron diferencias significativas estadísticamente (ver Anexo 2) entre la ubicación de la muestra en el barco y la biomasa existente (Fig. 8.14).

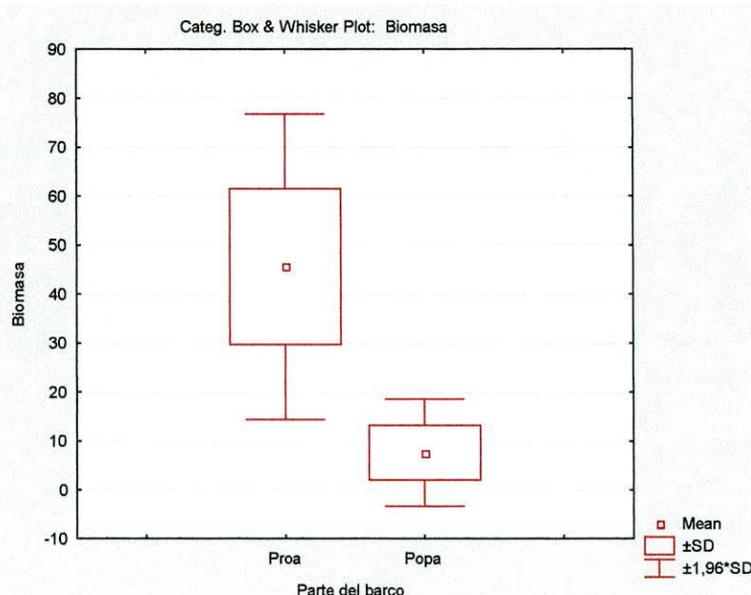


Figura 8.14. Relación biomasa / ubicación en el sitio en los paneles semestrales del período septiembre 2001 - marzo 2002.

b) Biomasa vs. materiales:

Material	media	n	ds	mínimo	máximo
Acrílico	17,80	4	17,13	3,20	37,00
Madera	35,50	4	27,24	9,00	59,00
Ambos grupos	26,65	8	23,09	3,20	59,00

En este caso, de acuerdo a la distribución de los valores de biomasa y al bajo n de las muestras ningún test se adaptó adecuadamente. Sin embargo, a partir de la observación de los datos, observamos claramente que el desarrollo de la biomasa en los paneles de madera duplica el de los de acrílico.

Ambos períodos

a) Biomasa vs. período del año:

Material	media	n	ds	mínimo	máximo
Otoño-invierno	3,25	8	1,82	1,20	5,70
Primavera-verano	26,65	8	23,09	3,20	59,00
Ambos grupos	14,95	16	19,91	1,20	59,00

La comparación estadística de la biomasa entre ambos períodos (ver Anexo 2) muestra que existen diferencias significativas entre ellos (Fig. 8.15).

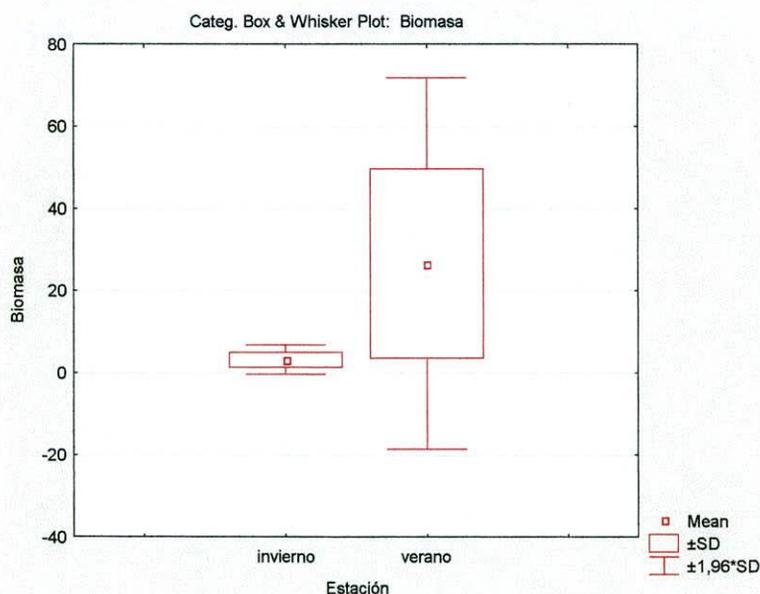


Figura 8.15.
Relación biomasa /
período del año.

b) Biomasa vs. materiales:

Material	media	n	ds	mínimo	máximo
Acrílico	9,88	8	14,05	1,20	37,00
Madera	20,01	8	24,35	2,10	59,00
Ambos grupos	14,95	16	19,91	1,20	59,00

En este caso también se observa que ningún test se adaptó adecuadamente. A partir de los valores absolutos, podemos ver, sin embargo, que el desarrollo de la biomasa en la madera duplica el de acrílico.

Cabe señalar, finalmente, que no se han presentado aquí test comparativos de materiales en proa, por un lado, y en popa, por otro, para ninguno de los períodos considerados por el bajo número de muestras, ya que si bien se emplearon test no paramétricos en función a tales características, los resultados plantearon ciertas dudas.

8.2.2. Actividad de perforantes marinos

No se ha registrado actividad de perforantes marinos en los paneles de madera de los sistemas colectores en ninguna de las etapas de muestreo. Tampoco se han encontrado en los paneles de madera compuestos por finas láminas.

8.3. RELEVAMIENTO DE FUENTES DE EVIDENCIA NO ARQUEOLÓGICAS

Se presentan aquí los resultados del relevamiento de sustratos no arqueológicos realizados con el objetivo de detectar actividad histórica o actual de perforantes.

a) Muelle Ramón:

Localizado en el Club Náutico Capitán Oneto. Es una de las pocas, sino la única construcción costera realizada en madera que existe en todo el estuario. Construido completamente en madera entre 1911 y 1912 (se desconoce la fecha exacta), con el tiempo se reemplazó su plataforma original por una de hormigón, por lo que actualmente sólo conserva sus casi centenarias bases -o pilotes- de madera. Debido a la amplitud de mareas de la ría, durante el reflujo quedan expuestos gran parte de los pilotes que durante la marea alta permanecen sumergidos bajo el agua, por lo que el relevamiento se realizó en dicho momento (Fig. 8.16).

Para la construcción de los pilotes fueron utilizados distintos tipos de madera, lo cual quedó evidenciado cuando en algunos de ellos se raspó la cobertura del *biofouling*. En ciertos casos quedó al descubierto una madera de color claro y en otros una de coloración rojiza, identificada como quebracho. El estado de conservación de todos ellos era en general muy bueno, particularmente en el caso de las maderas duras, tal como el quebracho. En algunos maderos existen ciertos indicios de deterioro

vinculados con las condiciones del medio ambiente en el que se encuentran (básicamente en lo que respecta a la erosión hídrica). En ninguno de los pilotes relevados se detectaron galerías realizadas por moluscos o crustáceos perforantes.

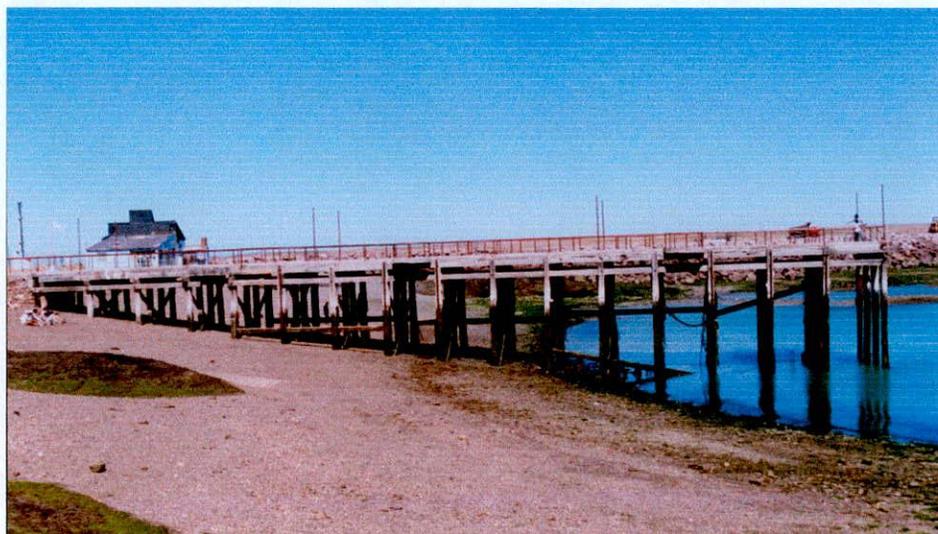
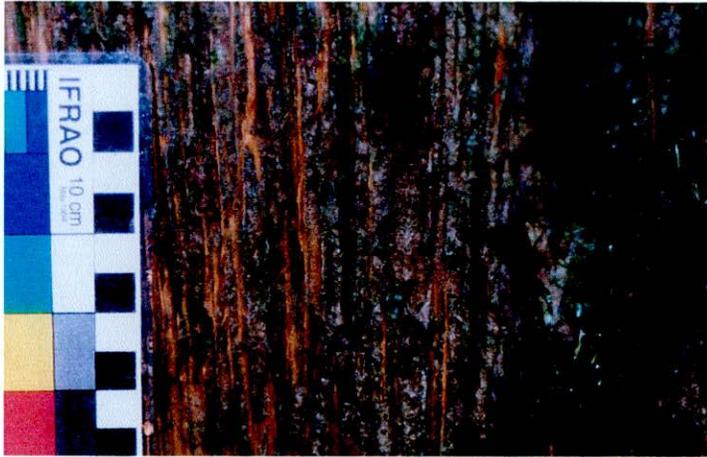


Figura 8.16. Vista del muelle Ramón, en el Club Náutico Capitan Oneto, con marea baja. En la parte superior de los pilotes se observa un cambio de color que indica el límite superior de las mareas más altas.

Si bien el relevamiento del muelle estaba orientado en un principio a la posible identificación del ataque de perforantes, fue posible realizar algunas observaciones relativas a la fijación de organismos. En el *biofouling* que caracteriza a los pilotes, a simple vista se destaca, por un lado, la presencia de algas verdes o clorofitas, las cuales se distribuyen en forma uniforme en todas las superficies. Como las clorofitas requieren más luz que otros grupos de algas, suelen encontrarse en niveles intermareales superiores con respecto a ellas. Por otro lado, se observan también colonias de moluscos bivalvos, mejillines *Perumytilus purpuratus* en la parte intermareal media y por debajo, y ya cercano a la línea de baja marea, el mejillón *Mytilus edulis chilensis*. Un examen más detallado permitió observar que bajo la cubierta de algas algunos maderos presentan ciertas acanaladuras en sentido longitudinal –correspondiente también a la veta de la madera– (Fig. 8.17). Pudo determinarse que las mismas estaban asociadas a la presencia de tubos blandos de material orgánico de grandes poliquetos tubícolas de la familia Onuphidae.

b) Embarcaciones de madera:

En las inmediaciones del muelle Ramón se localizaron tres embarcaciones de madera de pequeñas dimensiones (alrededor de unos 7 m de eslora). Debido a que se encontraban sobre la costa, su casco pudo ser examinado por completo. Al menos dos de ellas presentaban daños que evidenciaban cierta antigüedad, lo que indicaba claramente que hacía tiempo que no eran utilizadas para navegar. En los sectores dañados algunas maderas estaban quebradas, por lo que pudo examinarse el interior de las mismas. En ninguna de ellas se identificó evidencia de ataque de organismos perforantes.



*Figura 8.17.
Improntas dejadas
por poliquetos
tubícolas en los
pilotes del muelle
Ramón.*

c) Maderas a la deriva:

Se observaron especialmente las costas de playa, siguiendo la zona de "resaca" donde suelen acumularse la mayor cantidad de materiales depositados por el mar en su flujo ascendente. Excepto en las zonas de acantilados, también se visitaron aquellas costas rocosas a las que se pudo acceder con facilidad.

La frecuencia de hallazgos fue variable. Las mayores concentraciones se encontraron en Punta Cascajo y sus alrededores, disminuyendo notablemente hacia el Este. Esto se debe seguramente a las características de la costa, ya que Punta Cascajo constituye el extremo de una bahía (ver Fig. 3.1 B). Esto está vinculado además a la proximidad de la ciudad de Puerto Deseado, el único asentamiento humano a lo largo de toda la ría. Como consecuencia de su localización costera y debido a la intensa actividad vinculada al puerto, de allí proviene la mayor parte de las maderas que se encuentran a la deriva. En este sentido, debe considerarse además la exigua vegetación leñosa que caracteriza a la región, por lo que el aporte de maderas naturales es escaso.

Se encontraron pequeñas ramas de árboles y arbustos y también maderas procesadas por el hombre -con forma de tablas, varillas y tacos- o fragmentos de las mismas. Tanto las maderas de origen natural (ramas) como las de origen antrópico encontradas tenían en promedio entre 10 cm y 60 cm de largo, entre 2 cm y 15 cm de ancho, y un espesor no mayor a los 5 cm.

Todas las maderas encontradas a lo largo del recorrido fueron examinadas a fin de identificar si en ellas existía evidencia del ataque de perforantes marinos. En algunas de las ramas, se detectaron distintos tipos de galerías, pero en función de su morfología pudo determinarse que los organismos que las habían originado no eran marinos sino terrestres (probablemente insectos). En muchos casos, las maderas presentaban signos de desgaste característicos de inmersiones prolongadas. Los rasgos que denotan ésto son la pérdida de la textura superficial y el pulido de superficies y bordes a causa de la erosión hídrica y/o sedimentaria.

Del total de maderas examinadas sólo el 1% presentó evidencia del ataque de perforantes marinos. En la Figura 8.18 se muestra una de estas maderas. Se trata de una pieza que presenta un avanzado estado de erosión. Sus dimensiones máximas son de 27,5 cm de largo, 10 cm de ancho y 4,5 cm de espesor. La morfología de las perforaciones y el patrón de los túneles corresponde claramente al ataque de

perforantes marinos de la familia Teredinidae. Como puede verse en la imagen, los túneles también se encontraban bastante erosionados. El diámetro promedio de las mismas era de 1 cm a 1,5 cm, y se extendían prácticamente a lo largo de toda la pieza, presentando algunas interrupciones en sectores desgastados.



Figura 8.18. Madera atacada por perforantes encontrada en las prospecciones costeras.

9. DISCUSIÓN

9.1. PROCESOS DE BIODETERIORO EN EL SITIO SWIFT

A partir de los resultados obtenidos en el capítulo anterior, se discuten a continuación aspectos relacionados a los procesos de biodeterioro en el sitio *Swift* vinculados con los organismos incrustantes o *biofouling* y los organismos perforantes de madera.

9.1.1. Propiedades del *biofouling*

Las observaciones realizadas en el sitio *Swift* contradicen preconceptos erróneos sobre la escasa actividad del *biofouling* en aguas frías, ya que éste se muestra abundante durante todo el año en el pecio. El relevamiento del *biofouling* que caracteriza al sitio ha demostrado tener una estructura comunitaria semejante a la que ya se había observado en otras comunidades bentónicas costeras de fondos rocosos del sur patagónico (Bastida 1973; Kühnemann 1971; Ringuelet *et al.* 1962).

