

Conservación *in situ* en el Proyecto Arqueología Antártica

Desafíos bajo el paralelo 60°S



Tesis doctoral

Gerusa de Alkmim Radicchi

Marzo, 2022

Dirigida por

Dra. María Begoña Carrascosa Moliner

Codirección

Dr. Andrés Zarankin



Conservación *in situ* en el Proyecto Arqueología Antártica

Desafíos bajo el paralelo 60°S

Tesis doctoral

Gerusa de Alkmim Radicchi

Marzo, 2022

Dirigida por

Dra. María Begoña Carrascosa Moliner

Codirección

Dr. Andrés Zarankin

*A todas las personas que se dedican
a las causas medioambientales.*

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi tutora, la Dra. Begoña Carrascosa Moliner, por sus enseñanzas y dedicación durante todo el tiempo de investigación en la UPV. Agradezco a mi cotutor, el Dr. Andrés Zarankin, por su total confianza en los resultados de nuestro grupo de trabajo en el Proyecto Arqueología Antártica. Agradezco a todos los docentes del DCRBC, al CHAM, ARC-Nucléart e ICUA por la contribución en mi formación doctoral. Agradezco a Jimena, Fernanda, Will y a todos compañeros de campo. Agradezco a Danielle por acogerme durante los últimos meses. Agradezco a Flávia, João Paulo, los amigos del curso de Historia y Janaína por la amistad que jamás se desvanece. Agradezco a mis hermanos, Beatriz, Ana Cláudia y André. Agradezco a Éder, Valéria, mis sobrinos y a todos mis queridos familiares por apoyarme. Agradezco a mi madre, que ahora es la estrella más brillante en el cielo de mis memorias. Agradezco especialmente a mi padre, a Antônio, Xavi y Aurélien por ofrecerme su cariño y sus cuidados. Agradezco a PROANTAR por la realización de las expediciones antárticas y, finalmente, agradezco a la FAPEMIG, a la CAPES, al Gobierno de la presidenta Dilma Rousseff y a Brasil por financiar el desarrollo de esta investigación doctoral.

La investigación ha recibido apoyo de la FAPEMIG, *Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais* (Proyecto APQ 01366-17), del PROANTAR, *Programa Antártico Brasileiro*, y se ha llevado a cabo gracias al *Programa de Doutorado Pleno no Exterior da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior–CAPES* (Brasil), por medio del *Programa de Doutorado Pleno no Exterior* de 2015.



RESUMEN

Este trabajo tiene como objetivo investigar los métodos de conservación *in situ* aplicables a los hallazgos arqueológicos de los loberos-balleneros, los cuales están compuestos por material proveniente del archipiélago Shetland del Sur (Antártica Occidental). Los loberos-balleneros fueron marineros llevados al territorio por compañías de caza de mamíferos marinos en los siglos XVIII y XIX. Esos cazadores habitaban temporalmente en refugios construidos en la Antártica. Las huellas que dejaron se caracterizan por la presencia de materiales muy frágiles, que se conservan debido a las condiciones ambientales particulares del continente antártico. Desde la primera expedición de excavación hecha por el Laboratorio de Estudios Antárticos en Ciencias Humanas de la Universidad Federal de Minas Gerais (LEACH), en 2010, un eje de investigación ha estado articulando la metodología de excavación a la conservación *in situ*. Este eje ha dado paso a este proyecto de investigación doctoral desarrollado en la Universitat Politècnica de València.

RESUM

Aquest treball té com a objectiu investigar els mètodes de conservació *in situ* aplicables a les troballes arqueològiques dels loberos-balleners, els quals estan compostos per material provinent de l'arxipèlag Shetland de Sud (Antàrtica Occidental). Els loberos-balleners van ser mariners duts al territori per companyies de caça de mamífers marins en els segles XVIII i XIX. Aquests caçadors habitaven temporalment en refugis construïts a l'Antàrtica. Les petjades que van deixar es caracteritzen per la presència de materials molt fràgils, que només es conserven a causa de les condicions ambientals particulars del continent antàrtic. Des de la primera expedició d'excavació feta pel Laboratori d'Estudis Antàrtics en Ciències Humanes de la Universitat Federal de Mines Gerais (LEACH), el 2010, un eix d'investigació ha estat articulant la metodologia d'excavació a la conservació *in situ*. Aquest eix ha donat pas a aquest projecte de recerca doctoral desenvolupat a la Universitat Politècnica de València.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo investigar os métodos de conservação *in situ* aplicáveis aos restos arqueológicos dos baleeiros do arquipélago de Shetland do Sul (Antártica Ocidental). Esses vestígios são caracterizados pela presença de materiais muito frágeis que são preservados apenas devido às condições ambientais particulares do contexto antártico. Os baleeiros-marinheiros eram marinheiros trazidos ao território por empresas de caça de mamíferos marinhos nos séculos 18 e 19. Os caçadores moravam temporariamente em abrigos construídos na Antártica. Desde a primeira expedição de escavação realizada pelo Laboratório de Estudos Antárticos em Ciências Humanas da Universidade Federal de Minas Gerais (LEACH) em 2010, um eixo de pesquisa articulou a metodologia da escavação à conservação *in situ*, que é Ele se transformou neste projeto de pesquisa de doutorado, desenvolvido em conjunto com a Universitat Politècnica de València.

