

**MOLDEADOS Y REPRODUCCIONES.
PROBLEMÁTICA BAJO EL AGUA**

Luis Carlos ZAMBRANO VALDIVIA
Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico. Centro de Arqueología Subacuática
Avda. Duque de Nájera 3 -Balneario de la Palma- 11071 Cádiz
luis.zambrano@juntadeandalucia.es

La técnica del moldeo aplicada a la arqueología

El moldeo arqueológico es uno de los múltiples recursos instrumentales adecuados para abordar la preservación, el conocimiento y la difusión del Patrimonio Cultural.

Esta "herramienta", de uso extendido en la paleoantropología tradicional (BLACK, 2003), emerge de forma paralela al "anticuarismo" positivista del siglo XIX, diferenciado del simple coleccionismo por su pretendido afán de conocimiento histórico, que la emplea como apoyo del dibujo en el registro exhaustivo de los objetos recuperados (OLMOS ROMERA, 1999). Esta solución técnica adquiere un gran predicamento entre los precursores de la moderna arqueología (BLANCO GARCÍA, 2003), que hallan en la "reproducción artística" así denominada por J. Ramón Mérida en su informe *Viaje a Grecia y Turquía*, un eficaz instrumento en "la formación de los artistas y estudiosos en general". Un extracto de dicho documento extraído del informe "Un viaje a Grecia que cambió el rumbo de la arqueología en España", de R.M. Blanco García (2003), incluido en el Proyecto de recopilación sistemática de fondos documentales de museos -Universidad Complutense de Madrid-, se muestra a continuación:



Ensayos de moldeo sobre restos lígneos pertenecientes a una estructura naval de época moderna

"Si se considera que lo más importante del arte antiguo es la escultura, muy fácil se ofrece la tarea de suplir con vaciados de obras de primer orden, muchas de ellas únicas, las deficiencias de nuestras colecciones. Ante la calidad y el considerable número de piezas acumuladas en los descritos Museos, esas deficiencias resultaran mucho mayores. Si nos fijamos en nuestro Museo de Reproducciones Artísticas, que es el llamado a recibir tan valiosos aumentos que permitirán estudiar directamente en Madrid el proceso del arte anti-

guo, las colecciones existentes nos ofrecen muy pocas obras de los museos de Grecia."

Las palabras de Mérida son elocuentes acerca de lo dicho; el potencial formativo y documental del "vaciado artístico" sustentado sobre una concepción caduca y restrictiva del Patrimonio Cultural que se interesa por el objeto desprovisto de su contexto. No obstante, es oportuna la cita de este documento debido a su carácter precursor del moldeo con finalidad arqueológica en nuestro país.

Otras referencias a esta cuestión en los inicios de la arqueología peninsular van siempre asociadas al nombre de José Ramón Mérida, director del Museo Nacional de Reproducciones Artísticas creado en 1877 por iniciativa del entonces Presidente de Gobierno, D. Antonio Canovas del Castillo, a imitación de otros centros europeos ya existentes con una finalidad didáctica para la enseñanza y el disfrute del arte.

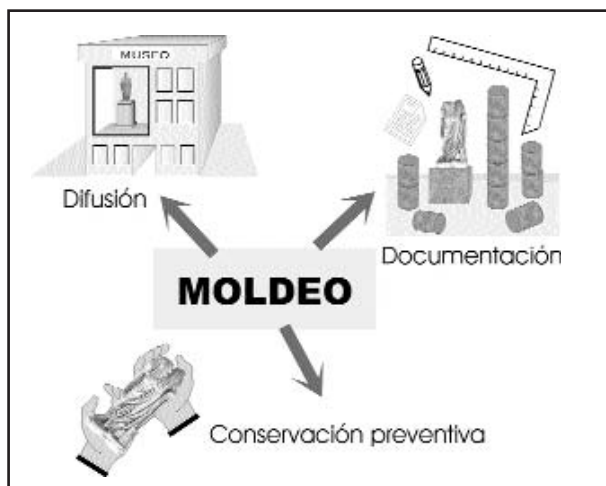
Mención expresa, por lo anecdótico, requiere la presentación de los moldes en yeso de la serie de esculturas "ibéricas" del Cerro de los Santos en la planta principal del Pabellón español en la exposición Universal de Viena de 1873. El fiasco de la sospechada falsificación, no disminuye la trascendencia del hecho que supone llevar como evidencia absoluta del "formidable" hallazgo, a falta de los originales, una copia exacta de la citadas esculturas.

Asimismo, otras lecturas de lo ocurrido son posibles, aunque por motivos profesionales prefiera subrayar el acierto de evitar los riesgos de un azaroso traslado para cualquier objeto antiguo.

Esta cuestión, de enorme actualidad por la reticencia de los museos al préstamo de obras "frágiles", se vincula al interés instrumental del moldeo en la conservación del patrimonio. Este es el tercero de los ámbitos, junto con el registro documental y la interpretación museológica, donde el moldeo tiene utilidad.

En este sentido, el molde constituye una herramienta eficaz en la recuperación de objetos debilitados durante la excavación arqueológica, funcionando como un soporte fijado al material con riesgo de fragmentación que de esta forma se mantiene compactado de forma reversible.

Otra aplicación del molde arqueológico vincula directamente los tres ámbitos señalados; investigación, conservación y difusión. Se trata de la



El moldeo tiene tres campos de aplicación dentro del patrimonio arqueológico: la difusión, la documentación y la conservación preventiva

conservación integral del patrimonio, recomendada expresamente por la UNESCO en su Carta para la Protección y Gestión del Patrimonio Arqueológico –ICOMOS (1990). En ella, se invita explícitamente a "conservar *in situ* monumentos y sitios" como "el objetivo fundamental de la conservación del patrimonio arqueológico". En este sentido, se estimulan los métodos de intervención "no destructivos", concediendo especial importancia a los inventarios como "instrumentos de trabajo esenciales para elaborar estrategias de protección del patrimonio arqueológico".

Ya con carácter específico, "La Convención sobre la Protección del Patrimonio Cultural Subacuático-UNESCO" de París (2001), ratificada por España, se reafirma en la idea de la conservación *in situ* como "la opción prioritaria para proteger el patrimonio cultural subacuático", cuyo acceso público debe ser fomentado siempre que no interfiera con la protección y gestión del sitio arqueológico. Asimismo, establece que "las actividades dirigidas al patrimonio cultural subacuático deberán servirse de técnicas y métodos de exploración no destructivos, que deberán preferirse a la extracción de objetos".