La roca en la que encalló la *Swift* -a cuyo lado se extiende el pecio- (ver Fig. 3.4), probablemente actúa como proveedor de colonizadores de fondos duros. Sin embargo, el sitio en su conjunto presenta una menor diversidad taxonómica que las comunidades naturales bentónicas asociadas a sustratos rocosos (Elkin *et al.* 2006). Por ejemplo, es notable que no se observaron sobre la madera grandes concentraciones de bivalvos mitílidos (n. v. "mejillones", "cholgas", etc.) ni de crustáceos cirripedios (n. v. "dientes de perro"), organismos que son abundantes sobre las rocas costeras (Bastida *et al.* 2004). En el caso de los cirripedios su ausencia podría representar una gran ventaja para los sustratos arqueológicos ya que resultan ser organismos extremadamente agresivos debido a que su sistema de fijación produce un gran daño mecánico sobre los materiales (Bastida 1971: 232 y 234). Creemos, por consiguiente, que tanto la madera como otros sustratos artificiales que se encuentran en el sitio pueden ejercer cierto efecto selectivo en cuanto a la variedad taxonómica del *biofouling* (Elkin *et al.* 2006).

Ante este panorama, es interesante relacionar las variaciones en la biodiversidad con el desarrollo que alcanzan las comunidades incrustantes en los distintos tipos de sustratos. En función de lo que observamos en la Tabla 8.1, esto no sólo depende de las características de los materiales (tipo de materia prima y rasgos de su superficie) sino de las características formales y espaciales, es decir, las dimensiones de los artefactos y su ubicación. Por un lado, vemos que los sustratos con más diversidad de *biofouling* son los vidrios de superficie esmerilada y los metales ferrosos, ambos con desarrollos medios de biomasa. En ambos casos, los microrelieves que presentan ambos tipos de superficies permiten la fijación de una gran variedad de especies. Por otro lado, en los grandes restos estructurales de madera que sobresalen del volumen general del pecio vemos que si bien las comunidades presentan un nivel intermedio de

biodiversidad, son las que alcanzan un mayor espesor en su desarrollo y por ende mayor biomasa. Su alta densidad también puede restringir el asentamiento de otras especies que compiten por el sustrato. Se ha observado que las comunidades de tunicados logran asentarse y desarrollarse con mayor éxito en aquellos sustratos que se encuentran dispuestos en forma prácticamente vertical con respecto al fondo de la ría, oponiéndose al sentido de las corrientes principales del sitio vs aquellos que se encuentran en forma horizontal, ya que en ellos se deposita una cantidad de sedimento que los puede perjudicar. En los casos en que no están rodeados por otros restos, estas comunidades dominadas por tunicados no encuentran competencia espacial en su crecimiento.

Finalmente, el plomo, los vidrios lisos y los artefactos de madera de pequeño tamaño, presentan todos niveles bajos de biomasa, asociados a niveles bajos o medios de diversidad taxonómica. En estos casos pueden ser explicados por dos cuestiones principales; por un lado, las superficies lisas del plomo y del vidrio no serían lo suficientemente atractivas para el asentamiento de organismos, ya que aquellas especies que lo logran son en general de tamaño pequeño. Por otro lado, en general se trata de artefactos que se encuentran dispuestos en forma horizontal sobre el sustrato y son susceptibles de ser fácilmente cubiertos por el sedimento (por ejemplo, botellas de vidrio, motones y poleas de madera).

Paneles experimentales

La información resultante de la experimentación con sistemas colectores muestra un desarrollo variable con respecto al *biofouling* del sitio entre los paneles que permanecieron sumergidos durante los meses fríos (marzo 2001-septiembre 2001) y aquellos que lo hicieron durante los meses cálidos (septiembre 2001-marzo 2002). Debido a que parámetros ambientales que son fundamentales para el desarrollo de las comunidades incrustantes -tales como la salinidad y el oxígeno disuelto- permanecen constantes todo el año, podemos indicar que dichas variaciones están reguladas principalmente por la temperatura del agua, en función de sus efectos sobre los procesos reproductivos y de desarrollo larval de los organismos bentónicos.

Los paneles que permanecieron inmersos durante los seis meses cálidos del año muestran una mayor biomasa y una superior diversidad taxonómica que el resto, ya que los organismos incrementan notablemente su crecimiento en relación con los meses fríos del año (Tabla 8.5). En el primer caso, la biomasa alcanzó un volumen máximo de 59 ml (en un panel), mientras que en el segundo el máximo fue de 5,70 ml (ídem). La comparación entre los paneles de uno y otro período indica que, en promedio, en los meses cálidos el *biofouling* tiene un desarrollo de tres a diez veces mayor que en los meses fríos. Esto implica que los sustratos limpios que son sumergidos al inicio de la estación fría alcancen su etapa clímax en el transcurso de un año. No obstante, si la inmersión inicial tiene lugar al comienzo de la estación cálida (diciembre), es posible lograr dos estadios clímax dentro del mismo año (Elkin *et al.* 2006).

Luego de un año de inmersión no sólo se desarrollan altos valores de biomasa (entre 155 ml y 385 ml) (Tabla 8.4), sino que también la comunidad llega a tener un considerable espesor. Como puede verse en la Figura 9.1, algunas veces éste llega a ser mayor a 10 cm. En esto tienen un papel importante los procesos de epibiosis, es decir, la capacidad que tienen los organismos de fijarse a otros organismos, los cuales se acentúan ante la escasez de sustratos artificiales (Bastida 1971: 274). En este sentido debe recordarse que la base acrílica de los sistemas colectores estaba

cubierta con pintura tóxica *antifouling*, por lo que las comunidades sólo podían desarrollarse a partir de las pequeñas superficies de los paneles.



Figura 9.1. Desarrollo alcanzado por el biofouling luego de un año de inmersión.

La ubicación de los sistemas colectores experimentales en el sitio (proa / popa) no implicó variantes en las características del *biofouling* observado durante los meses fríos. No obstante, la comparación de los valores obtenidos en los meses cálidos indicó ciertas diferencias (Fig. 8.14). Los mayores valores registrados en los paneles de proa pueden estar vinculados a su proximidad con la roca que, tal como se señaló en el punto anterior, podría cumplir un rol como proveedor de organismos colonizantes de fondos duros.

En cuanto a la comparación entre biomasa y el tipo de material de los paneles, resulta claro que ésta es mayor en la madera que en el acrílico, tanto en los meses fríos como en los meses cálidos. Siendo un material orgánico, la madera parece ofrecer una superficie más favorable para la colonización que el acrílico, sobre todo en las primeras etapas del *biofouling* (ver, por ej., Fig. 9.2). Esto refuta la idea general que se tenía de que el acrílico ofrecía una mejor superficie de fijación que otros materiales (R. Bastida com. pers.). En vista de ello, y de que la madera es el material representado en mayor proporción en el sitio, sugerimos su uso en futuras experimentaciones.

En vista de las características del *biofouling* de Puerto Deseado, se puede concluir que el tamaño de paneles empleados es apropiado por períodos menores a seis o nueve meses (dependiendo de la estación del año en que se inicie la inmersión). Para períodos mayores de inmersión, se recomienda el uso de paneles de 30 cm por 30 cm, como mínimo (Bastida *et al.* 2003).

En base a los resultados obtenidos en este estudio, podemos indicar además que en general el *biofouling* de la Patagonia no es tan diferente, en términos de crecimiento y desarrollo (durante la estación cálida), al que ha sido registrado para áreas de aguas más templadas del norte de la Argentina (Elkin *et al.* 2006). La mayor variación se registra durante los meses fríos del año, donde la colonización y desarrollo es notablemente menor.

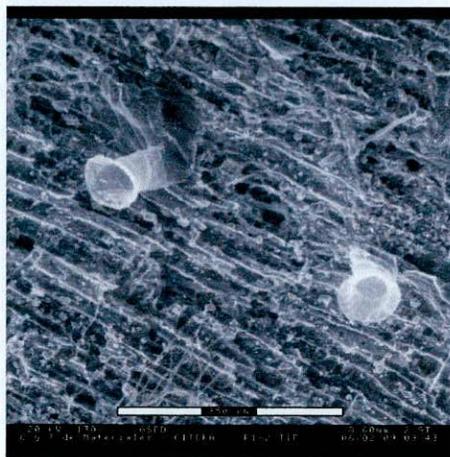


Figura 9.2. Imagen de MEB que muestra el modo en que los foliculínidos (protozoos) han "excavado" en la superficie de un panel de madera (130x).

Efectos sobre los materiales

Respecto al *macrofouling*, hemos visto que el desprendimiento de tunicados (n. v. "papas de mar") adheridos a artefactos o estructuras de madera produce la exfoliación superficial de dicho material. Por lo tanto, deben considerarse las consecuencias que esto puede tener cuando se trata de comunidades que han alcanzado su etapa clímax, en función del importante volumen y peso que pueden alcanzar las mismas. En este sentido, ciertas observaciones a pequeña escala se han realizado en el estudio experimental llevado a cabo en el sitio. Por ejemplo, en la Figura 9.3 podemos ver de qué modo se ha desarrollado el *biofouling* en la pequeña superficie de fijación de un panel de acrílico (10 cm por 5 cm). En este caso, al encontrarse deteriorados los tornillos con los que se sujetaba dicho panel a la base del sistema colector, el peso del *biofouling* provocó el desprendimiento de dicho panel. Por lo tanto, es probable que esto pueda producir un importante deterioro principalmente en las cuadernas y baos más expuestos que, como vimos, es donde se presentan los mayores desarrollos de biomasa. Además, a ello debe sumarse la acción de las fuertes corrientes de marea que caracterizan al sitio, lo que puede llegar a ejercer un importante daño mecánico en dichas estructuras. Es muy probable que las grandes algas laminares *Macrocystis pyrifera* que quedan enganchadas en las estructuras del pecio contribuyan a este proceso. Estas son frecuentemente desplazadas por las corrientes, y al quedar parcialmente atrapadas en los restos más expuestos ejercen tracción sobre ellos (Elkin *et al.* 2006).

En el sitio *Swift* hasta el momento no se han detectado otros organismos, además de los tunicados, que ejerzan efectos exfoliantes en la madera al desprenderse. Sin embargo, Thomson (1997: 124) ha señalado que la remoción intencional de poliquetos tubícolas *Sabella spallanzanii* en el pecio *Day Dawn* (Western Australia) provoca un efecto similar, aunque probablemente a menor escala. Si bien tampoco hemos

registrado este tipo de desprendimientos vinculados a otros materiales, creemos que esto podría suceder, en función del estado en que se encuentren cierto tipo de sustratos que podrían tornarlos proclives a este tipo de deterioro. Un ejemplo de ello son las botellas de vidrio cuya superficie exterior se encuentra escamada.

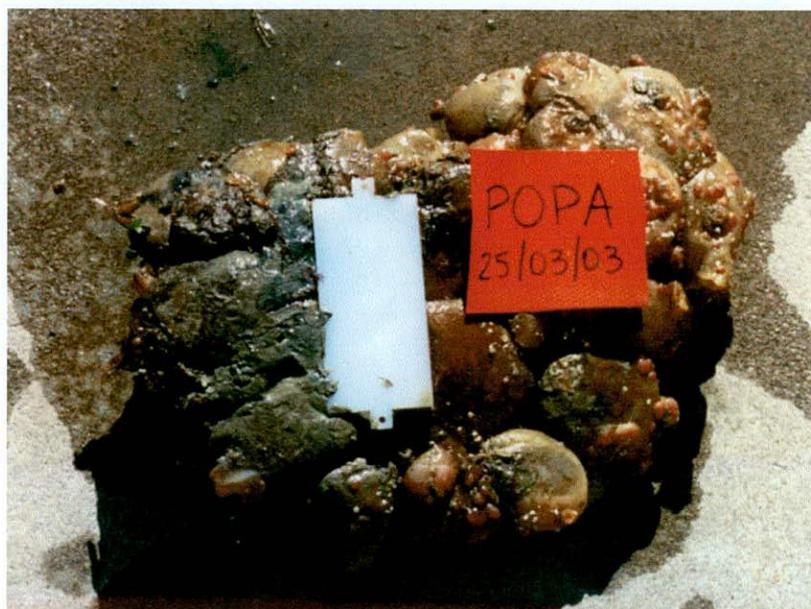


Figura 9.3. Reverso de un panel de acrílico desprendido de la base del sistema colector debido al peso alcanzado por el biofouling.

Es evidente que los materiales orgánicos como la madera también son más susceptibles de sufrir otras formas de deterioro físico; tal como vimos, uno de estos casos son las improntas que deja en la madera la presencia de poliquetos y otros organismos. Además, se ha señalado que las galerías deshabitadas de teredínidos suelen ser ocupadas por otros organismos, como poliquetos, decápodos, isópodos y pequeños moluscos (ver, por ej., Lopes dos Reis 1995: 155). La actividad de los mismos puede producir la abrasión de las paredes internas de estas galerías, aumentando de este modo el diámetro de las mismas (Fig. 9.4).



Figura 9.4. Este artefacto de madera (culata de mosquete INA 153) presenta una galería expuesta en la que se encontró un poliqueto tubícola. Debido a la profundidad que presenta la misma, es posible que originalmente se tratara de una galería de Teredínidos.

Si bien su estudio no forma parte del presente trabajo, es fundamental tener en cuenta el efecto biodeteriorante que ocasiona el *microfouling* en los materiales arqueológicos. Básicamente, se trata de que bacterias y hongos producen enzimas extracelulares que destruyen los materiales sobre los cuales crecen (Gregory 1998: 344). La mayoría de los investigadores que han estado trabajando en este tema se han preocupado principalmente sobre sus efectos en la madera (ver, por ej., Gregory 1998; Guthrie *et al.* 1994; Nilsson 1999), por lo que volveremos sobre este tema más adelante.

Adicionalmente, Gregory (1995: 65) señala que la colonización de *micro* y *macrofouling* pueden tener un rol importante en los procesos de corrosión. Entre sus consecuencias menciona: a) cambio en la tasa de reacciones anódicas y catódicas, b) cambio en la resistencia de la película metálica superficial debido al metabolismo o productos metabólicos, c) generación de metabolitos corrosivos tales como sulfuros o ácidos que llevan a la creación de un ambiente corrosivo, y d) la creación de una concentración electrolítica de células sobre superficies metálicas debido a la distribución irregular de colonias microbiales o "slimes" de polisacáridos extracelulares.

Hasta el momento se han mencionado aspectos del *biofouling* que tienen consecuencias negativas para los sustratos colonizados, pero es importante reconocer que su presencia en algunos casos puede tener consecuencias positivas para los mismos. Una de ellas es que la fijación de organismos puede proteger a los sustratos del deterioro causado por la erosión del agua y los sedimentos que ésta transporta (Jones 2003: 16; Thomson 1997: 123). Se ha señalado también, que cuando las comunidades de *fouling* cubren la madera suelen observarse bajas tasas de destrucción ocasionadas por parte de los organismos perforantes (limnóridos y teredínidos), ya que éste actúa como una barrera previniendo el asentamiento de larvas (Gareth Jones *et al.* 1972; Nair 1982; Nair y Saraswathy 1971; Pournou 1999; Pournou *et al.* 2001: 303. Jones (2003) indica, además, que el *biofouling* constituye una barrera física por lo que se ven reducidos los procesos químicos entre el agua y los materiales.