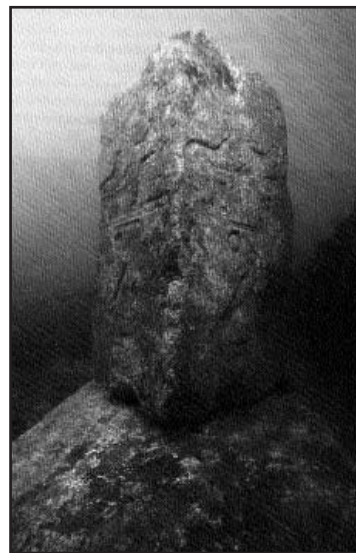
En la filosofía de este convenio se manifiesta una idea de conservación en apariencia opuesta a la investigación científica. Sin embargo, el énfasis en la conservación, lejos de ser un freno al conocimiento, es un estímulo al desarrollo de nuevas técnicas de investigación compatibles con la preservación y la participación social.

La reproducción tridimensional -el moldeado subacuático- es una de esas técnicas que contribuyen a mejorar el conocimiento científico sin perjuicio de la conservación, al tiempo que aporta soluciones eficaces para la interpretación del patrimonio. Dos muestras de esta aplicación se recogen entre las cinco actuaciones modélicas que señala la UNESCO en su documento "Summary" (UNESCO, 2002: 10).

Ejemplos recientes de excavaciones exitosas:

- El Red Bay Project en Labrador, Canadá, donde los científicos realizaron la excavación de tres barcos y cuatro pequeñas barcas balleneras vascas del siglo XVI que fueron objeto de un meticuloso registro arqueológico donde participaron los conservadores del Parks Canada, L. D. Murdock y T. Daley, a través de un molde subacuático -1 m x 3,5 m- sobre los restos del *San Juan*, hundido a 10 m de profundidad.

- El Faro de Alejandría en Egipto, sumergido a causa de una serie de terremotos en el siglo XIV, es objeto de una misión arqueológica que ha clasificado alrededor de 3.000 elementos arquitectónicos y ornamentales pertene-



Obelisco de Sethi I, Faro de Alejandría. Fotografía de Stéphane Compint/Sygma, en EMPEREUR, J-Y: 2000

cientes a distintos periodos –faraónico, ptolemaico y romano. Ante la trascendencia y magnitud del hallazgo, se ha planteado la posibilidad de crear un parque arqueológico subacuático. Algunas piezas e inscripciones se han registrado mediante moldes *in situ* como complemento de la documentación arqueológica.

Actualmente, tras la positiva experiencia acumulada en numerosas actuaciones, la técnica del moldeo subacuático constituye un *corpus* metodológico aplicable por el conservador-restaurador de "campo". Este técnico precisa, no obstante, un buen conocimiento tanto de los materiales arqueológicos y su alteración físico-química, como de las materias plásticas de moldeo y sus utensilios de manipulación. A este conocimiento teórico del material –objeto arqueológico- y las "herramientas" -materia plástica- hay que añadir la destreza necesaria para su combinación en el medio subacuático.

Si a las dificultades propias del moldeo en la arqueología "terrestre" -infraestructura excesiva, adherencia del producto, acondicionamiento del sustrato, riesgo de desmembración...- añadimos el factor de la saturación hídrica con todas las implicaciones de orden físico-químico -presión, densidad, temperatura, iluminación, corrientes, pH, salinidad...-, resulta fácil comprender la complejidad de esta tarea en el medio subacuático. Todo ello, aún cuando se da por sentada la desenvoltura propia del individuo en un sistema adverso al ser humano donde se requiere la participación de aparatosos equipos para remediar las diversas limitaciones impuestas por el medio: comunicación, desplazamiento, visión, control de la permanencia y profundidad, flotación, compensación calórica y especialmente, la respiración.

Sin embargo, y a pesar de la evidente dificultad que se plantea en el desarrollo de esta técnica, actualmente, el moldeo subacuático puede considerarse como un recurso eficaz en la gestión del patrimonio arqueológico sumergido que da respuesta a los requerimientos de conservación, investigación y difusión de los bienes culturales.

No obstante, tratándose de un procedimiento que implica la participación de productos y herramientas, el moldeo está sujeto a una continua evolución metodológica favorecida por la diversificación de marcas y compuestos en la industria del plástico. Así, se amplía la oferta de productos multiplicando las posibilidades de aplicación que pueden resultar específicas a los requerimientos planteados por el sinfín de situaciones probables en un sitio arqueológico: arquitectura naval de época antigua, estructuras portuarias, grandes objetos de metal concrecionado, edificaciones y estatuaria sumergida.

Mejorando la experiencia *in situ* de nuevos productos se aumenta el número de soluciones aplicables a cada circunstancia; con siliconas muy fluidas para el registro en detalle, aditivos tixotropantes para sustratos verticales, epoxi auto-desmoldeante con funciones estructurales, poliéster modificado como nivelante y soportes rígidos, poli-sulfuro de caucho para impresiones ordinarias, masillas protectoras para la pasivación metálica, etc.

En este sentido, cada ensayo de moldeo con materias plásticas en el medio acuático aporta un conocimiento útil en la optimización de esta herramienta

que debe seguir alimentándose con la experimentación práctica sobre los sitios arqueológicos sumergidos. Apoyando este juicio se ilustrará el presente artículo con el comentario de una serie de actuaciones de moldeo subacuático realizadas sobre diferentes sitios arqueológicos. Desde la experiencia del *Wet Sites Conservation Laboratory* (MURDOCK y DALEY, 1981: 337-342) sobre el ballenero vasco *San Juan*, hasta el sistema combinado de moldeo subacuático (ZAMBRANO VALDIVIA, 1995: 2-20; ZAMBRANO VALDIVIA, 2000: 175-182), empleado en el Barco I de Mazarrón y que supone el molde subacuático de mayores dimensiones realizado hasta la fecha.

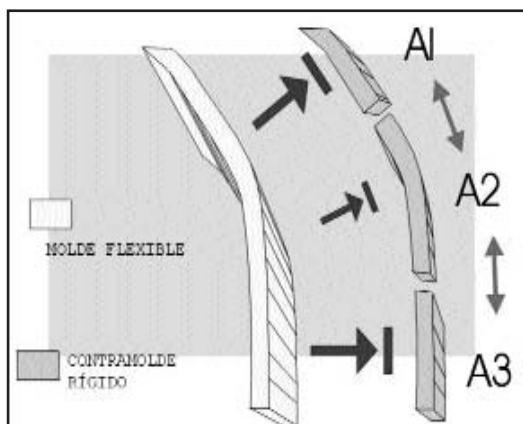
Molde flexible y soporte rígido

El molde a escala 1/1 es un registro tridimensional de los objetos sumergidos que complementa eficazmente el trabajo convencional de documentación *in situ* realizado mediante dibujo y fotografía, pudiendo de este modo completarse un estudio muy preciso de los objetos sin necesidad de ser extraídos.

Esta utilidad del molde permite avanzar en preservación integral del patrimonio arqueológico subacuático sin menoscabo de fomentar el disfrute extensivo de los bienes a través de réplicas exactas incorporadas a los programas museológicos y de interpretación patrimonial (MORALES MIRANDA, 2000: 276).

Además, el molde supone un sistema de fijación excelente para la recuperación de objetos muy debilitados con un riesgo potencial de fractura y desmembración durante su traslado a la superficie.

El proceso de moldeo tradicional consta de dos fases perfectamente definidas: el moldeo flexible y el soporte rígido. Ambas son complementarias y se hacen en el orden expresado: 1, molde flexible y 2, soporte o contra-molde rígido. El primero registra o reproduce todos los detalles del objeto. Crea una copia en "negativo" del original. Al ser flexible puede extraerse con facilidad sin alterar el soporte y las copias. Por esta cualidad, el molde necesita la participación del soporte rígido para conservar la forma del objeto. El soporte se realiza de un modo independiente sobre la cara no registrada del molde y su función es mejorar los resultados del primero aportando un sustento estructural al registro flexible.



Descripción gráfica del molde flexible y el contra-molde rígido. Este último debe generalmente fraccionarse para facilitar su extracción.

Antecedentes

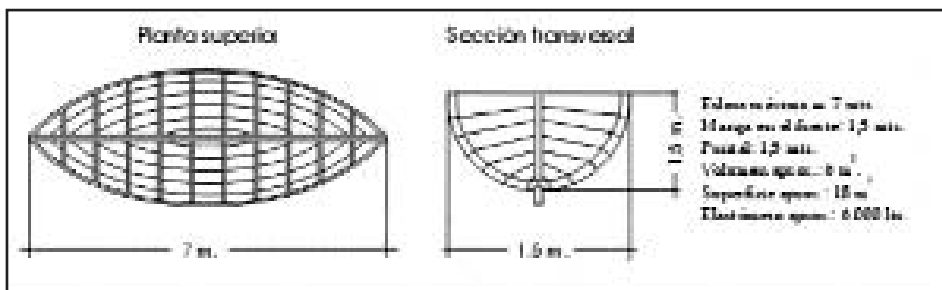
Los primeros ensayos destacados para obtener moldes flexibles subacuáticos son obra de L. Murdock y T. Daley del *Wet Sites Conservation Laboratory* de Canadá (L. MURDOCK y T. DALEY, 1981: 337-342). Estos conservadores emplearon un caucho de polisulfuro como agente de moldeo subacuático. Este producto es un elastómero bicomponente (FMC-301®, SMOOTH-ON INC.) que cura en presencia de humedad cuyo uso está muy extendido en el ámbito anglosajón.

En ensayos previos de laboratorio, emplearon el elastómero fluido aplicado en "colada" sobre modelos de tamaño reducido planteando el moldeo de volúmenes exentos (un cilindro) y espacios huecos (una grieta). Los registros o reproducciones fueron buenos pero sin control directo en la aplicación del elastómero. La ausencia de control se debe a que el caucho de polisulfuro es un fluido más denso que el agua y tiende a ocupar los espacios inferiores. En la práctica, el caucho fluido resbala por la superficie del objeto a reproducir. Para retener al fluido es necesario encerrarlo entorno al modelo con algún sistema de contención.

La confección de un dique de contención propuesto por Murdock y Daley planteaba innumerables problemas técnicos añadidos. Básicamente, se condiciona la viabilidad del molde subacuático a la posibilidad de crear un dique contenedor del producto en estado fluido. El moldeo de una gran superficie (3-4 m²) hace inviable el procedimiento de colada aplicado en el laboratorio por M.-D. El sistema obliga a rellenar con elastómero el espacio comprendido entre las cotas mayor y menor de la superficie a reproducir. Por este motivo, en superficies muy accidentadas, se llega a un enorme consumo de material siguiendo dicho procedimiento.

El siguiente caso sirve para ejemplificar gráficamente los diferentes sistemas que se plantean.

Para reproducir el casco interior de un barco de 7 m de eslora total y 1,5 m de manga en el medio con una diferencia de cotas entre la línea de borda y el ensamble de la quilla de 1,5 metros, tenemos un volumen interior aproximado de 6 m³. La superficie a reproducir es de 18 m² y se necesitarían por tanto unos 6.000 litros de elastómero. La descripción esquemática de la técnica se puede ver en la siguiente lámina.



Dibujo esquemático de un modelo de embarcación para ejemplificar el proceso de reproducción subacuática

Otra solución técnica diferente fue planteada por los mismos conservadores del Parks Canada en 1983 (DALEY y MURDOCK, 1984: 1-5) sobre los restos del ballenero vasco *San Juan*, hundido en 1565 frente a la costa de Canadá. Se trata del sistema que se ha denominado "en compresión" debido al procedimiento de aplicación del caucho para el moldeo. Básicamente se trata de embadurnar un trozo de tejido con el elastómero y posteriormente aplicarlo sobre la superficie a reproducir. El operador presiona la compresa de tejido y caucho sobre el modelo obteniendo un mayor control sobre el proceso de moldeo.

Con el "sistema de compresión" se aumenta notablemente el control de aplicación y se reduce el gasto de material aunque presenta graves inconvenientes metodológicos:

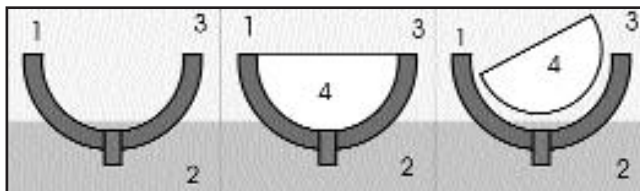
- El caucho resulta muy adherente y el traslado de la compresa hasta el punto de aplicación requiere la utilización de complicados artilugios de transporte como bastidores o bandejas de aprehensión.