Por todo lo antedicho, es claro que el estudio de los efectos del *biofouling* en el sitio *Swift* está relacionado a procesos complejos y aún se encuentra en sus etapas iniciales. En función de las consecuencias arqueológicas que hemos expuesto hasta el momento, consideramos que la remoción del *biofouling* de los sitios arqueológicos nunca debe ser una tarea de rutina, sino una decisión que deberá ser analizada y evaluada en cada caso (Bastida *et al.* 2001).

9.1.2. Organismos perforantes

En la investigación de sitios de naufragio localizados en aguas templado-frías - como las que caracterizan las costas argentinas- se ha presupuesto muchas veces la ausencia de moluscos perforantes de madera. Precisamente, el sitio *Swift* era uno de estos casos. Se había afirmado que una de las razones de la buena conservación de los restos de madera del pecio se debía a que la temperatura de las aguas de la ría Deseado no era adecuada para el desarrollo de estos organismos (García Cano 1997: 47, 1999: 443). No obstante, al menos desde la década del '70, existen referencias sobre la presencia de dichos organismos en las costas de nuestro país (ver Bastida y Torti 1972a).

A partir de la confirmación de la actividad de estos moluscos perforantes en el sitio *Swift*, nos referiremos aquí a algunos aspectos vinculados a la identificación de las especies involucradas, el origen del ataque y su extensión temporal y espacial. A continuación se evaluarán las consecuencias de la actividad de estos organismos en el sitio.

Identificación de los organismos perforantes presentes en el sitio

Si bien hasta el momento se ha identificado una especie de Teredinidae en el sitio (*Bankia martensi*), esto no necesariamente significa que sea ésta la única responsable de las perforaciones observadas en los artefactos. En este punto debe tenerse en cuenta que, a menos de que se encuentren animales vivos, las paletas de estos organismos -únicas partes anatómicas que permiten realizar una determinación taxonómica específica- pueden ser muy difíciles de localizar. Como pueden llegar a medir sólo unos pocos milímetros, y además son extremadamente frágiles, si se encuentran sueltas pueden confundirse fácilmente con otros restos orgánicos e inorgánicos presentes en el agua o los sedimentos.

Las maderas atacadas que fueron encontradas durante las prospecciones en la costa norte de la ría confirman también la actividad de moluscos teredínidos. No obstante, en función del bajo número de hallazgos, y debido a que aparentaban haber permanecido durante mucho tiempo en el agua, no es posible estimar si su origen es local.

Los trabajos relativos a la ocurrencia de teredínidos en la Argentina datan de la década del '70 y, salvo algunas observaciones aisladas, no se han realizado estudios sistemáticos con posterioridad a esa fecha. De acuerdo con Bastida y Torti (1972a), se han identificado dos especies para nuestro país. Una de ellas es *Bankia martensi* -la especie identificada en la *Swift*-, la cual presenta una amplia distribución en la zona sur de Sudamérica. Estos autores señalan también que en la década del '30 se había registrado la presencia de esta especie en la provincia de Buenos Aires (habiendo sido denominada en aquel momento como *Bankia argentina*), así como también en Puerto Williams, en las islas Malvinas (con el nombre de *Bankia odhneri*). Sin embargo, en el caso de la última cita los autores manifiestan dudas acerca de que la localidad mencionada sea correcta. Otra de las citas mencionadas en el mismo trabajo refiere la ocurrencia de *Bankia martensi* en las costas argentinas en general. Aunque Gareth Jones *et al.* (1976) los refieren principalmente a aguas templadas, se han encontrado ejemplares en Punta Arenas y Chiloé, en el sur de Chile (Bastida y Torti *op. cit.*). El hallazgo de *Bankia martensi* en el sitio *Swift* constituye la primer cita sobre la presencia de perforantes marinos en la localidad de Puerto Deseado.

La otra especie de teredínido que Bastida y Torti (*op. cit.*) han citado para la Argentina es *Lyrodus pedicellatus*, la cual fue encontrada en la provincia de Buenos Aires (Mar del Plata) a principios de la década del '70. Aún siendo la única localidad en la que se ha registrado hasta el momento en nuestro país, es probable que también se encuentre en otros lugares de nuestras costas, ya que esta es una especie que presenta una amplia distribución mundial en aguas templadas (Gareth Jones *et al.* 1976). Además de las dos especies ya citadas, y teniendo en cuenta los escasos relevamientos realizados en nuestras costas, así como la gran cantidad de citas de Teredinidae para países vecinos, Bastida y Torti (1972a) creen que es posible la presencia de otras especies en nuestro litoral marítimo. Cabe destacar que en nuestro país se han registrado varios casos de ataques de "teredos", tanto en la provincia de Buenos Aires como en Tierra del Fuego, para las cuales no se ha podido determinar

las especies involucradas (Bastida y Torti *op. cit.*; Prosser Goodall 1978). Otras referencias respecto a la presencia de perforantes en nuestras costas indican que la Armada Argentina contaba con barcos barreminas cuyos cascos eran de madera. Estas embarcaciones tenían su asiento en la base militar de Puerto Belgrano (provincia de Buenos Aires), pero al menos una vez al año eran llevadas hacia aguas dulces debido "al problema del teredo" (J. Valladares com. pers.). A partir de nuestras propias observaciones en pecios históricos localizados en Puerto Madryn (Chubut), hemos encontrado maderos atacados por teredínidos, los cuales hasta el momento no han podido ser identificados. Estos mismos maderos estaban atacados también por crustáceos Limnóridos.

Volviendo al sitio *Swift*, resulta llamativo el hecho de que se haya registrado en un solo caso el ataque de moluscos perforantes de la familia Pholadidae. Para la Patagonia argentina, se ha citado dos especies de esta familia: *Pholas chiloensis* y *Bamea lamellosa*. Ambas, sin embargo, perforan circunstancialmente la madera y, además, no son tan agresivas como los teredínidos, lo cual podría explicar su baja representatividad en el conjunto de los materiales arqueológicos relevados. La morfología de las perforaciones observadas en la *Swift* podrían ser similares a las que se han observado para *B. lamellosa* (R. Bastida com. pers.), pero debido a que se trata de una pequeña madera fragmentada, no podemos ser concluyentes al respecto. Estas características, más la ausencia de datos relativos al origen de dicho fragmento, hacen que por el momento no podamos avanzar más en la evaluación de la actividad de estos organismos.

Consideramos relevante realizar aquí un comentario acerca de la ausencia de crustáceos perforantes en el sitio, así como también en los sustratos no arqueológicos relevados, en vista de que existen antecedentes de su presencia en nuestro país. Las especies identificadas son *Limnoria tripunctata*, en la provincia de Buenos Aires, y *Limnoria lignorum*, registrada en las islas Malvinas (Bastida y Torti 1972b). Si bien se ha indicado que esta última también fue hallada a principios del siglo XX en el muelle de Puerto Madryn (Bastida y Torti *op. cit.*), aunque el análisis posterior de dicho material demostró que se trataba de *L. tripunctata*, lo que constituye la cita más austral para esta especie hasta el momento (R. Bastida com. pers.).

Origen del ataque de teredínidos

El hecho de que se haya confirmado claramente que algunos artefactos no pudieron ser atacados hasta que el barco hubiera naufragado, no implica necesariamente que el ataque fue exclusivamente posdeposicional. Es posible también que la actividad de los Teredínidos en la *Swift* comenzara con anterioridad a dicho evento y que, luego del naufragio, continuaran el ataque en el sitio (ver Fig 9.5).

En el caso de que el ataque inicial del barco haya sucedido mientras éste se encontraba navegando, la colonización pudo haber ocurrido tanto en el puerto de origen en Inglaterra, como durante su viaje por el Atlántico, o bien, en las islas Malvinas o en algún punto del litoral patagónico argentino. De ser así, la zona "vulnerable" al ataque habría sido aquella parte de la obra viva del buque que se encontraba en contacto con el agua: parte de la quilla, el codaste y el tajamar, entre otros maderos que forman parte de la estructura del casco de la embarcación, así como también el recubrimiento de madera que cubría las tablas del forro. Tal como se explicó en el Capítulo 4, precisamente este recubrimiento cumplía la función de proteger el casco de los perforantes, oficiando como madera de "sacrificio".

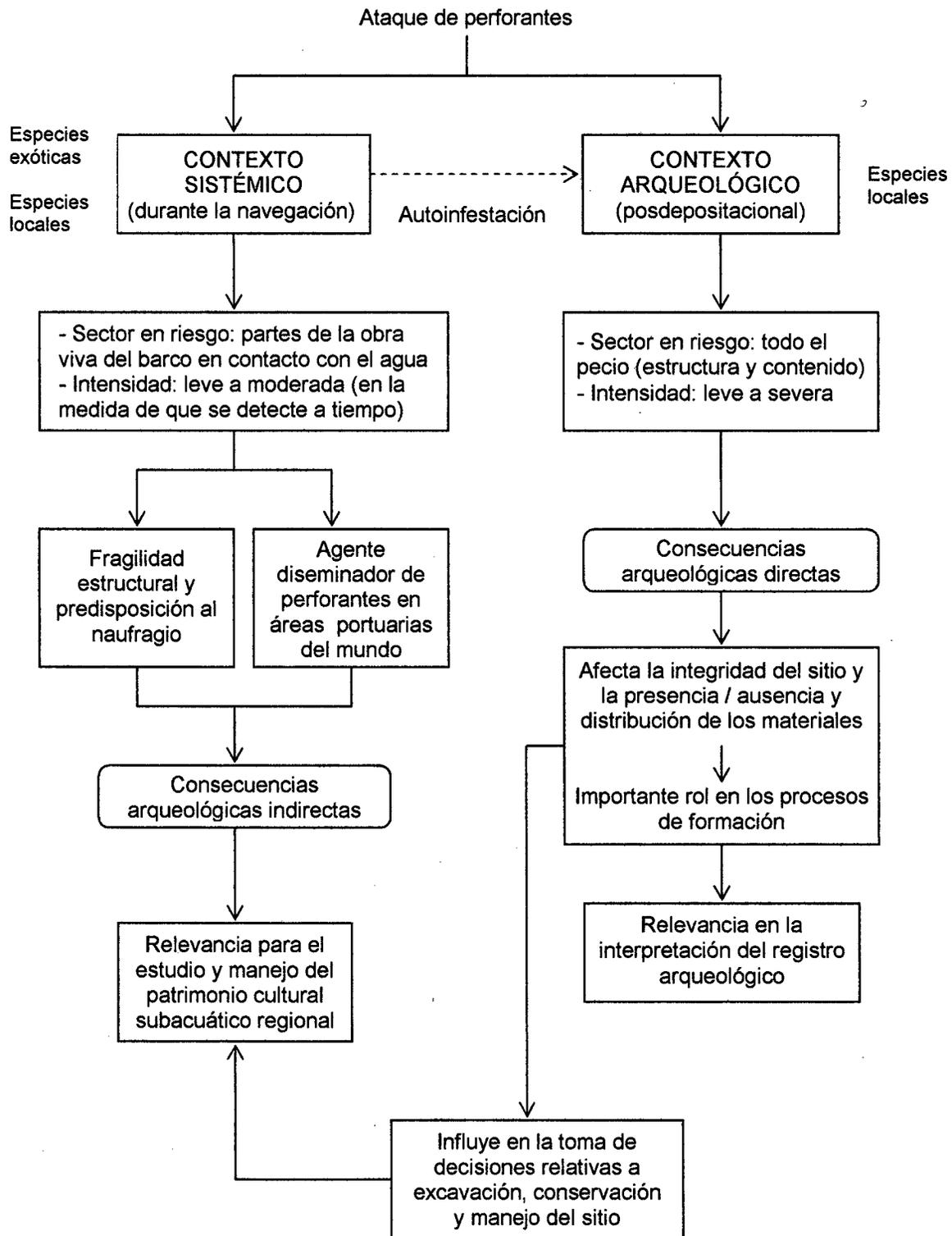


Figura 9.5. Alternativas posibles relativas al ataque inicial de perforantes a la Swift, y sus consecuencias arqueológicas.

Para varias de las zonas mencionadas por las que navegó la *Swift* en su último viaje existe algún tipo de registro de la presencia de moluscos perforantes, si bien las más tempranas para el Atlántico sur datan de principios del siglo XX (ver por ejemplo: Bastida y Torti 1972a; Calman 1919; Gareth Jones *et al.* 1972; Gareth Jones *et al.* 1976; Scheltema 1971). Diversos autores enfatizan que durante los viajes de exploración y descubrimiento europeo (entre los siglos XVI a XVIII) los barcos de madera tuvieron un rol fundamental en la propagación de algunas especies de aguas cálidas hacia zonas más templadas (Glasgow 1967; Staniforth 1985). Del mismo modo, Gareth Jones *et al.* (1972) consideran que la amplia distribución mundial que presenta *Teredo navalis* puede haber ocurrido durante aquella época, cuando los grandes centros de navegación estaban en el norte europeo, lugar en donde esta especie es el tipo de perforante más común.

En relación con lo anterior, algunos investigadores se han preguntado sobre la factibilidad de que el ataque de perforantes a embarcaciones de madera ocurra mientras se encuentra navegando tanto como cuando se encuentra en puerto. A partir de un estudio experimental realizado por el Laboratorio Marino de la Universidad de Miami, Smith (1956: 566) concluyó que los barcos de madera que pasan la mayor parte del tiempo navegando tenían menos posibilidades de ser atacados por perforantes que aquellos que se encontraban en puertos. Su afirmación estaba basada en los resultados obtenidos en un estudio experimental en el cual había observado el comportamiento de larvas de "teredos" en función a variaciones en la velocidad del flujo de agua en la cual se encontraban flotando. Sus observaciones lo llevaron a concluir que las larvas no podían asentarse en la madera a menos que la corriente de agua fuera menor de 1 ½ nudo aproximadamente (1 nudo = 1,85 km por hora). Lamentablemente no se cuenta con información relativa a la o las especies de perforantes con las que se ha realizado la experimentación ni tampoco con referencias a otras variables involucradas. Una embarcación a vela como la *Swift* podía alcanzar una velocidad de 12 nudos, no obstante, al depender por completo del viento para su desplazamiento, en la práctica es posible que en algún momento la velocidad disminuyera a menos de 1 nudo. De todos modos, al considerar estas cuestiones, además debe tenerse en cuenta que la presencia de larvas de perforantes en aguas abiertas es menos frecuente que la que ocurre en zonas más costeras (R. Bastida com. pers.).

En función a lo indicado anteriormente, en el sitio *Swift*, por lo tanto, no resulta fundamental determinar si el ataque de perforantes comenzó antes de su naufragio (Fig. 9.5). El tipo de materiales que podrían estar atacados en ese caso no afecta la integridad del sitio, por lo que los daños materiales producidos por el ataque de perforantes no son significativos arqueológicamente. Sin embargo, en un contexto más amplio -es decir, más allá de este sitio en particular- el ataque de perforantes a embarcaciones mientras se encontraban navegando podría tener cierta relevancia. Esta se relaciona, por un lado, con la posibilidad de que los perforantes hayan influido en alguna medida en la ocurrencia de naufragios (por ej., al alterar las condiciones marineras de los cascos). Por otro lado, con la posibilidad de que los barcos europeos que llegaron a nuestras costas hayan tenido un rol en la actual distribución de perforantes en esta área.