- La adaptación de la compresa al sustrato del modelo no es buena cuando la superficie es accidentada. El tejido carece de plasticidad para adaptarse y el operador no controla visualmente el grosor del molde que aplica.

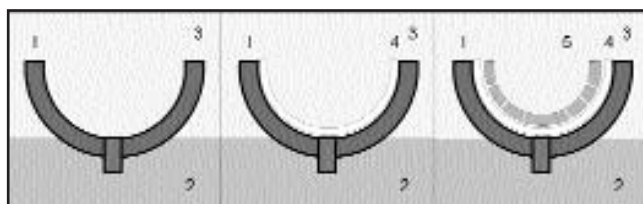
- El molde resultante presenta zonas con registro insuficiente, puntos de adelgazamiento o ausencia total de elastómero.

Otras variaciones de los sistemas de "colada" y "compresión" han sido empleados en diferentes ocasiones con limitada eficacia. G. Brocot (DAVID y DESCLAUX, 1988: 315) en el Centro de Investigaciones Arqueológicas Submarinas de Francia en 1987, ha utilizado elastómeros de silicona RTV –Room Temperature Vulcanization– con los ya conocidos métodos de "colada" y "compresión". Estos ensayos no ofrecen ventajas destacables sobre el sistema original de M. & D., ya que mantienen el planteamiento básico de operatividad con la variante del material de moldeo, elastómero de silicona por poly-sulfuro de caucho.

Una aportación interesante de Brocot (1988: 315) ha sido la experimentación con resinas de poliéster en la fabricación de contra-moldes. Para la



Lám. 1: Simulación gráfica del proceso de reproducción por colada interior sobre una estructura cerrada. 1. estructura a reproducir, 2. lecho de arena, 3. agua circundante, 4. molde interior



Lám. 2: Simulación gráfica del proceso de reproducción mediante compresión sobre una estructura cerrada. 1. estructura a reproducir, 2. lecho de arena, 3. agua circundante, 4. molde interior de silicona sobre tejido y 5. contra-molde rígido

obtención de soportes rígidos subacuáticos se había venido empleando regularmente la escayola que se prepara en superficie del modo convencional y se transporta bajo el agua hasta el lugar de aplicación. Sin embargo, este material presenta una serie de inconvenientes que lo hacen desaconsejable, a saber:

- El transporte y manipulación subacuática genera una molesta nube blanquecina de polvo en suspensión que dificulta la visibilidad subacuática ya reducida por las características del medio.

- Se aplica en estado fluido con problemas de manipulación similares a los descritos para los productos de moldeo flexible aunque no existe la posibilidad de aplicación en compresión.

- La escayola fraguada bajo agua no endurece por completo. El producto resultante es blando y escasamente homogéneo.

- Se precisa un grosor muy elevado en relación a la superficie para garantizar la firmeza del soporte. Por ejemplo, un soporte rígido fabricado en escayola para una superficie de 1 m² precisa un grosor aproximado de 30 a 40 cm, lo que supone un gasto de 30 a 40 l de escayola líquida.

- El peso de la escayola endurecida junto al gran volumen necesario hacen del soporte rígido de escayola un elemento de costosa manipulación dentro y fuera del agua.

- La escayola debe reforzarse en su aplicación subacuática para el reparo homogéneo de tensiones y aumento de resistencia.

Para obviar estos inconvenientes Brocot (1988: 315) ensayó los soportes rígidos sobre moldes subacuáticos en resina de poliéster con resultados dispares que no obstante abrieron una provechosa vía de investigación.

Sistema combinado con silicona y resina de poliéster

Con el fin de optimizar la fabricación de moldes subacuáticos respecto a los sistemas conocidos se vino trabajando en distintos proyectos participados por el Centro Nacional de Investigaciones Arqueológicas Subacuáticas para el desarrollo de un nuevo procedimiento que aportase ventajas sobre los anteriores (2000: 175-182). La novedad del procedimiento finalmente obtenido, reside en el sistema de aplicación de los productos empleados, elastómero de silicona RTV y resina de poliéster. Así como en la combinación específica de los mismos.

Frente a los anteriores métodos de aplicación en "colada" -producto fluido- o en "compresión" -producto estratificado- aquí se propone un sistema de aplicación controlada que a partir de ahora se llamará en "adición".

Los productos usados para la obtención del molde flexible son: un elastómero de silicona tipo RTV, un catalizador de silicato de etilo como agente de curado y un aditivo tixotrópico convencional.

Este producto pueden usarse con distintos tipos de catalizadores de silicato de etilo en función del tiempo de curado que se estime adecuado. El tipo "estándar" tiene un tiempo de curado máximo de hasta 24 horas. Además,

existe un catalizador "rápido" con un tiempo de curado entre 3 y 4 horas y un catalizador "muy rápido" efectivo entre 1 y 2 horas. La elección del catalizador se efectúa en previsión del "tiempo de manipulación" necesario para aplicar el producto sobre el sustrato. Siempre que el tiempo de curado no sea un condicionante inexcusable del trabajo se recomienda usar el agente de curado tipo "estándar" ya que se obtiene mejor calidad en el registro.

Mientras tanto, el soporte rígido se prepara a base de resina de poliéster modificada con cargas inorgánicas. Se aplica sobre el molde de silicona ya curado adaptándose a la superficie exterior del mismo.

Los productos empleados para la obtención de la masilla de poliéster para uso subacuático son: una resina de poliéster tixotrópica y preacelerada como base, sílice coloidal pirogenada como carga, y peróxido de metiletilcetona como catalizador de la reacción.

Elaboración del molde flexible

El método de preparación de la masilla para fabricar el molde flexible es el siguiente:

1. Se mezcla la base del elastómero de silicona con el agente de curado en la proporción de 3 a 5% en volumen de este respecto de la silicona.