Llegados a este punto, tal como podemos ver en la Figura 10.1, es importante tratar de comprender las dimensiones del ataque posdeposicional en el sitio *Swift*, instancia en la que prácticamente todo resto de madera del pecio (incluyendo su contenido) es vulnerable al ataque. Resulta fundamental por lo tanto, el análisis de los distintos aspectos vinculados al mismo a fin de comprender las características del registro arqueológico ante el cual nos encontramos.

Dimensión temporal y espacial de los ataques

En cuanto a la distribución de artefactos perforados en el sitio, en la Figura 8.9 se encuentran señalados el 70% de los artefactos atacados, lo cual resulta ser un valor representativo de la distribución real. La concentración de artefactos en la zona de popa - babor se debe a que la misma corresponde al sector de excavación, por lo tanto, además de los artefactos localizados en superficie, incluye los encontrados en los niveles 1 y 2. El 30% restante son aquellos artefactos perforados para los que no se contaba con datos de su origen. Todos estos últimos fueron extraídos del sitio con anterioridad a 1986. Asumimos que se trata de hallazgos de superficie, ya que no se habían realizado excavaciones en aquel período.

En la medida de que los organismos perforantes no pueden penetrar en el sedimento para colonizar la madera, aquellos artefactos que se encontraron en excavación sólo pudieron ser atacados previamente a su enterramiento. En este sentido, debemos considerar que los artefactos atacados provenientes del nivel 2, se encontraban cubiertos por 80 cm de sedimento, lo cual nos está indicando cierta antigüedad en los ataques, aunque por el momento no podemos establecer ésta en términos absolutos. Para poder evaluar este punto en términos relativos, debería considerarse cuestiones tales como la ubicación de cada artefacto en el contexto sistémico, el proceso de colapso estructural del pecio, y la tasa de sedimentación en dicho lugar.

Se ha notado que en muchos de los artefactos perforados las galerías que han quedado expuestas han perdido el recubrimiento de carbonato de calcio. Esto es así tanto para los artefactos que se encontraron en superficie como para aquellos que se hallaron en excavación. Esto constituye otro indicador de la antigüedad de los ataques. Esta pérdida puede explicarse debido a la acidez del ambiente de depositación, que al estar compuesto por sedimentos con niveles bajos de oxígeno y altos contenidos de ácido sulfúrico destruye el carbonato (R. Bastida com. pers.). Otra explicación puede ser que la pérdida se deba a la erosión hídrica - sedimentaria a la que están expuestos los artefactos.

Aunque podamos afirmar con seguridad que los Teredínidos estuvieron en actividad entre la depositación del pecio (1770) y principios de la década del '80, por el momento no se sabe si se ha tratado de uno o varios episodios temporales, o si la misma continúa en el presente. Es significativo, en este sentido, que no se hayan registrado ataques en los paneles experimentales de madera que permanecieron instalados en el sitio durante dos años. Del mismo modo, tampoco se han registrado ataques recientes en los sustratos no arqueológicos relevados, esto es, las embarcaciones, maderas a la deriva y el muelle. En este sentido, los casi centenarios pilotes de madera del muelle local constituyen también una importante evidencia debido a su antigüedad histórica.

De todos modos, aún si el ataque ocurrió sólo en el pasado, esto indica que es posible entonces que pueda volver a suceder también en el futuro. Al respecto se ha señalado que la ocurrencia de perforantes en una zona puede responder a eventos cíclicos a lo largo del tiempo (R. Bastida com. pers.). Esto está relacionado, en principio, a los procesos de dispersión de estos organismos. Tal como se explicó en el punto 4.2.2, luego de la llegada de Teredínidos a una zona, es posible que las comunidades permanezcan sólo en forma temporal, o bien que logren adaptarse y permanezcan en forma continua. Mientras no haya cambios sustanciales en cuanto a la temperatura y salinidad del agua (y por supuesto, al contenido de oxígeno), así

como de sustratos adecuados para su asentamiento, continuarán reproduciéndose a lo largo del tiempo. Sin embargo, variaciones en las condiciones ambientales (además de las mencionadas, corrientes, polución, deficiencias nutritivas y competencias) pueden condicionar su presencia o ausencia.

Características de los artefactos atacados

En primer lugar debemos indicar que el porcentaje de artefactos para los cuales se detectó el ataque es significativo con respecto al total de artefactos relevados. En este sentido debe considerarse, por un lado, que en más de un 30% de los casos no pudo determinarse si había o no evidencias de ataque, y por otro lado, que sólo se han considerado los casos en que el ataque fue visible exteriormente. Por lo tanto, es muy probable que la proporción real de artefactos atacados sea bastante mayor a la registrada por nosotros.

En cuanto a las características de los materiales atacados, no existe un factor en común en lo que respecta a su forma, tamaño o el tipo de madera con el que están realizados. Se ha observado indistintamente el ataque de perforantes en artefactos de diversas dimensiones y características morfológicas. Del mismo modo, la intensidad del ataque tampoco está relacionada con las dimensiones del sustrato. Por un lado, mientras que encontramos artefactos de pequeño tamaño completamente colonizados (ver por ej., Fig. 8.7), se ha podido observar en diversas oportunidades en maderas de cerca de 1 cm de espesor que se habían excavado galerías cuyo diámetro tenía prácticamente las mismas dimensiones (Fig. 9.6). Por otro lado, se ha registrado que artefactos de mayor tamaño presentaban densidades menores. Tal como se ha indicado en el punto 4.2.2, el diámetro y largo de las galerías que observamos en los artefactos nos está indicando cuál es el tamaño alcanzado por estos organismos, en función del tipo de especie, la etapa de desarrollo en la que se encuentre, las condiciones ambientales y el espacio disponible en el sustrato. Haderlie (1983 en Eaton y Hale 1993: 290) ha demostrado claramente la relación entre crecimiento y disponibilidad de espacio dentro del sustrato mediante un estudio experimental realizado con ejemplares de *Bankia setacea*. En ciertos paneles de madera se cubrieron algunos de sus lados con un film plástico, a fin de limitar las superficies que pudieran ser colonizadas. Los ejemplares que lograron colonizar estos paneles registraron tasas de crecimiento promedio de 70 mm por mes. Otros paneles que no habían sido cubiertos fueron infectados con un mayor número de organismos, pero las galerías tenían un diámetro más pequeño y se observaba un crecimiento más lento, con un promedio de 43 mm por mes. Luego de tres meses, pocos animales continuaron creciendo, al tiempo que los paneles ya se encontraban más o menos destruidos.

Con respecto al tipo de madera, se ha comprobado la acción de los organismos perforantes tanto en maderas blandas, como por ejemplo pino (NP 16), como duras, en el caso del olmo (MB 1-3) (Fig. 9.7). Esto es coherente con lo que se ha notado en otras zonas de nuestro país en donde troncos de madera muy dura como la del quebracho fueron atacados sin inconvenientes (R. Bastida com. pers.). Del mismo modo, esto también coincide con las observaciones realizadas por otros investigadores, quienes afirman que en la elección del sustrato colonizado las distintas especies de madera no constituyen un factor determinante (Bastida y Torti 1972a; Nair y Saraswathy 1971; Santhakumaran 1970).

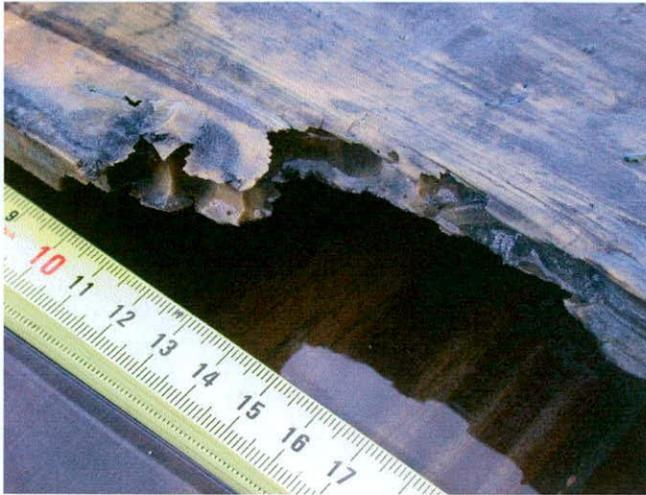
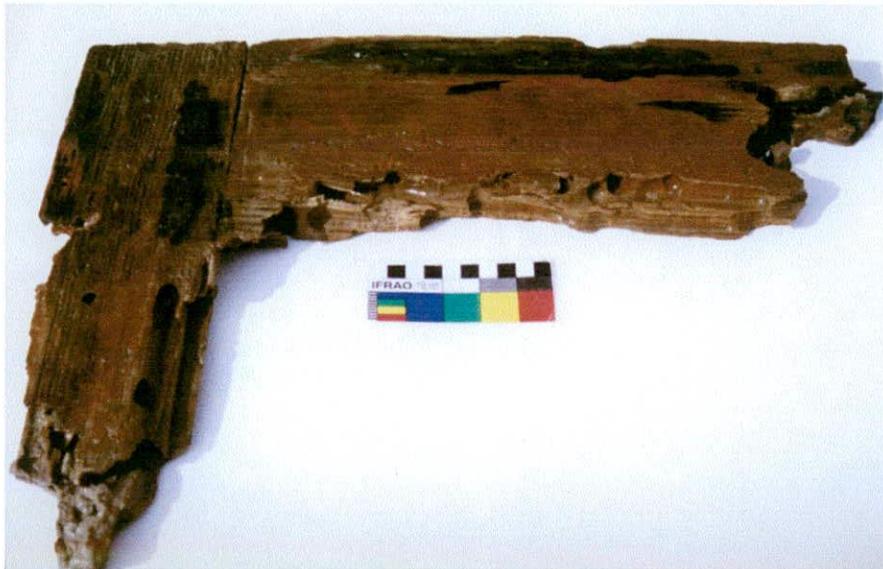


Figura 9.6. Galería cuyo diámetro es igual al espesor de la madera del artefacto.



a



b

Figura 9.7. Se observa el ataque de teredínidos en artefactos realizados en distintos tipos de madera: a) marco de pino (NP 16); b) rueda de cureña de olmo (MB 1-3).

Organismos perforantes y artefactos de madera en un ambiente dinámico

En función de la densidad de los túneles, el estado general de la madera y las características del ambiente, la destrucción de artefactos de madera podrá producirse en forma más o menos rápida, pudiendo ser esta parcial o total.

En principio es claro que el ataque físico de perforantes debilita estructuralmente a los materiales. En el sitio *Swift* se ha observado que, en los casos de ataque más severo, los artefactos presentan algún tipo de fractura (por ej., Fig. 8.7), o bien, se han fragmentado completamente, de modo tal que es imposible reconocer cuál era el artefacto original (Fig. 9.8). La fuerza ejercida por los movimientos de las masas de agua evidentemente cumple un rol en ello.



Figura 9.8. Fragmentos de madera resultado del ataque de teredínidos.

Debe considerarse que si estos procesos se han registrado a pequeña escala (es decir, en artefactos), algo similar puede ocurrir en las maderas que forman parte de la estructura del barco o en aquellas que ofician de mamparos o divisores entre los distintos sectores del mismo. En la zona de excavación, por ejemplo, se ha podido comprobar que su presencia ha sido fundamental para favorecer la acumulación de sedimentos, manteniendo la relación contextual entre los artefactos que allí se encontraban.

En cuanto al estado general en el que se encuentra la madera, este depende en gran medida de los procesos de saturación de agua y de la actividad de microorganismos. Grattan (1987: 55) señala que la madera "saturada de agua" es aquella en la que se observa el completo llenado de todos los capilares y microcapilares que conforman su estructura interna con agua. El término "degradada", por otro lado, es reservado para hacer referencia a la madera que ha sufrido deterioro o pérdida de material debido a la actividad de microorganismos, provocando la debilidad física de su estructura. Este mismo autor señala que la permeabilidad que

puede presentar una madera es muy variable. Además de las características propias del tipo de madera, esta depende del deterioro de ciertas partes de la microestructura interna del material, por lo que se ha observado que maderas duras extremadamente degradadas se han mantenido impermeables. No obstante, el incremento de la permeabilidad de la madera, aún en aquellas degradadas, puede verse contrarrestado. Esto puede ser causado por la depositación interna de sales inorgánicas -lo cual depende básicamente de las características químicas del ambiente-, el tiempo que permanece bajo el sedimento, como así también por la depositación de material calcáreo o la presencia de elementos ferrosos u otros metales (Grattan *op. cit.*).

Perforantes marinos, hongos y bacterias, al atacar la madera, van creando espacios vacíos que incrementan la permeabilidad de la misma. Los hongos destruyen las paredes celulares y al hacerlo aumenta el punto de saturación de las fibras (para la mayoría de las maderas este punto está entre el 25% y el 30% de humedad, pero puede incrementar a más de 60% en maderas degradadas), ya que aumenta el volumen interior de las células. Pero cuando las paredes celulares son destruidas este punto de saturación desciende. Por lo tanto, el contenido de humedad de la madera es utilizado como una medida de su nivel de degradación. En maderas saturadas de agua, cuanto mayor es el contenido de humedad, menor es la densidad de la madera (Grattan *op. cit.*). De hecho, como el deterioro de la madera ocurre precisamente desde las superficies exteriores hacia el interior de la misma, se ha propuesto una clasificación para determinar el porcentaje de degradación que presenta en base a su contenido de humedad. En función de esto, se suele utilizar un sencillo sistema de evaluación preliminar que consiste en clavar una aguja en la madera. La resistencia que se perciba a medida que va ingresando la aguja al sustrato es un indicador de cuán deteriorado se encuentra el mismo (Grattan *op. cit.*).

Si bien el daño que pueden producir hongos y bacterias en la madera puede considerarse menor que el que producen los perforantes marinos, su actividad afectará su conservación a largo plazo (Gregory 1998). Se ha señalado anteriormente el rol que ambos tienen en el acondicionamiento de la madera en relación a la posibilidad de que sea colonizada posteriormente por perforantes; y también es conocido su papel en la descomposición de los restos orgánicos.

Los procesos mencionados pueden producir en la madera la modificación de su densidad. De este modo, al volverse más livianos pueden ser desplazados por las fuertes corrientes del sitio, mientras que otros materiales de iguales dimensiones, al ser más pesados se enterrarían rápidamente.

Todas estas cuestiones deben ser consideradas, además, al manipular o extraer artefactos de madera del pecio, por lo que en vista de la fragilidad que pueden presentar los mismos debe realizarse con sumo cuidado a fin de minimizar los factores que podrían acelerar su deterioro físico.

Por último, se ha observado que los efectos de la erosión hídrico - sedimentaria en maderas que presentan ataque de perforantes, puede resultar en un más rápido deterioro físico de los materiales arqueológicos. En la Figura 9.9 podemos ver un ejemplo de ello. Este caso es interesante, además, porque la madera presentaba un aspecto pulido y no había perdido su dureza, mientras que se ha observado que otras maderas que se encontraban expuestas a la acción hídrico - sedimentaria tenían una superficie rugosa y blanda (ver por ej., Fig. 9.10).