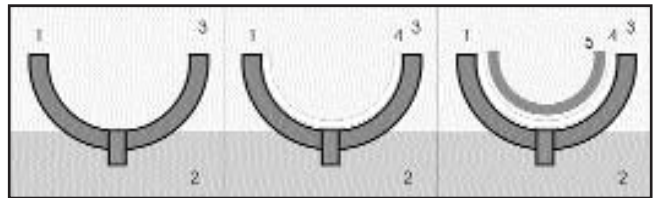
2. Se baten energicamente los dos productos durante 3 minutos hasta obtener una mezcla homogénea.

3. Se añade el aditivo tixotrópico en proporción de 10% en volumen sobre el volumen inicial de la base de silicona.

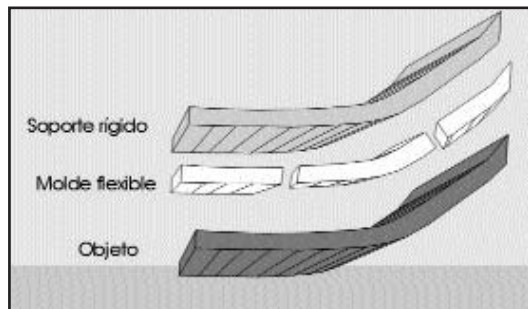
4. Se bate energicamente la mezcla durante 3 minutos hasta lograr una masa densa que no descuelgue en posición vertical.

La masilla así preparada está lista para su aplicación inmediata. Recién preparada tiene un "tiempo de trabajo óptimo" de 35 minutos aproximadamente para su empleo dentro del agua. Debe evitarse el contacto con el producto fuera del agua por ser muy adherente y difícil de eliminar hasta su completo curado.

Todos los productos usados en la mezcla son sensibles a la



Lám. 3: Simulación gráfica del proceso de reproducción mediante el "sistema combinado" sobre una estructura cerrada. 1. estructura a reproducir, 2. lecho de arena, 3. agua circundante, 4. molde interior de silicona y 5. contramolde rígido modular



Esquema de fabricación del molde subacuático



Preparación del objeto, con un pincel se retira la arena y cualquier otro producto que no interese reproducir

humedad por lo que deben extremarse el cuidado en evitar el agua ante el riesgo de inhibición.

La aplicación del producto se realiza del siguiente modo:

1. Se introduce el recipiente con la masilla dentro del agua.

2. Se toma con la mano una pella de silicona para aplicarla con una ligera presión sobre la superficie del objeto a reproducir cubriendo toda la extensión deseada.

3. Se espera hasta un máximo de 24 horas para lograr el curado completo de la silicona.

Deben tenerse en cuenta las siguientes advertencias:

1. La calidad de registro obtenida con la silicona aplicada tras el "tiempo óptimo de trabajo" disminuye proporcionalmente al tiempo de sobrepaso.

2. Superando excesivamente el "tiempo óptimo de trabajo" la silicona deja de ser manipulable.

3. El molde obtenido es tanto más flexible cuanto menor sea el grosor de la capa de silicona aplicada.

4. La adición manual de silicona permite el ahorro de producto y una capa excesivamente gruesa no mejora la calidad del registro.

5. En zonas complicadas (detalles minuciosos y pequeñas cavidades) debe insistirse con ligeras presiones digitales para lograr una mejor adaptación del producto.



Las pequeñas pellas del producto se ligan sin dificultad hasta formar una sola capa sobre la superficie del objeto cuyo grosor depende de la extensión del molde

La masilla de silicona se adapta manualmente sobre el sustrato con una ligera presión que mejora la calidad del registro y posibilita la retención física del producto desprovisto de su facultad adherente

Elaboración del soporte rígido

El método de preparación de la masilla de poliéster para la obtención del soporte rígido es el siguiente:

1. Se mezcla la resina de poliéster tixotrópica con sílice coloidal en polvo en proporción volumétrica 1:2 (1 vol. de resina x 2 vol. de sílice).
2. Se agita enérgicamente la mezcla hasta obtener una masilla de aspecto untuoso.
3. Se mezcla la masa obtenida con el peróxido de metiletilcetona en proporción de 4 % en volumen de éste con respecto a la masa agitando enérgicamente hasta lograr un reparto homogéneo.

La masilla obtenida según este procedimiento permite un rápido fraguado. Puede aplicarse manualmente. Presenta unas buenas condiciones de dureza y consistencia post-curado. Ofrece un buen rendimiento y un bajo coste económico. Es necesario proteger la piel, los ojos y las vías respiratorias cuando se manipulan los componentes de la masilla de poliéster. Recién preparada tiene un "tiempo óptimo de trabajo" de 15 minutos para su empleo dentro del agua.



El procedimiento de fabricación del soporte rígido se diferencia del anterior en el material base-resina de poliéster- y el trabajo de mecanizado necesario para su extracción



Inicialmente se crea un módulo base practicando cajas de ensamblaje sobre la resina en fase de gel consistente para ser cortado con la intervención de un cutter

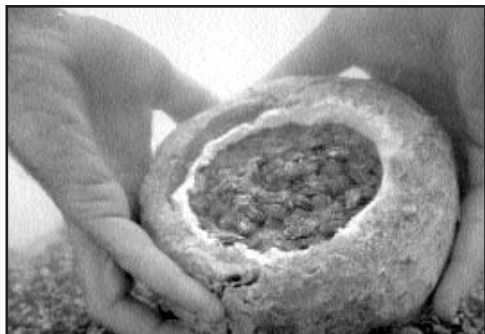
La aplicación de la resina de poliéster para el soporte rígido se realiza del siguiente modo:

1. Se introduce el recipiente con la masilla dentro del agua.
2. Se toma con la mano una pella de masilla para aplicarla manualmente.
3. Se reparte la masilla modelando según las necesidades del trabajo.
4. Se espera hasta un máximo de 15 horas para garantizar un endurecimiento completo del producto. Al cabo de una hora ha adquirido aproximadamente el 75 % de la consistencia final.

Deben tenerse en cuenta las siguientes advertencias:

1. Si se sobrepasa el "tiempo óptimo de trabajo", 15 minutos, la masilla deja de ser manipulable.

2. La manipulación por encima del tiempo recomendado, 15 minutos, merma las características de resistencia del producto terminado.



Operación de volteo para la extracción del objeto sin riesgo de alteración física

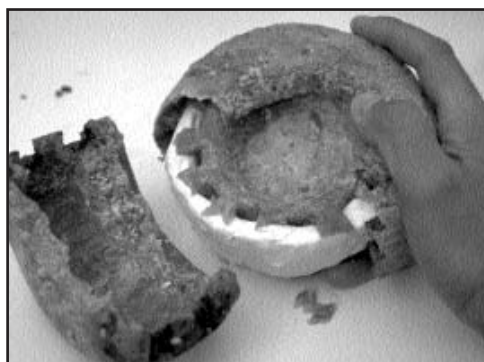
3. Los tiempos señalados en la preparación del soporte rígido y el molde flexible son indicativos y aproximados. Se basan en experiencias de laboratorio y campo realizadas en condiciones particulares. Consecuentemente, los tiempos pueden verse afectados por la variación en las condiciones del medio o cualquier alteración sustancial del método de trabajo establecido.

Una vez completados el molde flexible y el soporte rígido se procede a su extracción y posterior montaje. Para la reproducción del objeto moldeado existen infinitud de productos en el merca-

do. En el caso de la madera es muy aconsejable el empleo de resinas epoxy con cargas celulósicas. En el proceso de reproducción o "positivado" el molde flexible y el soporte rígido forman una sola unidad donde el primero aporta la precisión del detalle y el segundo mantiene la forma del objeto sumergido.

El sistema de moldeo aquí descrito constituye un resumen de la técnica empleada en el Barco I de Mazarrón excavado en la primavera de 1995 dentro del "Proyecto Nave Fenicia".

A continuación se detallan dos actuaciones arqueológicas realizadas dentro del "Proyecto Nave Fenicia", donde se ha experimentado esta técnica de moldeo subacuático. La ejemplificación de estos procesos pretende exponer un modelo general o forma de intervención utilizable en situaciones simila-



El desmontaje del contramolde se realiza en orden inverso a su fabricación



La impresión del original permanece en la cara interna del molde de silicona cuya flexibilidad le permite extraerse sin daño para el objeto

res más que hacer una descripción pormenorizada de la experiencia. No obstante, el texto se acompaña de referencias visuales para facilitar la comprensión de la técnica.

Moldeo de una estructura naval, "el Barco Fenicio I de Mazarrón"

La demostración práctica del moldeo subacuático sobre una estructura de grandes dimensiones se ha verificado sobre los restos del 1^{er} barco fenicio excavado en la Playa de la Isla de Mazarrón –Murcia- por el Centro Nacional de Investigaciones Arqueológicas Submarinas.

A continuación, se describe la preparación subacuática del molde flexible y el soporte rígido del casco interior de este barco sumergido a 3 metros de profundidad.

Para la planificación correcta del trabajo debe realizarse un cálculo muy aproximado de los materiales necesarios en la ejecución del proyecto. En la preparación del molde flexible se considera suficiente un espesor de 2 cm.

Como se trabaja por etapas, formando el molde por la conjunción de diversos módulos que permiten mantenerse en el "tiempo óptimo de trabajo", debe contemplarse aproximadamente un consumo de masilla del 10% por encima de la estrictamente necesaria para la superficie calculada.

En este proyecto se precisan 20 litros de elastómero por cada metro cuadrado de superficie. De lo cual se deduce un gasto de 360 litros para la superficie y 36 litros para el solapamiento de los módulos. El consumo total aproximado de elastómero de silicona para el molde flexible es, pues, de 396 litros.

En la preparación del soporte rígido, el espesor del soporte adecuado es de 3 centímetros. Cada metro de superficie a cubrir requiere 30 litros de masilla de poliéster. Para construir un sistema modular hay que añadir un 10% más de la masilla total de superficie. Con ello obtenemos los siguientes números: 540 litros de masilla de poliéster y 54 litros para el solapamiento de módulos. Esto hace un total de 594 litros de consumo de masilla de poliéster.



La silicona se toma desde los recipientes donde se ha transportado hasta el objeto



La silicona se aplica manualmente, adaptándola sobre la superficie del objeto con una ligera presión

Debe tenerse en cuenta que el grosor del molde y del soporte puede ser conveniente variarlos en función de las circunstancias y según diversos criterios. En otros casos deberán recalcularse las cantidades de material necesario.

Una vez a punto los productos necesarios, se procede a la preparación de la masilla de silicona para obtener el molde flexible. Para ello se mezclan los materiales antes citados, en las proporciones señaladas, rellenando recipientes de 5 litros, correspondientes a las tareas de aplicación según el "tiempo óptimo de trabajo".

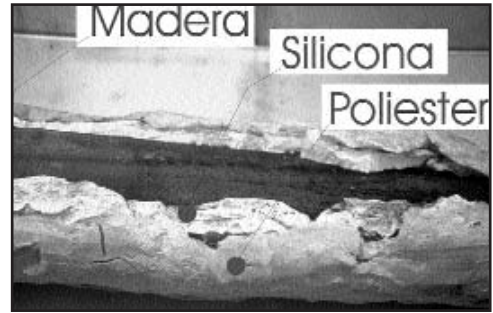
A continuación se sumerge el operador con el recipiente procediendo a la aplicación manual de su contenido sobre unos 25 centímetros cuadrados de superficie. El operador controla el grosor y la distribución del producto. No debe tardarse más de 40 minutos en la aplicación de un recipiente.

La superficie de los módulos no corresponde necesariamente a la obtenida con el volumen de un recipiente de preparación. El elastómero "mordiente" adhiere bien sobre el "curado" pudiendo aumentar la superficie de un módulo a voluntad.

En el caso concreto del ejemplo se ha empleado el catalizador tipo "estandar" y el desmoldeo puede realizarse con facilidad transcurridas 10 horas.

Para la preparación del soporte rígido se mezcla en superficie la masilla de poliéster con la sílice pirogenada y el peróxido de metiletilcetona en el modo y proporciones anteriormente indicados. El volumen preparado se ajusta a la previsión de trabajo en un tiempo "óptimo" de 15 minutos. A continuación se sumerge el recipiente y el operador aplica manualmente el producto sobre el reverso del molde flexible controlando el grosor y la distribución del producto.

El sistema de aplicación modular para el poliéster es idéntico al empleado para el elastómero de silicona. Puede hacerse el solapamiento de módulos cuya extensión y forma es completamente arbitraria. Al cabo de 6 horas, en este caso, el soporte de poliéster es manipulable y puede extraerse a la superficie. Se retira el elastómero transportándolo de forma independiente.