En algunos artefactos se ha visto que la presencia de óxido, al impregnar los materiales, les confiere mayor dureza (C. Murray com. pers.). Del mismo modo que se

ha señalado más arriba respecto a la permeabilidad de la madera, seguramente existen otros factores que también están vinculados con esto. Evidentemente, todos estos procesos están relacionados con las condiciones particulares de los contextos de depositación de cada uno de estos materiales.



Figura 9.9. Efectos de la erosión hídrico - sedimentaria en artefactos atacados por perforantes.

9.2. PROTECCIÓN *IN SITU*

La cobertura sedimentaria limo - arcillosa que caracteriza al sitio *Swift* preserva a los restos arqueológicos de la acción hídrico - sedimentaria y de la actividad orgánica. En función de su composición granulométrica y las características del medio, generan un ambiente anóxico que impide el desarrollo de formas de vida (ver Fig. 9.10).

Si bien existen ciertas bacterias que pueden desarrollarse en condiciones anaeróbicas, hasta el momento no está claro en qué medida podrían afectar a los materiales arqueológicos (ver, entre otros, Blanchette *et al.* en Gregory 1998; Manders 2004; Nilsson 1999). Jones (2003: 17), por ejemplo, ha mencionado la actividad de bacterias sulfato-reductoras vinculadas a la corrosión de artefactos de metal. Algo similar podría haber ocurrido en el sitio *Swift*, en donde se ha observado la corrosión de metales no arqueológicos que se encontraban enterrados en el sedimento. Será necesario, por lo tanto, estudiar las variables que están involucradas en estos procesos a fin de comprender la naturaleza de este tipo de deterioro.

De todos modos, la gran cantidad de sitios de naufragio que se han investigado hasta el momento en distintas partes del mundo proveen evidencia suficiente sobre las ventajas que ofrecen los depósitos anóxicos para los materiales arqueológicos. En función de ello, se ha considerado incluso que el reenterramiento de maderos provenientes de pecios puede ser una alternativa apropiada para su conservación a largo plazo. En este caso, Ferrari y Adams (1990: 142) y Gregory (1998, 1999) sugieren que el enterramiento no debe ser muy próximo a la interfase sedimento/ agua, ya que estos niveles son los que están más alterados biológicamente, y por lo tanto, más oxigenados. Ellos consideran que lo más adecuado es hacerlo a una profundidad de 30 a 50 cm, pero igual recomiendan que debe monitorearse a menudo el nivel de oxígeno del sustrato.

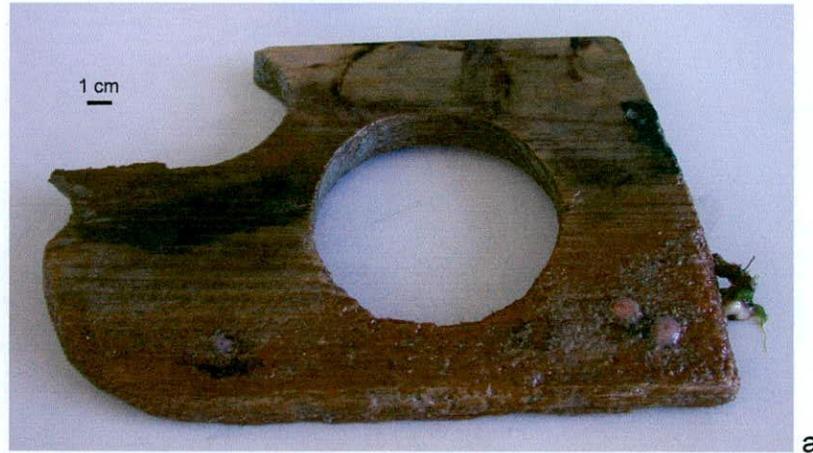


Figura 9.10. a) y b) En estos artefactos se observa que la parte que no se encontraba cubierta por el sedimento se presenta un estado avanzado de deterioro, probablemente debido a la acción microorgánica. Esta superficie presenta un aspecto rugoso y se ha vuelto esponjosa al tacto.

Es claro entonces que la estabilidad del depósito sedimentario resulta fundamental para mantener el estado de equilibrio que los materiales arqueológicos logran alcanzar con el medio. La remoción o exposición de objetos que se encontraban enterrados interrumpe ese estado y al exponerlos a nuevas condiciones ambientales se da inicio a nuevos procesos de deterioro. Oxley y Gregory (2002: 722) señalan que aunque los materiales fueran enterrados en forma inmediata en el sedimento original, el deterioro continuaría por algún tiempo hasta que gradualmente sería alcanzado un nuevo equilibrio.

La pérdida de estabilidad de los sedimentos puede deberse a varios factores. Para el sitio *Swift* podemos mencionar, por ejemplo, los procesos de bioturbación causados por organismos bentónicos de fondo blando, que si bien ocurren en pequeña escala tienen efectos acumulativos que son importantes a largo plazo. También se ha observado la presencia de grampones (raíces exteriores) de *Macrocystis pyrifera* en el pecio, los cuales, al ser arrastrados por las corrientes provocan el desplazamiento de niveles superficiales del sedimento. A una mayor escala, debemos tener en cuenta los movimientos generados por el desplazamiento de masas de agua, ya sea por la ocurrencia de tormentas, la acción de mareas o el movimiento de las hélices de embarcaciones cercanas (Elkin *et al.* 2006). También debe considerarse la influencia de factores antrópicos, tales como el desplazamiento de los buzos en el sitio, que puede provocar el movimiento de sedimentos, y la excavación arqueológica, la cual

expone una gran extensión de sustratos que se encontraban en un contexto anaeróbico a un ambiente oxigenado.

En función de lo anterior, resulta necesario realizar periódicamente observaciones controladas de las variaciones que puedan producirse en el nivel de cobertura sedimentaria del sitio. Para ello pueden utilizarse diversos métodos; los más simples consisten en la ubicación de varillas graduadas colocadas en diferentes puntos del sitio (Elkin 2000: 197 y ss.) y los más complejos incluyen sistemas de relevamiento hidroacústicos (para este último caso ver por ejemplo, Förster 2003: 6).

En los últimos años, en distintos países del mundo se ha comenzado a investigar el uso de sistemas de protección física para preservar aquellos sitios que se encuentran amenazados por procesos de deterioro. Estos métodos están basados en la idea de "enterrar" los pecios, generando ambientes con condiciones estables de escaso o nulo nivel de oxígeno (Manders 2004: 65). Un sistema que se ha utilizado con éxito en varios sitios consiste en cubrir el pecio con una malla textil sintética (Manders 2003; Manders y Lüth 2004; Pournou *et al.* 1999; Pournou *et al.* 2001). Este sistema se ha recomendado especialmente para sitios con características similares a las de la *Swift*, en donde el agua se encuentra en movimiento permanente transportando gran cantidad de sedimentos en suspensión. Estas mallas permiten el paso del sedimento y a la vez ayudan a su depositación y acumulación. La densidad de la trama de este tipo de textiles es variable, por lo que deberá elegida en cada caso la más apropiada, en función de la clase de sedimento, la granulometría y la velocidad de transporte del sitio. Antes de implementar este tipo de protección se recomienda realizar controles previos fuera de la zona del pecio a fin de verificar su comportamiento *in situ*. De todos modos, una vez implementado este sistema deben realizarse monitoreos periódicos a fin de comprobar si se han logrado obtener condiciones anaeróbicas (Manders 2004: 67). Manders (*op. cit.*:65 y ss) señala que el método provee varias ventajas, entre ellas su bajo costo y la facilidad de instalación y de retiro. Entre las limitaciones señala que si existen grandes diferencias de altura entre los restos a cubrir, los sedimentos tal vez no queden atrapados rápidamente en el textil, antes de que el *biofouling* colonice la superficie del textil bloqueando todo orificio.

En el caso del sitio *Swift* deberá considerarse la necesidad de implementar algún tipo de protección física. La cobertura con textiles sintéticos ofrece una buena alternativa, pero sólo para ciertos sectores del pecio, debido a las diferencias de altura que presentan ciertos restos estructurales. En principio, constituye una prioridad proteger las zonas de excavación en las que permanentemente se exponen a nuevas condiciones ambientales sustratos que se encontraban previamente en condiciones anóxicas. Aún implementando un sistema de cobertura luego de cada temporada de campo, debe recordarse que toma cierto tiempo hasta que el depósito se vuelve estable. Esto debe tenerse en cuenta al planear la excavación y extracción de artefactos del sitio. Aquellos materiales que quedan expuestos a condiciones aeróbicas y no sean extraídos en ese momento (si ese fuera el objetivo) podrán ser colonizados rápidamente por microorganismos y perforantes (Jones 2003: 31).

En lo que respecta a los procesos de formación del sitio *Swift* podemos coincidir finalmente con Ward *et al.* (1999) en que el principal factor que controla la supervivencia e integridad del registro arqueológico es la naturaleza del depósito sedimentario. El modelo que proponen estos autores nos permite aproximarnos a los complejos procesos involucrados en la evolución del sitio desde una perspectiva temporal dinámica. La historia depositacional del sitio, es decir, los procesos de acumulación o erosión producidos a lo largo del tiempo, son los que evidentemente

están mediando los procesos de deterioro físico, químico y biológico, tanto en el sitio en su totalidad como en determinados sectores del mismo. Pecos que presentan buenas condiciones de conservación como la *Swift* nos brindan una oportunidad única para entender la dinámica de dichos procesos, y de aproximarnos al entendimiento de lo que ocurre en otros sitios de condiciones similares, incluso contando con evidencia más fragmentaria. La capacidad predictiva del modelo se vuelve entonces en una herramienta indispensable en el manejo y conservación los sitios.

10. CONCLUSIONES

Biofouling

- El *biofouling* del sitio *Swift* presenta una estructura general similar a la que caracteriza a las comunidades bentónicas patagónicas de fondos rocosos costeros, aunque presenta menor diversidad taxonómica. Esto podría deberse a que la madera y los otros sustratos artificiales que se encuentran en el sitio podrían ejercer cierto efecto selectivo en las especies colonizadoras.
- La formación, crecimiento y desarrollo de las comunidades incrustantes o *biofouling*, así como su biodiversidad, están reguladas principalmente por la temperatura del agua. En los meses cálidos la biomasa triplica (como mínimo) la de los meses fríos, e incrementa claramente su diversidad específica.
- La etapa clímax del *biofouling* (en donde las comunidades alcanzan un equilibrio y logran su máximo desarrollo) está dominada por los tunicados *Paramolgula gregaria* y *Cnemidocarpa verrucosa* (n. v. "papas de mar"). En los sustratos arqueológicos estas comunidades pueden alcanzar un considerable espesor (más de 20 cm).
- Se ha confirmado la efectividad y utilidad del uso de sistemas de paneles experimentales en los estudios de biodeterioro. Se comprobó que la madera ha resultado ser una superficie experimental más adecuada que el acrílico para la colonización de organismos bentónicos. El gran desarrollo alcanzado por el *biofouling* en el sitio *Swift* indica que para ensayos mayores a seis meses de inmersión deben utilizarse paneles de al menos 30 cm por 30 cm.
- El desprendimiento de tunicados adheridos a sustratos arqueológicos de madera provoca el desprendimiento de las capas superficiales de dicho material. Estos procesos tienen importantes consecuencias arqueológicas, ya que producen la paulatina exfoliación del sustrato. Se estima que la actividad de otros organismos, como por ejemplo los crustáceos cirripedios (n. v. "dientes de perro") podría provocar procesos similares en materiales inorgánicos cuyas superficies presentan cierto grado de deterioro, como en el caso de botellas de vidrio cuyo exterior se encuentra escamado.
- En las maderas superficialmente blandas, la actividad de poliquetos y otros organismos pueden producir también improntas o depresiones que alteran la morfología de los materiales y, a la vez, contribuyen a acelerar el deterioro de los mismos.
- Las grandes comunidades de tunicados que se desarrollan sobre cuadernas y baos, debido a su peso, y en función de las fuertes corrientes del sitio, ejercen acción mecánica debilitando las estructuras. Las algas gigantes *Macrocystis pyrifera* arrastradas por las corrientes, al engancharse en las estructuras del pecio también podrían contribuir a este proceso.

- El desarrollo del *fouling* en el sitio podría tener el beneficio de proteger a los materiales arqueológicos de la erosión hídrico - sedimentaria y del ataque de perforantes. En vista de ello, la remoción de *biofouling* de un sitio arqueológico subacuático no debe ser realizada como una tarea de rutina, sino que debe ser evaluada en cada caso.

Finalmente, se sugiere que a fin de avanzar más en el estudio de los efectos de los distintos organismos incrustantes en otros materiales además de la madera, en investigaciones futuras con sistemas experimentales se empleen diferentes materias primas como sustrato (como por ej. vidrio, hierro, cobre).

Organismos perforantes de madera

- En el sitio *Swift* se ha podido determinar que el ataque de organismos perforantes alcanza a materiales provenientes de distintas zonas del pecio así como también a los hallados en excavación. Los organismos responsables de los mayores daños son moluscos bivalvos de la familia Teredinidae. Se ha identificado la presencia de la especie *Bankia martensi* como uno de los Teredinidae responsable de los ataques en la madera del sitio.

- La actividad de moluscos perforantes de la familia Pholadidae ha sido mínima en el sitio y no han provocado daños de importancia en el pecio. Este comportamiento coincide con los antecedentes que indican que estos moluscos atacan esporádicamente la madera.

- Si bien aún no se han hallado moluscos perforantes con vida en el sitio, no se puede descartar su presencia actual en el pecio; del mismo modo, tampoco se puede desestimar la posibilidad de futuras invasiones.

- En el sitio no se ha identificado actividad de crustáceos perforantes.

- En los materiales del sitio *Swift* atacados por perforantes no se observó selección alguna en cuanto al tipo de maderas así como tampoco en cuanto a la forma o tamaño de los artefactos por parte de estos organismos.

- Las maderas perforadas del sitio, al verse debilitadas estructuralmente, se encuentran mucho más propensas a la fractura y fragmentación que aquellas que no han sido atacadas.

- La evidencia de ataque de perforantes en elementos estructurales del pecio, sumado a las fuertes corrientes del sitio, seguramente ha jugado también un rol en los procesos de colapso estructural del mismo.

- El ataque de perforantes provoca modificaciones en la densidad de las maderas volviéndolas más livianas y, por lo tanto, susceptibles de desplazamientos por la acción de las corrientes.

- Se considera que los teredínidos constituyen el principal agente de biodeterioro en el sitio *Swift*, no sólo en función de la agresividad de su acción, sino también de la rapidez con que esta ocurre en relación a la actividad de otros organismos. Al provocar en forma directa o indirecta la destrucción total o parcial de artefactos de madera, tienen un rol fundamental en la conservación diferencial de los materiales, así como también en su distribución espacial.

- Los estudios llevados a cabo en el sitio *Swift* han indicado que la ausencia de perforantes marinos en aguas templado-frías no debe ser asumida *a priori*, y que estos organismos pueden ejercer severos daños en otros pecios localizados en este tipo de ambientes.
- Los sedimentos del sitio, al ofrecer condiciones anaeróbicas, constituyen el factor principal en el control de los agentes responsables del biodeterioro.
- Los sectores del pecio que queden expuestos por las excavaciones arqueológicas, así como también aquellas áreas en las que la cobertura sedimentaria sea inestable, deberían ser cubiertas mediante algún sistema de protección física.

Por último, se sugiere que, a fin de controlar si la actividad de organismos perforantes continúa en el presente en el sitio *Swift*, se realicen muestreos periódicos de artefactos de madera ubicados en la superficie del sedimento y que éstos sean analizados mediante técnicas de rayos X. Adicionalmente, se podría evaluar el estado de ciertos sectores estructurales realizando un corte en alguno de los baos o cuadernas que se encuentran expuestos. Sería importante poder evaluar en todos los casos el nivel de saturación de la madera y el grado de ataque de hongos y bacterias.

A modo de palabras finales, deseamos destacar que en nuestro país, la investigación arqueológica de sitios de naufragio se encuentra en sus etapas iniciales. En función de las características particulares que presentan los ambientes subacuáticos, los enfoques interdisciplinarios abren interesantes vías de análisis para el estudio de la formación de este tipo de sitios. La presente tesis constituye un primer paso en este sentido.

GLOSARIO NÁUTICO

Arboladura: Conjunto de piezas de madera destinadas a sostener las velas (como palos y vergas, entre otros).

Babor: Banda o costado izquierdo de una embarcación mirando de desde popa hacia proa.

Bao: Cada uno de los maderos que atraviesan el buque en forma transversal, de babor a estribor y que sirven para sostener la cubierta.

Casco: Conjunto de elementos que forma el cuerpo de la embarcación, excepto la arboladura y la jarcia.

Chillera: Repisa de madera con caladuras para alojar las balas de los cañones.

Codaste: Madero vertical que limita la parte posterior del casco de la embarcación y sostiene los herrajes del timón.

Cuaderna: Cada una de las piezas curvas de madera (similares a costillas) que se afirman a la quilla de una embarcación en forma perpendicular, dando rigidez al casco. Sostienen los forros. La cuaderna maestra es aquella que se encuentra en el punto de manga máxima.

Cubierta: Cada una de las superficies horizontales o pisos de una embarcación que son sostenido por los baos.

Curva: Ménsula de madera que sujeta un bao a los costados del barco.

Cureña: Carro de madera sobre el que se colocan los cañones.

Enjaretado: Enrejado formado por tablas que se cruzan en ángulos rectos y que cierran las escotillas.

Estribor: Banda o costado derecho mirando desde popa hacia proa.

Forro: Conjunto de tablas con que se cubre el esqueleto de una embarcación (es decir, las cuadernas) interiormente y exteriormente.

Jarcia: Conjunto de cabos y motonería (motones, vigotas y otros aparejos). La jarcia firme tiene la función de mantener sujetos los palos o vergas o de tensarlos. La jarcia móvil permite maniobrar las vergas y las velas.

Mamparo: Tabique de madera que se utiliza para dividir las cubiertas formando compartimientos (tales como camarotes y pañoles).

Manga: Ancho máximo de un barco.

Motón: Pieza de madera compuesta por una carcaza exterior que contienen una polea o roldana sostenida por un eje. Se utiliza para cambiar la dirección del movimiento de un cabo.

Obra viva: Parte sumergida del casco de una embarcación.

Obra muerta: Parte del casco de una embarcación que se encuentra por encima de la línea de flotación.

Palo: Mástil (El *HMS Swift* contaba con tres -desde proa hacia popa-: trinquete, mayor y mesana).

Pañol: Depósito.

Pasacabo: Pieza de madera que sirve para ajustar los cabos mediante vueltas.

Popa: Parte posterior de una embarcación.

Polea: Ver "motón".

Proa: Parte anterior de una embarcación.

Quilla: Pieza de madera larga y robusta que corre longitudinalmente de proa a popa por la parte inferior del buque y en la que se asienta toda su armazón.

Sobrequilla: Madero longitudinal dispuesto en el mismo plano que la quilla y que va dispuesto sobre las cuadernas.

Tajamar: Parte delantera de la embarcación que corta el agua.

Timón: Pieza que sirve para gobernar una embarcación, se sostiene por medio de herrajes al codaste.

Verga: Percha de madera a la cual se asegura la vela de una embarcación.

Vigota: Motón de madera redondo, sin roldana, con dos o tres orificios por donde pasan los cabos. Sirven para tensar los cabos que sostienen los palos.

BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES DOCUMENTALES

Acevedo, G. y M. Grosso, 2000. Informe de las prospecciones realizadas en las costa de Puerto Deseado en relación al campamento de los náufragos de la sloop Swift (1770). Postulado de probables modelos de uso del espacio. *Desde el País de los Gigantes. Perspectivas arqueológicas en Patagonia* (Actas de las IV Jornadas de Arqueología de la Patagonia, Río Gallegos, 2 al 6 de noviembre de 1998) Vol. II: 673-682. Universidad Nacional de la Patagonia Austral. Río Gallegos.

ADM 1/5304. Court martial to the HMS Swift crew, 29 september 1770. Public Record Office, London.

Alvik, R. y S. Tikkanen, 2004. Introduction. *MoSS Final Report: 2-7. Monitoring Safeguarding and Visualizing North-European Shipwreck Sites: Common European Cultural Heritage - Challenges for Cultural Resources Management.* European Union Culture 2000 Programme.

Anónimo, 1952. *Marine fouling and its prevention.* Woods Hole Oceanographic Institution -US Bureau of Ships, Navy Dept, Annapolis.

Arias, E., E. Morales y J. M. Sousa, 1980. Ensayos biológicos de pinturas antifouling en aguas del puerto de Barcelona. Segunda parte. Biología de las especies incrustantes y comportamiento de las pinturas. *Revista Iberoamericana de Corrosión y Protección* XI(4): 7-16.

Barnes, R., 1977. Zoología de invertebrados. Interamericana, México.

Bass, G. F., 1966. *Archaeology under Water.* Thames and Hudson, London.

Bass, G. F., 1980. Marine archaeology: A misunderstood science. *Ocean Yearbook* 2: 137-152.

Bastida, R., 1971. Las incrustaciones biológicas en el puerto de Mar del Plata, período 1966/67. *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales "Bernardino Rivadavia", Hidrobiología* 3(2): 203-285.

Bastida, R., 1973. Studies of the fouling communities along argentine coast. *Proceedings 3rd International Congress on Marine Corrosion and Fouling* (Washington, USA): 847-864.

Bastida, R. 1977. Las incrustaciones biológicas ("fouling"). V. Rascio, W. Bruzzoni, R. Bastida y E. Rozados (eds.), Protección de superficies metálicas. Manuales Científicos 1, *LEMIT, Ser. III* (La Plata): 203-262.

Bastida, R., 2004. Crustáceos isópodos. E. B. Boschi y M. B. Cousseau (eds.), *La vida entre mareas:* 187-204. Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos, Mar del Plata.

Bastida, R., H. Adabbo y V. Rascio, 1976. Toxic action of antifouling paints with different toxicant concentrations. *Corrosion Marine-Fouling* 1/76: 5-17.

Bastida, R. y G. Brankevich, 1980. Estudios ecológicos preliminares sobre las comunidades incrustantes de Puerto Quequén (Argentina). V *Congreso Internacional de Corrosión Marina e Incrustaciones* (Barcelona, España). Sección Biología Marina: 113-138.

Bastida, R. y G. Brankevich, 1989. Las comunidades incrustantes. *Ciencia Hoy* 1(4): 74-75.

Bastida, R., D. Capezzani y M. R. Torti, 1971. Fouling organisms in the port of Mar del Plata (Argentina). I. *Siphonaria lessona* (Blainville, 1824): ecological and biometric aspects. *Marine Biology* (USA) 10(4): 297-307.

Bastida, R., D. Elkin y M. Grosso, 2001 (en prensa). Enfoques interdisciplinarios para el estudio de procesos naturales de formación de sitios arqueológicos subacuáticos: investigaciones en el marco del

Proyecto Swift (Provincia de Santa Cruz, Argentina). *Actas del XIV Congreso Nacional de Arqueología Argentina* (Rosario, 17 al 21 de septiembre de 2001).

Bastida, R., D. Elkin, M. Grosso, M., Trassens y J. P. Martin, 2004. The British sloop of war HMS Swift (1770): a case study of the effects of biodeterioration on the underwater cultural heritage of Patagonia. *Corrosion Reviews*, Special Issue: Biodeterioration of Cultural Heritage 22(5-6): 417-40.

Bastida, R., M. Grosso y D. Elkin, 2003 (en prensa). The role of benthic communities and environmental agents in the evolution and conservation of underwater archaeological sites. P. Leshikar Denton y P. Luna Erreguerena (eds.), *Underwater and Cultural Heritage in Latin America and the Caribbean*. UCL Press, London.

Bastida, R. y S. L'Hoste, 1976. Relaciones tróficas de las comunidades incrustantes (fouling) del puerto de Mar del Plata. *CIDEPINT Anales* 76(3): 159-203.

Bastida, R. y V. Lichtschein, 1981. Acción de las incrustaciones biológicas o fouling. *Manual Ecomar de Corrosión y Protección - SENID* (Buenos Aires, Argentina): 63-76.

Bastida, R., y J. P. Martín, 2004. Comunidades incrustantes o *biofouling*. E. B. Boschi y M. B. Cousseau (eds.), *La vida entre mareas*: 49-58. Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos, Mar del Plata.

Bastida R. y A. Roux, 1988. Moluscos. *Fauna Argentina - Crustáceos, moluscos, equinodermos*: 1-64. Centro Editor de América Latina, Buenos Aires.

Bastida, R. y M. R. Torti, 1972a. Organismos perforantes de las costas argentinas. I. La presencia de *Lyrodus pedicelatus* (Quatrefages, 1849) (Mollusca, Pelecypoda) en el puerto de Mar del Plata. Clave para el reconocimiento de los Terebinidae sudamericanos. *Physis* 31(82): 39-50.

Bastida, R. y M. R. Torti, 1972b. Organismos perforantes de las costas argentinas. II. La presencia de *Limnoria (Limnoria) tripunctata* (Menzies, 1951) (Isopoda, Limnoriidae) en el puerto de Mar del Plata. *Physis* 31(82): 143-153.

Bastida, R., M. Trassens y J. P. Martin, 2000. Informe preliminar sobre los sedimentos y bioclastos asociados con los restos de la goleta HMS Swift (Puerto Deseado - Argentina). Ms.

Bastida, R., M. Trivi, V. Lichtschein y M. Stupak, 1980. Ecological aspects of marine fouling at the Port of Mar del Plata (Argentina). *V Congreso Internacional de Corrosión Marina e Incrustaciones* (Barcelona, España). Sección Biología Marina: 299-320.

Bingeman, J. M., J. P. Bethell, P. Goodwin y A. T. Mack, 2000. Copper and other sheathing in the Royal Navy. *The International Journal of Nautical Archaeology* 29(2): 218-229.

Björdal, C. G., G. Daniel y T. Nilsson, 2000. Depth of burial, an important factor in controlling bacterial decay of waterlogged archaeological wood. *International Biodeterioration and Biodegradation* 45(1-2): 15-26.

Björdal, C. G. y T. Nilsson, 2002. Waterlogged archaeological wood - a substrate for white rot fungi during drainage of wetlands. *International Biodeterioration and Biodegradation* 50(1): 17-23.

Brankevich, G. R. Bastida y C. Lemmi, 1988. A comparative study of biofouling settlements in different sections of Necochea Power Plant (Quequén Port, Argentina). *Biofouling* 1: 113-135.

Breen, C. (ed.), 2001. *Integrated Marine Investigations on the Historic Shipwreck La Surveillante: A French frigate lost in Bantry Bay, Ireland, January 1797*. Centre for Maritime Archaeology Monograph Series N° 1. University of Ulster, Coleraine.

Caillet-Bois, R., 1952. *Una tierra argentina. Las islas Malvinas*. Ediciones Peuser, Buenos Aires.

Calman, W. T., 1919. *Marine boring animals injurious to submerged structures*. British Museum (Natural History) Economic Series N° 10, London.

Castan, G., 1985. CEN Draft (38 460E). Standard test method for the determining the protective effectiveness of a preservative in the marine environment. International Research Group on Wood Preservation. Document N° IRG/WP/4132.

- Cooke, G., 1967. The pattern of autotrophic succession in laboratory microecosystems. *BioScience* 17: 717-721.
- Cronyn, J. M., 1990. *The Elements of Archaeological Conservation*. Routledge, London and New York.
- Dean, M., B. Ferrari, I. Oxley, M. Redknap y K. Watson (eds.), 1992. *Archaeology Underwater - The NAS Guide to Principles and Practice*. Nautical Archaeology Society. Institute of Archaeology, London.
- Delgado, J. R. (ed.), 1997. *Encyclopaedia of Underwater and Maritime Archaeology*. British Museum Press, London.
- Dellino, V., 2000. Manejo de fuentes históricas para un caso de estudio: el naufragio de la Sloop of war H.M.S. Swift. *Desde el país de los gigantes. Perspectivas arqueológicas en Patagonia* (Actas de las IV Jornadas de Arqueología de la Patagonia, Río Gallegos, 2 al 6 de noviembre de 1998), Vol. I: 259-267. Universidad Nacional de la Patagonia Austral. Río Gallegos.
- Dellino, V., 2002. Archaeological evidence and historical documents: The HMS Swift. *The Bulletin of the Australasian Institute for Maritime Archaeology* 26: 105-118.
- Dellino, V., 2004. *Shipwreck Archaeology and Social Relations: Identifying British Maritime Strategies in the South Atlantic during the 18th Century*. PhD Thesis, University of Southampton. Ms.
- Dumas, F., 1962. *Deep-water archaeology*. Routledge and Kegan Paul, London.
- Dumas, F., 1972. Ancient wrecks. *Underwater archaeology, a nascent discipline*: 27-34. UNESCO, Paris.
- Easton, N. A., 1997a. Benthic bioturbation. J. R. Delgado (ed.), *Encyclopaedia of Underwater and Maritime Archaeology*: 60. British Museum Press, London.
- Easton, N. A., 1997b. Prehistoric archaeology. J. R. Delgado (ed.), *Encyclopaedia of Underwater and Maritime Archaeology*: 324-326. British Museum Press, London.
- Eaton, R. A. y M. D. C. Hale, 1993. *Wood. Decay, pest and protection*. Chapman & Hall, London.
- Elkin, D., 1997. Proyecto arqueológico Swift (Puerto Deseado, Santa Cruz). Presentado a la Secretaría de Cultura de la Presidencia de la Nación y al Ministerio de Gobierno de la Provincia de Santa Cruz. Ms.
- Elkin, D., 2000. Procesos de formación del registro arqueológico subacuático: Una propuesta metodológica para el sitio Swift (Puerto Deseado, Santa Cruz). *Desde el país de los gigantes. Perspectivas arqueológicas en Patagonia* (Actas de las IV Jornadas de Arqueología de la Patagonia, Río Gallegos, 2 al 6 de noviembre de 1998), Vol. I: 195-202. Universidad Nacional de la Patagonia Austral. Río Gallegos.
- Elkin, D. y A. Argüeso, 2001 (en prensa). Aportes teórico-metodológicos para arqueología náutica de momentos históricos. El caso de la corbeta de guerra HMS Swift (Puerto Deseado, Santa Cruz). *Actas del XIV Congreso Nacional de Arqueología Argentina* (Rosario, 17 al 21 de septiembre de 2001).
- Elkin, D., A. Argüeso, R. Bastida, V. Dellino-Musgrave, M. Grosso, C. Murray y D. Vainstub, 2006 (en prensa). Archaeological research of the HMS Swift: a British Sloop-of-War lost off Patagonia, Southern Argentina, in 1770. *The International Journal of Nautical Archaeology*.
- Elkin, D., D. Vainstub, A. Argüeso y V. Dellino, 2001. Proyecto Arqueológico HMS Swift. Sta. Cruz, Argentina. P. L. Erreguerena y R. Roffiel (coords.), *Memorias del Congreso Científico de Arqueología Subacuática ICOMOS* (XII Asamblea General de ICOMOS y Congreso Mundial de Conservación y Patrimonio Monumental, México DF, Octubre 1999): 143-162. Colección Científica, Serie Arqueología, Instituto Nacional de Antropología e Historia. México.
- Elkin, D., D. Vainstub, A. Argüeso y C. Murray, 2000. H.M.S. Swift: Arqueología submarina en Puerto Deseado. *Desde el país de los gigantes. Perspectivas arqueológicas en Patagonia* (Actas de las IV Jornadas de Arqueología de la Patagonia, Río Gallegos, 2 al 6 de noviembre de 1998), Vol. II: 659-671. Universidad Nacional de la Patagonia Austral. Río Gallegos.
- Ferrari, B y J. Adams, 1990. Biogenic modifications of marine sediments and their influence on archaeological material. *The International Journal of Nautical Archaeology and Underwater Exploration* 19(2): 139-151.