La imagen tomada en el laboratorio muestra la cara inferior del elemento moldeado en la lámina anterior



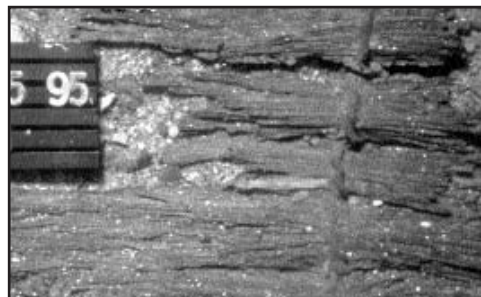
La resina de poliéster se aplica sobre la silicona hasta cubrir completamente la cara expuesta del objeto

Extracción de objetos fragilizados, "esterilla vegetal del Barco I de Mazarrón"

El hallazgo de una esterilla trenzada de fibras vegetales sobre la tablazón del Barco I plantea la necesidad de realizar una extracción segura de este vestigio conservado en unas condiciones extremas de fragilidad. La desmembración del trenzado trasversal es el principal riesgo de alteración que reviste el trabajo de recuperación.

Una vez desenterrado el plano vegetal de aproximadamente 30 x 15 cm., la simple acción de la corriente marina de poca intensidad es capaz de fragmentar irreversiblemente la fábrica del objeto. Por tanto, la técnica del molde se convierte en la mejor solución para fijar la estructura debilitada del objeto que pretendemos extraer a la superficie. El elastómero de silicona se convierte, de esta manera, en un soporte "a medida" que se adapta a la superficie del material impidiendo cualquier movimiento brusco e incontrolado.

El proceso de extracción comienza por excavar el objeto en la extensión suficiente para permitir la adaptación del elastómero con garantías de fijación. La preparación de la silicona se realiza conforme al sistema descrito anteriormente aplicando el producto con el grosor proporcionado a la superficie del objeto. La irregularidad del objeto puede sugerir el empleo de una mayor cantidad de producto para superar los desniveles del sustrato y obtener un grosor uniforme mínimo de uno a dos centímetros.



Resto de esterilla *in situ*

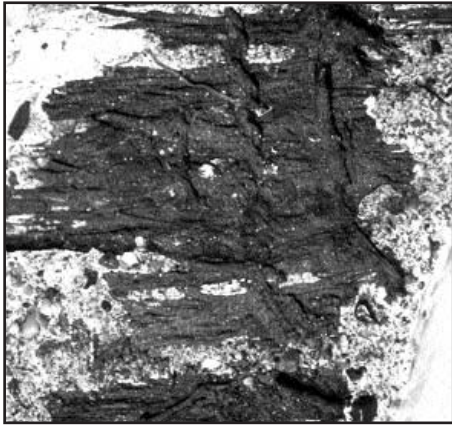
Asimismo, el empleo de un soporte rígido es opcional en virtud de las dimensiones del objeto, ya que no superando los 50 x 50 cm., este parte del sistema puede suplirse por un engrosamiento del molde para restarle flexibilidad y obtener un soporte más estable.

Habiéndose producido la curación del producto, el objeto puede girarse sobre sí mismo, invirtiendo su posición y mostrando la cara que permanecía enterrada. De esta forma se adquiere un control directo sobre la parte no protegida del objeto que no obstante, para más seguridad, puede introducirse en un recipiente y ser cubierta con un pequeña cantidad de arena.

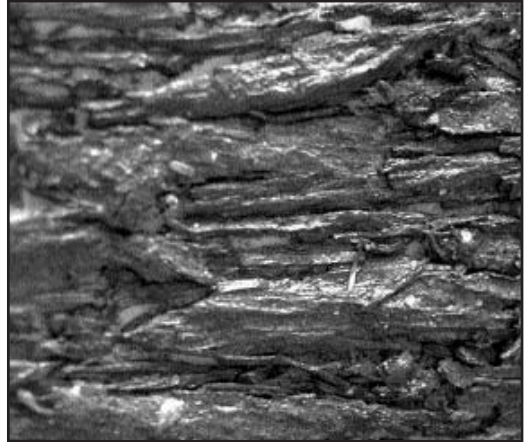
La extracción del objeto en estas circunstancias garantiza la estabilidad física del mismo. Además, la envoltura de arena le permite mantener unas condiciones químicas -humedad, luz, temperatura- semejantes al medio de origen indispensables para evitar su alteración.

El objeto trasladado al laboratorio de conservación puede ser progresivamente desprovisto de los elementos incorporados. En primer lugar, se retira la arena para lo cual es preciso realizar una delicada micro-excavación que

deje a la vista el área total del objeto. Observando un gran cuidado en la operación se extrae el molde junto con el objeto para proceder a su lavado que debe ser tan esmerado como exijan las condiciones del material. Si es preciso, el agua puede aplicarse en forma de aspersión indirecta para emparar la superficie del objeto y despejar paulatinamente los restos de arena.



Esterilla invertida sobre el molde una vez extraído

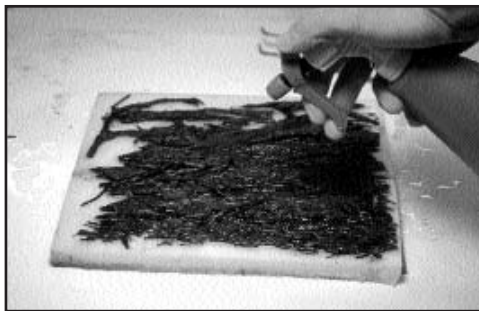


Detalle de las fibras desmoldadas

El desmoldeo es finalmente la operación más comprometida de este proceso. Para retirar el molde del objeto, nunca a la inversa, puede ser necesario actuar sobre el mismo practicando cortes estratégicos que permitan su extracción sin daño del objeto.

Completado este paso, el material se tratará según el proyecto de intervención establecido de antemano. En cualquier caso, la inercia química del elastómero permite incorporarlo al tratamiento de consolidación prescrito o conservarlo junto al objeto durante el espacio de tiempo necesario con la medidas de prevención adecuadas.