- Ferrari, M. D., M. F. L. de Mele y H. A. Videla (eds.), 1998. *Practical Manual of Biocorrosion and Biofouling for the Industry*. CYTED - Ibero-American Programme of Science and Technology for Development. Subprogramme XV – Corrosion and Environmental Impact on Materials. Research Network XV.c (Biocorr). Ibero-American Research Network on Biocorrosion and Biofouling of Industrial Systems.
- Florian, M-L. E., 1987. The underwater environment. C. Pearson (ed.), *Conservation of Marine Archaeological Objects* : 1-20. Butterworths, London.
- Förster, T., 2003. Aerial Photography and Geophysical Survey. *Moss Newsletter* 2/2003: 5-7.
- Gallez, P. J., 1973. *La Expedición Le Maire-Schouten en las costas patagónicas (1615-1616)*. Actas del 2º C.H.A.R., Comodoro Rivadavia.
- García Cano, J., 1999. Arqueología y Barcos de Guerra. El caso de la sloop H.M.S. Swift. *Actas del XII Congreso Nacional de Arqueología Argentina* I: 442-453.
- García Cano, J., 1997. Operación no intrusiva en un sitio de arqueología subacuática en Argentina. El caso de la sloop HMS Swift. *Anuario de la Universidad Internacional SEK* 2: 45-65.
- Gareth Jones, E. B., H. Kühne, P. C. Trussell y R. D. Turner, 1972. Results of an International Cooperative Research Programme on the Biodeterioration of Timber Submerged in the Sea. *Material und Organismen* 7. Bd. 1972 Heft 2: 93-118.
- Gareth Jones, E. B., R. D. Turner, S. E. J. Furtado y H. Kühne, 1976. Marine Biodeteriogenic Organisms. I. Lignicolous Fungi and Bacteria and the Wood Boring Mollusca and Crustacea. *Int. Biodeterior. Bull.* 12(4): 120-134.
- Glasgow, T., 1967. Sixteen century English seamen meet a new enemy - the shipworm. *America Neptune* 27(3): 177-184.
- Goñi, R., 2000. Arqueología de Momentos Históricos fuera de los centros de conquista y colonización: un análisis de caso en el sur de la Patagonia. *Desde el país de los gigantes. Perspectivas arqueológicas en Patagonia* (Actas de las IV Jornadas de Arqueología de la Patagonia, Río Gallegos, 2 al 6 de noviembre de 1998), Vol. I: 283-296. Universidad Nacional de la Patagonia Austral. Río Gallegos.
- Goñi, R. y Madrid, P., 1996. Arqueología sin homear: sitios arqueológicos históricos y el Fuerte Blanca Grande. *Revista Intersecciones* 2 : 39-50. Facultad de Ciencias Sociales, UNCPBA, Olavarría.
- Goodwin, P., 1988. *The 20-gun ship Blandford*. Conway Maritime Press, Londres.
- Gower, E., 1803. *An Account of the Loss of His Majesty's Sloop, Swift, in Port Desire, on the Coast of Patagonia, on the 13th of March, 1770; and of the other Events Which Succeeded, in a Letter to a Friend*. Winchester and Son, London.
- Grattan, D. W., 1987. Waterlogged wood. C. Pearson (ed.), *Conservation of Marine Archaeological Objects* : 55-67. Butterworths, London.
- Greenfield, L. J., 1955. Concentration of *Teredo* Cellulase. *Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine* 89: 241-243.
- Gregory, D., 1995. Experiments into the deterioration characteristics of materials on the Duart Point wreck site: an interim report. *The International Journal of Nautical Archaeology and Underwater Exploration* 24(1): 61-65.
- Gregory, D., 1998. Re-burial of timbers in the marine environment as a means of their long term storage: experimental studies in Lynæs Sands, Denmark. *The International Journal of Nautical Archaeology* 27(4): 343-358.
- Gregory, D., 1999. Re-burial of Ship Timbers in the Marine Environment as a Method of *in Situ* Preservation. *Proceedings of the 7th ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference*, Grenoble 1998. ICOM: 78-84.
- Gregory, D., 2004. Monitoring Wooden Shipwrecks: Monitoring The Burgzand Noord 10 and Darss Cog using the EauSys data logger. *MoSS Final Report*: 38-48.

- Grosso, M., 2000.** Procesos de formación en sitios subacuáticos. Aspectos relativos a la preservación diferencial de la madera en la nave de guerra británica HMS Swift (1770), Puerto Deseado, Santa Cruz. Ms.
- Guthrie, J. N., L. L. Blackall, D. J. W. Moriarty y P. Gesner, 1994.** Wrecks and marine microbiology: case study from the *Pandora*. *Bulletin of the Australian Institute for Maritime Archaeology* 18(2): 19-24.
- Hamilton, D. L., 1996.** *Basic Methods of Conserving Underwater Archaeological Material Culture*. US Department of Defense - Legacy Resource Management Program, Washington.
- Harland, J. H. 1976.** Piet Heyn and the early use of copper sheathing. *Mariner's Mirror* 62(1): 1-2.
- Hayward, P. J., M. J. Isaac, P. Makings, J. Moyse, E. Naylor y G. Smaldon, 1995a.** Crustaceans (Phylum Crustacea). P. J. Hayward y J. S. Ryland (eds.), *Handbook of the Marine Fauna of North-West Europe*: 289-421, Oxford University Press.
- Hayward, P. J., G. D. Wigham y N. Yonow, 1995b.** Molluscs (Phylum Mollusca). P. J. Hayward y J. S. Ryland (eds.), *Handbook of the Marine Fauna of North-West Europe*: 484-628. Oxford University Press.
- Herron, C., 2001.** Wreck-Site Formation Processes of *La Surveillante*. C. Breen (ed.), *Integrated Marine Investigations on the Historic Shipwreck La Surveillante: A French frigate lost in Bantry Bay, Ireland, January 1797*: 85-100. Centre for Maritime Archaeology Monograph Series N° 1. University of Ulster, Coleraine.
- Hoagland, K. E. y R. D. Turner, 1980.** Range Extensions of Teredinids (Shipworms) and Polychaetes in the Vicinity of a Temperate-Zone Nuclear Generating Station. *Marine Biology* 58(1): 55-64.
- Iantanos, N., 2004.** *Dinámica sedimentaria de la ría del Deseado, provincia de Santa Cruz*. Tesis doctoral, Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco. Ms.
- Jones, M. (ed.), 2003.** *For future generations. Conservation of the Tudor Maritime Collection*. The Mary Rose Trust, Trowbridge (England).
- Kühnemann, O., 1971 [1969].** Vegetación Marina de la Ría de Puerto Deseado. *Centro de Investigación de Biología Marina*, Contribución Científica N° 30. Buenos Aires.
- Lane, C. E., 1959.** The Nutrition of Tereido. *Annals of the New York Academy of Sciences* 77: 246-249.
- Lane, C. E., R. W. Sims y E. J. Clancey, 1955.** Anaerobiosis in *Teredo*. *The American Journal of Physiology* 183(3): 637.
- Lichtschein de Bastida, V. y R. Bastida, 1980.** Los briozoos de las comunidades incrustantes de puertos argentinos. *V Congreso Internacional de Corrosión Marina e Incrustaciones*: 371-390.
- Liss, P., 1989.** Los imperios transatlánticos. Las redes de comercio y de las Revoluciones de Independencia. Fondo de Cultura Económica, México.
- Lopes dos Reis, R. E. M., 1995.** Moluscos bivalves perforadores de madeira do estado do Pará, Brasil: caracterização taxonômica, distribuição e resistência de madeiras. *Bol. Mus. Para. Emilio Goeldi, sér. Zool.* 11(2): 125-203.
- Luna Erreguerena, M. P., 1982.** *La arqueología subacuática*. Tesis profesional. Escuela Nacional de Antropología e Historia – INAH, México, D. F. Ms.
- MacLeod, I. D., 2006.** *In-situ* Corrosion Studies on Wrecked Aircraft of the Imperial Japanese Navy in Chuuk Lagoon, Federated States of Micronesia. *International Journal of Nautical Archaeology* 35(1): 128-136.
- Manders, M., 2003.** Safeguarding: The physical protection of underwater sites. *Moss Newsletter* 4/2003: 18-20.
- Manders, M., 2004.** Protecting Common Maritime Heritage. The Netherlands involved in two EU-projects: MoSS and BACPOLES. F. Maniscalco (ed.), *Mediterraneum* 4. Protection and Appraisal of Underwater Cultural Heritage: 279-292.
- Manders, M. y F. Lüth, 2004.** Safeguarding. *Moss Newsletter* Final Report: 63-70.

- Margalef, R., 1974. *Ecología*. Ediciones Omega, Barcelona.
- Miller, S., 1959. Hidden Enemy in Our Harbors. *Sea Frontiers* V: 22-33.
- Muckelroy, K., 1978. *Maritime Archaeology*. Cambridge University Press, New York.
- Murphy, L. E., 1997. Site formation processes. J. R. Delgado (ed.), *Encyclopaedia of Underwater and Maritime Archaeology*: 386-388. British Museum Press, London.
- Murray, C. (coord.), 1993. *Corbeta de guerra H.M.S. Swift -1763-. Historia, naufragio, rescate y conservación*. Comité Argentino del ICOMOS, Museo Provincial Mario Brozoski y Municipalidad de Puerto Deseado, Buenos Aires.
- Murray, C., D. Elkin y D. Vainstub, 2002. The Sloop-of-War HMS Swift: An archaeological approach. *The Age of Sail*: 101-115. Conway Maritime Press, London.
- Nair, N. B., 1962. Ecology of marine fouling and wood-boring organisms of Western Norway. *Sarsia* 8: 1-88.
- Nair, N. B. y M. Saraswathy, 1971. The biology of wood boring teredinid molluscs. *Advances in Marine Biology* 9: 335-509.
- Nilsson, T., 1999. Microbial Degradation of Wood - an Overview with Special Emphasis on Waterlogged Wood. *Proceedings of the 7th ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference*, Grenoble 1998. ICOM: 65-70.
- Odum, E. P. 1969. The Strategy of Ecosystem Development. *Science* 164: 262-70.
- Odum, E. P., 1971. *Fundamentals of Ecology*. W. B. Saunders, Philadelphia.
- Odum, E. P., 1997. *Ecology: a bridge between science and society*. Sinauer Associates Inc., Sunderland.
- Oxley, I. y D. Gregory, 2002. Site Management. C. V Ruppé y J. F. Barstard (eds.), *International Handbook of Underwater Archaeology*. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York.
- Palma, P., 2004. Final Report for the Monitoring theme of the MoSS Project. *MoSS Final Report*: 8-37.
- Pearson, C. (ed.), 1987. *Conservation of Marine Archaeological Objects*. Butterworths, London.
- Pournou, A., 1999. *In situ protection and conservation of the Zakynthos wreck*. PhD Thesis, University of Portsmouth. Ms.
- Pournou, A., A. M. Jones y S. T. Moss, 1999. In situ Protection of the Zakynthos Wreck. *Proceedings of the 7th ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference*, Grenoble 1998. ICOM: 58-64.
- Pournou, A., A. M. Jones y S. T. Moss, 2001. Biodeterioration dynamics of marine wreck-sites determine the need for their *in situ* protection. *The International Journal of Nautical Archaeology* 30(2): 299-305.
- Prosser Goodall, R. N., 1978. *Tierra del Fuego*. Rae Natalie Prosser Goodall, Harberton.
- Quinn, R., J. R. Adams, J. K. Dix y J. M. Bull, 1998. The *Invincible* (1758) site - an integrated geophysical assessment. *The International Journal of Nautical Archaeology* 27(2): 126-138.
- Quinn, R., C. Breen y W. Forsythe, 2002. Integrated Geophysical Surveys of The French Frigate *La Surveillante* (1797), Bantry Bay, Co. Cork, Ireland. *Journal of Archaeological Science* 29: 413-422.
- Quinn, R., J. M. Bull, J. K. Dix y J. R. Adams, 1997. The *Mary Rose* site - geophysical evidence for palaeo-scour marks. *The International Journal of Nautical Archaeology* 26(1): 3-16.
- Quinn, R., S. Rooney, K. Barton, D. O'Hara y K. Sheehan, 2001. An integrated marine geophysical investigation of the *La Surveillante* wreck-site. C. Breen (ed.), *Integrated Marine Investigations on the Historic Shipwreck La Surveillante: A French frigate lost in Bantry Bay, Ireland, January 1797*: 45-53. Centre for Maritime Archaeology Monograph Series N° 1. University of Ulster, Coleraine.