La reproducción final del objeto puede realizarse con diferentes materiales –resina de poliéster, escayola, epoxi, etc.–, según la finalidad establecida –exhibición didáctica o estudio dimensional. En cualquier caso, la técnica de



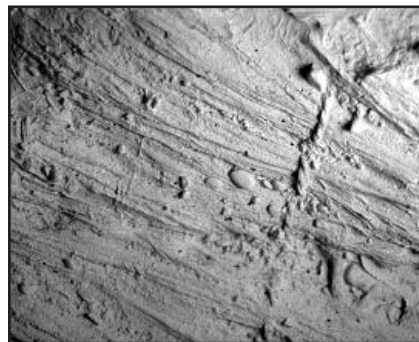
Humectación de las fibras depositadas sobre una cama de espuma de poliuretano



Utensilios de trabajo de policromía

vaciado se define en función del material escogido, ya sea por colada en líquido, en pasta o estratos laminares.

El método empleado en el ejemplo, escayola dental y policromado, es uno de los más habituales cuando se requiere un acabado cromático similar al objeto primitivo. Por otra parte, la óptima penetración de este material así como su escasa retracción dimensional, lo hacen aconsejable en reproducciones de uso científico.



Detalle del positivo antes de la policromía

Productos y marcas comerciales

Base Silastic 3481 de DOW CORNING®. Especificaciones técnicas aportadas por el fabricante –DOW CORNING. PRODUCT SAFETY DATA SHEET, 30/08/94-: caracterización técnica = elastómero de silicona, nombre = silicato de zirconio, color = blanco, viscosidad = 4000 máximo mPa.s, RTV = 7,10 r.p.m. después de 8 minutos, cambio de viscosidad = 20 al 60 %, peso específico del producto preparado en hoja de 2 milímetros y curado durante 7 días a 22 °C, 50 % de humedad relativa = 1,17–1,23, dureza SHORE A = 16–26, resistencia a la rotura, mPa = 3,7 mínimo, alargamiento a la rotura, % = 400 mínimo, resistencia al desgarrar, KN/m = 18 mínimo.

Agente de curado Silastic 81 de DOW CORNING®. Especificaciones técnicas aportadas por el fabricante –DOW CORNING. PRODUCT SAFETY DATA SHEET, 01/07/94-: caracterización química = compuesto orgánico, nombre = tetraetil silicato, forma = líquido, color = transparente, peso específico = 0,95, viscosidad = 30 mPa, volatilidad = < 40 %.

Aditivo tixotrópico Silastic de DOW CORNING®. Especificaciones técnicas aportadas por el fabricante –DOW CORNING. PRODUCT SAFETY DATA SHEET, 12/07/94-: caracterización química = silicona, forma = líquido, color = ambar, viscosidad = 310 cst, peso específico = 1,04, volatilidad = 10 %.

Resina de poliéster RESIPOL tixotrópica (BH-719). Especificaciones técnicas generales (HORIE, 1987: 183): nombre = poli(1-fenil-etileno), temperatura de vitrificación = 80 °C, índice de refracción a temperatura ambiente (20-25 °C) = 1,59, módulo de elasticidad = 3500, estabilidad = C (20 años – 6 meses).

Sílice coloidal pirogenada LO-VEL 27. Especificaciones técnicas: nombre = bióxido de silicio puro (SiO₂), presentación = polvo blanco finísimo, superficie = 150 m²/gr., tamaño de partícula primaria = 21 nanómetros, pH = 6,5 a 25 °C.

Bibliografía

BLACK, M.; *Casting & moulding in paleoantropology and allied disciplines*. <<http://www.duke.edu/~mtb3/castingmanual>> [Consulta: 25 noviembre 2003].

- BLANCO GARCÍA, R. M.; *Un viaje a Grecia que cambió el rumbo de la arqueología en España. Proyecto de recopilación sistemática de fondos documentales de museos. N° PB 97-0286.* <<http://www.ucm.es/info/gmal/grecia.html>> [Consulta: 5 enero 2003].
- DALEY T., MURDOCK L. D. (1984): "Underwater molding of a cross-section of the San Juan hull: Red Bay, Labrador, Canada". *ICOM Committee for Conservation, 7th Triennial Meeting, Copenhagen*, vol. 1, 84.7.1-5.
- DAVID, R. y DESCLAUX, M. (1988): "Le moulage subaquatique", *Pour copie conforme*, (Serre Ed.), Paris, 315-316.
- EMPEREUR, J-Y: "Underwater archaeological investigations of the ancient Pharos" en *Underwater archaeology along the Alexandrian Coast. Underwater archaeology and coastal management* (UNESCO Publishing) Paris, 55.
- HORIE, C. V. (1987): *"Materials for Conservation. Organic consolidants, adhesives and coatings"*, (Butterworths ed.) Kent, 183.
- MORALES MIRANDA, J. (2001): *Guía práctica para la interpretación del patrimonio. El arte de acercar el legado cultural al público visitante* (Consejería de Cultura. Junta de Andalucía, EPGPC), Sevilla, 324.
- MURDOCK, L. D., DALEY, T. (1981): "Polysulphide rubber and its application for recording archaeological ships features in a marine environment", *IJNA 10.4*, 337-342.
- MURDOCK, L. D., DALEY, T. (1982): "Progress report on the use FMC polysulphide rubber compounds for recording archaeological ships features in a marine environment", *IJNA, 11.4*, 349-353.
- NEGUERUELA, I., PINEDO, J., GÓMEZ, M., MIÑANO, A., ARELLANO, I., BARBA, J. S. (1995): "Seventh-Century BC Phoenician Vessel Discovered at Playa de la Isla, Mazarron, Spain", *IJNA 24*, 189-97.
- OLMOS ROMERA, R. (1999): "Dibujos, moldes y fotografías: tres formas de apropiación de la cultura ibérica" *Catálogo exposición Albacete, 20 Mayo-30 Junio, 1999: La cultura ibérica a través de la fotografía de principios de siglo. Un homenaje a la memoria.* <<http://www.ffil.uam.es/catálogo/olmos.htm>> [Consulta: 4 de nov. 2002].
- UNESCO (2002): "Subaqua Fiches/ Engilsh. Summary." <<http://www.unesco.org/culture/legalprotection/water/images/infkite.pdf>> [Consulta: 23 de oct. 2002].
- ZAMBRANO VALDIVIA, L. C. (1995): "Nuevo procedimiento para la obtención de moldes subacuáticos". ES-2 119 649. España. Patente de Invención. 9501565.1995.08.95.
- ZAMBRANO VALDIVIA, L. C. (2000): "Moldeo subacuático de objetos arqueológicos", *PH Boletín 32*, 175-182.