- Randell, S., 1998. Marine growth on shipwrecks. *Bulletin of the Australian Institute for Maritime Archaeology* 22: 107-108.
- Rascio, V., R. Bastida y W. Bruzzoni, 1973. Protección anticorrosiva y antiincrustante por medio de pinturas. *Corrosión Metálica*. SENID (Buenos Aires, Argentina): 253-319.
- Ress, G., 1971. Copper sheathing - an example of Technological diffusion in the English merchant fleet. *Journal of Transport History* 1(2): 85-94.
- Renfrew, C. y P. Bahn, 1993. *Arqueología. Teorías, Métodos y Práctica*. Ediciones Akal, Madrid.
- Ringelet, R. A., A. Amor, N. Magaldi y R. Pallares, 1962. Estudio Ecológico de la Fauna Intercotidal de Puerto Deseado, en Febrero de 1961 (Santa Cruz, Argentina). *Centro de Investigación de Biología Marina*, Contribución Científica N° 1. Buenos Aires.
- Santhakumaran, L. N., 1970. Preliminary observations on the natural resistance of sixty-nine species of Indian timber to marine borer attack at Bombay. *Journal of the Bombay Natural History Society* 67(3): 430-442.
- Santhakumaran, L. N., 1980. Two new species of *Xylophaga* from Trondheimsfjorden, Western Norway (Mollusca, Pelecypoda). *Sarsia* 65(3-4): 269-272.
- Scheltema, R. S., 1971. Dispersal of phytoplanktrophic shipworm larvae (Bivalvia: Teredinidae) over long distances by ocean currents. *Marine Biology* 11(1): 5-11.
- Schiffer, M. B., 1987. *Formation Processes of the Archaeological Record*. University of New Mexico Press, Albuquerque.
- Senatore, M. X. y A. Zarankin, 1996. Perspectivas metodológicas en Arqueología Histórica. Reflexiones sobre el uso de la utilización de la evidencia documental. *Páginas sobre Hispanoamérica Colonial. Sociedad y Cultura* 3: 113-122.
- Silva, H., 1984. La pesca y la caza de lobos y anfibios. La Real Compañía Marítima de Pesca en Deseado (1790/1807). *Historia Marítima Argentina* IV: 507-529. Departamento de Estudios Históricos Navales, Armada de la República Argentina, Buenos Aires.
- Smith, W. F. G., 1956. Shipworm, Saboteurs of the Sea. *The National Geographic Magazine*. CX(4): 559-566.
- Staniforth, M. B., 1985. The Introduction and Use of Copper Sheathing - A history. *The Bulletin of the Australian Institute for Maritime Archaeology* 9(1-2): 21-48.
- Steinmayer, A. G. Jr. y J. MacIntosh Turfa, 1996. Effects of shipworm on the performance of ancient Mediterranean warships. *The International Journal of Nautical Archaeology* 25(2): 104-121.
- Stewart, D. J., 1999. Formation Processes Affecting Submerged Archaeological Sites: An Overview. *Geoarchaeology: An International Journal* 14(6): 565-587.
- Thomson, L., 1997. The biodegradation of the wreck *Day Dawn*. *The Bulletin of the Australian Institute for Maritime Archaeology* 21(1&2): 119-124.
- Turner, R. D., 1966. *A Survey and Illustrated Catalogue of the Teredinidae (Mollusca: Bivalvia)*. The Museum of Comparative Zoology. Harvard University, Cambridge.
- Turner, R. D., 1971. Identification of marine wood-boring molluscs. E. B. G. Jones y S. K. Eltringham (eds.), *Marine borers, fungi and fouling organisms of wood*: 17-64. Organization for Economic Cooperation and Development (OECD), Paris.
- Turner, R. D. y A. C. Johnson, 1971. Biology of marine wood-boring molluscs. E. B. G. Jones y S. K. Eltringham (eds.), *Marine borers, fungi and fouling organisms of wood*: 259-301. Organization for Economic Cooperation and Development (OECD), Paris.
- UNESCO, 2001. Convention on the Protection of Maritime Heritage.

Ward, I. A. K., P. Larcombe y P. Veth, 1998. Towards new process-orientated models for describing wreck disintegrations - an example using the *Pandora* wreck. *The Bulletin of the Australian Institute for Maritime Archaeology* 22: 109-114.

Ward, I. A. K., P. Larcombe y P. Veth, 1999. A New Process-based Model for Wreck Site Formation. *Journal of Archaeological Science* 26: 561-570.

Wood, E. J. F., 1950. The role of bacteria in the early stages of fouling. *Australasian Journal of Mar. Freshwater Research* 1: 85-91.

Woods Hole Oceanographic Institute (W.H.O.I.), 1952. *Marine fouling and its prevention*. U.S. Naval Institute, Annapolis, Maryland.

Young, L. y R. Mitchell, 1973. The role of microorganisms in marine fouling. *International Biodeterioration Bull.* 9: 105-109.

ANEXO 1

Listado de artefactos de madera extraídos del sitio *Swift* en el que se indica aquellos que presentan evidencia exterior del ataque de organismos marinos perforantes:

<input type="checkbox"/>	Artefactos con evidencia exterior de ataque de perforantes.
<input type="checkbox"/>	Artefactos con evidencia exterior de ataque de perforantes para los cuales se puede determinar su origen en el sitio.
<input type="checkbox"/>	Artefactos cuya ubicación no pudo ser determinada en el plano del sitio.

COLECTOR	Nº DE IDENTIFICACIÓN	DESIGNACIÓN	PERF.	UBICACIÓN	
				CUADR.	NIVEL
s/datos	MB 1-34	Motón	indet.		
s/datos	MB 1-35	Motón	no		
s/datos	MB 1-36	Vigota	indet.		
s/datos	MB 1-37	Motón	no		
s/datos	MB 1-38	Motón	no		
s/datos	MB 1-39	Motón	no		
s/datos	MB 1-40	Vigota	no		
s/datos	MB 1-41	Polea	no		
s/datos	MB 1-42	Polea	no		
s/datos	MB 1-43	Polea	no		
s/datos	MB 1-44	Polea	no		
s/datos	MB 1-45	Motón	no		
s/datos	MB 1-46 a	Polea	no		
s/datos	NP 10	Indet.	no		
CBYR	MB 1-1	Rueda de cureña	no		
CBYR	MB 1-195 a-b-c	Balde	no		

CBYR	MB 1-2	Rueda de cureña	indet.		
CBYR	MB 1-3	Rueda de cureña	sí		
CBYR	MB 1-30 a-b-c-d-e	Reloj de arena	no		
CBYR	MB sd-10	Indet.	indet.		
CBYR	MB sd-11 sd-27 sd-28 - 1 de 16	Pasacabos	sí		
CBYR	MB sd-11 sd-27 sd-28 - 10 de 16	Pasacabos	indet.		
CBYR	MB sd-11 sd-27 sd-28 - 11 de 16	Pasacabos	indet.		
CBYR	MB sd-11 sd-27 sd-28 - 12 de 16	Pasacabos	indet.		
CBYR	MB sd-11 sd-27 sd-28 - 13 de 16	Pasacabos	indet.		
CBYR	MB sd-11 sd-27 sd-28 - 14 de 16	Pasacabos	indet.		
CBYR	MB sd-11 sd-27 sd-28 - 15 de 16	Pasacabos	indet.		
CBYR	MB sd-11 sd-27 sd-28 - 16 de 16	Pasacabos	indet.		
CBYR	MB sd-11 sd-27 sd-28 - 2 de 16	Pasacabos	no		
CBYR	MB sd-11 sd-27 sd-28 - 3 de 16	Pasacabos	no		
CBYR	MB sd-11 sd-27 sd-28 - 4 de 16	Pasacabos	no		
CBYR	MB sd-11 sd-27 sd-28 - 5 de 16	Pasacabos	no		
CBYR	MB sd-11 sd-27 sd-28 - 6 de 16	Pasacabos	indet.		
CBYR	MB sd-11 sd-27 sd-28 - 7 de 16	Pasacabos	indet.		
CBYR	MB sd-11 sd-27 sd-28 - 8 de 16	Pasacabos	indet.		
CBYR	MB sd-11 sd-27 sd-28 - 9 de 16	Pasacabos	indet.		
CBYR	MB sd-12	Motón	sí		
CBYR	MB sd-13a	Indet.	indet.		
CBYR	MB sd-13b	Indet.	indet.		
CBYR	MB sd-13c	Indet.	indet.		
CBYR	MB sd-14	Tapa	no		
CBYR	MB sd-15a	Ejes polea	no		
CBYR	MB sd-15b	Ejes polea	no		
CBYR	MB sd-15c	Ejes polea	no		
CBYR	MB sd-15d	Ejes polea	no		

CBYR	MB sd-16a	Indet.	no		
CBYR	MB sd-16b	Indet.	no		
CBYR	MB sd-16c	Indet.	no		
CBYR	MB sd-16d	Indet.	no		
CBYR	MB sd-17	Válvula sup. bomba agua	no		
CBYR	MB sd-25	Indet.	sí		
CBYR	MB sd-29	Motón	no		
CBYR	MB sd3	Polea	indet.		
CBYR	MB sd-30a	Polea	no		
CBYR	MB sd-30b	Polea	no		
CBYR	MB sd-30c	Polea	no		
CBYR	MB sd-31	Motón	no		
CBYR	MB sd-32	Motón	no		
CBYR	MB sd-33	Motón	no		
CBYR	MB sd-34a	Indet.	indet.		
CBYR	MB sd-34b	Indet.	indet.		
CBYR	MB sd-6	Polea	no		
CBYR	MB sd-7	Indet.	no		
CBYR	MB sd-8	Motón	no		
CBYR	MB sd-9	Válvula inf. bomba agua	no		
CBYR	NP 1	Motón	no		
CBYR	NP 11	Indet.	no		
CBYR	NP 2	Indet.	no		
CBYR	NP 29	Indet.	indet.		
CBYR	NP 3	Indet.	no		
CBYR	NP 30	Indet.	indet.		
CBYR	NP 31	Indet.	indet.		
CBYR	NP 32	Indet.	indet.		
CBYR	NP 4	Polea	indet.		

CBYR	NP 5	Polea	no		
CBYR	NP 6	Polea	no		
CBYR	NP 7	Polea	no		
CBYR	NP 8	Balde (base)	no		
CBYR	NP 9	Chillera (frag.)	no		
ICOMOS	MB 1-250 a-b-c-d-e-f	Reloj de arena	no	J15	1
ICOMOS	MB 1-67	Reloj de arena	no	J15	1
ICOMOS	NP 12	Indet	indet.	J15	1
ICOMOS	NP 13	Timón (cabeza)	sí	popa	0
ICOMOS	NP 14	Cuaderna	indet.	L28	0
PROAS	INA 016	Motón	indet.	K08	0
PROAS	INA 019	Motón	indet.	H22	0
PROAS	INA 048	Indet.	indet.	K15	0
PROAS	INA 051	Polea	indet.	I21	0
PROAS	INA 062	Tapa	no	J10	0
PROAS	INA 064	Tapa (frag.)	indet.	J07	0
PROAS	INA 065	Indet.	indet.	I15	0
PROAS	INA 067	Tapa	indet.	J10	0
PROAS	INA 077	Marco ventana	indet.	J22	0
PROAS	INA 094	Indet.	no	I21	1
PROAS	INA 098	Mango	no	G26	0
PROAS	INA 103	Mango (cacha)	no	I30	1
PROAS	INA 118	Pasacabo	indet.	H30	1
PROAS	INA 120	Marco ventana	indet.	H29	1
PROAS	INA 136	Polea	no	J12	0
PROAS	INA 144	Escotilla (tapa)	sí	I31	0
PROAS	INA 145	Caja	indet.	H30	1
PROAS	INA 146	Pasacabo	indet.	H30	1
PROAS	INA 148	Horma zapato	no	H31	1

PROAS	INA 150 a	Polea	no	I32	1
PROAS	INA 150 b	Polea	no	I32	1
PROAS	INA 153	Culata mosquete	indet.	H30	1
PROAS	INA 158	Indet.	sí	H29	1
PROAS	INA 161	Polea	no	G30	1
PROAS	INA 165	Motón	no	G31	1
PROAS	INA 166	Madero (frag.)	indet.	H31	1
PROAS	INA 167	Caja	sí	H30	1
PROAS	INA 171	Especiero	no	H29	1
PROAS	INA 183	Jarro	no	H31	1
PROAS	INA 184	Enjaretado (incompl.)	sí	H30	0
PROAS	INA 248	Indet.	indet.	H30	2
PROAS	INA 252	Motón (frag.)	sí	G30	2
PROAS	INA 253	Polea	no	G30	2
PROAS	INA 301	Colisa	no	H30	2
PROAS	INA 304	Indet.	no	H 31	2
PROAS	INA 305a	Indet.	no	H 31	2
PROAS	INA 305b	Indet.	no	H 31	2
PROAS	INA 305c	Indet.	no	H 31	2
PROAS	INA 313	Reloj de arena	no	J 14	1
PROAS	INA 314	Reloj de arena (incompl.)	no	J 14	1
PROAS	INA 315	Caja	sí	H31	2
PROAS	NP 15	Marco	sí	H29	1
PROAS	NP 16	Indet.	sí	H29-H30	1
PROAS	NP 17	Indet.	indet.	G30	1
PROAS	NP 18	Indet.	indet.	G29	1
PROAS	NP 19	Indet.	sí	H29-H30	1
PROAS	NP 20	Indet.	indet.	G29	1
PROAS	NP 21	Indet.	indet.	G25	0

PROAS	NP 22	Indet.	sí	G27-F27	0
PROAS	NP 23	Codaste (extensión)	no	H35-H34	0
PROAS	NP 24	Curva	sí	babor	0
PROAS	NP 25	Caja	sí	H31	1
PROAS	NP 26	Indet.	sí	H30-H32	0-1
PROAS	NP 27	Indet.	sí	H30-H32	0-1
PROAS	NP 28	Mueble	sí	H30	2
PROAS	NP 33	Indet. (frag.)	sí		

ANEXO 2

Paneles Semestrales: Marzo 2001- Septiembre 2001

a) Biomasa vs. ubicación en el sitio:

Test de Levene

	SS	df	MS	SS	df	MS	F	p
Biomasa	0,090313	1	0,090313	4,123750	6	0,687292	0,131403	0,729408

Test de t

	Mean	Mean	t-value	df	p	Valid N
Biomasa	3,862500	2,650000	0,931846	6	0,387376	4

Valid N	Std. Dev.	Std. Dev.	F-ratio	p
4	1,581863	2,066398	1,1706436	0,671471

b) Biomasa vs. materiales:

Test de Levene

	SS	df	MS	SS	df	MS	F	p
Biomasa	0,828828	1	0,828828	2,860469	6	0,476745	1,738515	0,235420

Test de t

	Mean	Mean	t-value	df	p	Valid N
Biomasa	1,975000	4,537500	-2,78978	6	0,031587	4

Valid N	Std. Dev.	Std. Dev.	F-ratio	p
4	0,776209	1,665020	4,601314	0,241932

Paneles Semestrales: Septiembre 2001- Marzo 2002

a) Biomasa vs. ubicación en el sitio:

Test de Levene

	SS	df	MS	SS	df	MS	F	p
Biomasa	163,8050	3	54,60167	63,17000	4	15,79250	3,457443	0,130965

Test de t

	Mean	Mean	t-value	df	p	Valid N
Biomasa	45,62500	7	4,499732	6	0,004105	4

Valid N	Std. Dev.	Std. Dev.	F-ratio	p
4	15,92365	5,563797	8,191106	0,117793

Ambos períodos

a) Biomasa vs. período del año

Test de Levene

	SS	df	MS	SS	df	MS	F	p
Biomasa	1211,693	1	1211,693	857,0851	14	61,22037	19,79231	0,000551

Test de Mann Whitney

	Rank Sum	Rank Sum	U	Z	p-level	Z
Biomasa	42,00000	94,00000	6,000000	-2,73055	0,006323	-2,73457

p-level	Valid N	Valid N	2*1sided
0,006247	8	8	0,004662