ABSTRACT

The proposal aims investigate the methods of the *in situ* preservation of the whalers' archaeological remains, concerning to the South Shetland Archipelago (Occidental Antarctica). The whalers were sailors taken to the territory by companies hunting of marine mammals of the 18th and 19th centuries. These hunters lived temporarily in shelters made in Antarctica. These traces are characterized by the presence of very fragile materials, only preserved by the specific environmental conditions provided by the Antarctic context. Since the first excavation expedition made by of the Antarctic Studies Laboratory in Human Sciences of the Federal University of Minas Gerais (LEACH) in 2010, an axis of investigation is articulating the methodology excavation with the *in situ* conservation, which has become this PhD research project, developed together with the Universitat Politècnica de València.



Índice

Índice

Capítulo 1. Introducción, objetivo y metodología.....	3
1.1. Presentación de la investigación	3
1.2. Objetivos.....	5
1.3. Metodología	6
1.4. Organización del documento	8
1.5. La arqueología histórica antártica.....	9
1.5.1. La industria ballenera.....	13
1.5.2. La investigación arqueológica.....	18
1.5.3. El reconocimiento del patrimonio histórico antártico.....	20
1.6. Bases teórico-metodológicas.....	28
1.6.1. La restauración científica y la conservación preventiva	30
1.6.2. La teoría contemporánea	33
1.6.3. La práctica	36
1.6.4. El método.....	38
Capítulo 2. Estudio de los factores medioambientales de degradación	43
2.1. Degradaciones en el yacimiento arqueológico.....	43
2.1.1. Procesos naturales y procesos culturales de degradación.....	44
2.1.2. Agentes físicos exteriores de degradación	48
2.1.3. Agentes químicos exteriores de degradación	51
2.1.4. Biodegradación.....	54
2.2. Condiciones medioambientales de Livingston	59
2.2.1. Clima, geomorfología y seres vivos	59
2.2.2. Microvestigios, solos y sedimentos	67
Capítulo 3. Estudio de los factores de degradación intrínsecos	75
3.1. Caracterización histórica y cultural de los hallazgos.....	75
3.2. Factores fisicoquímicos de degradación.....	81
3.3. Degradación de materiales orgánicos	86
3.3.1. Materiales no manufacturados.....	90
3.3.2. Materiales manufacturados	92
3.4. Degradación de materiales metálicos.....	104
3.4.1. Hierro	110
3.4.2. Bronce	114
3.4.3. Plomo.....	118

3.5. Degradación de materiales silíceos.....	120
3.5.1. Vidrio.....	124
3.5.2. Materiales cerámicos.....	128
Capítulo 4. Estudio de los tratamientos de conservación	137
4.1. Tratamientos de conservación en arqueología.....	137
4.1.1. Actividades interdisciplinarias.....	138
4.1.2. Consolidación	146
4.1.3. Extracción especial	155
4.1.4. Acondicionamiento	162
4.1.5. Limpieza	177
4.1.6. Secado.....	188
4.1.7. Pasivación de metales.....	196
Capítulo 5. Práctica de campo	213
5.1. Arqueología en Byers.....	213
5.2. Conservación en campo.....	233
5.2.1. Muestreo	237
5.2.2. Documentación	240
5.2.3. Uso de consolidantes.....	243
5.2.4. Extracción especial	247
5.2.5. Limpieza	252
5.2.6. Acondicionamiento húmedo de materiales orgánicos.....	257
5.2.7. Acondicionamiento seco de objetos metálicos	262
5.2.8. Traslados.....	265
Capítulo 6. Discusión de resultados y conclusiones	281
6.1. Resultados del método de trabajo	281
6.1.1. Estudios previos	281
6.1.2. Registro y documentación.....	294
6.1.3. Test de conservación	300
6.1.4. Transporte a Brasil	313
6.1.5. Llegada al laboratorio	316
6.2. Conclusiones.....	320
6.2.1. Conceptos clave.....	320
6.2.2. Toma de decisiones en la Antártica.....	322
6.2.3. Protocolo de conservación en campo	324

Consideraciones finales	343
Bibliografía	349
Índice de tablas	367
Índice de figuras	373



Dibujo de ballenas en el logbook del buque Indian Chief mantenido por Thomas R. Bloomfield (1842-1844). Fuente: Internet Archive

CAPÍTULO 1

Capítulo 1. Introducción, objetivo y metodología

Presentación de la investigación

Esta investigación tiene como objetivo establecer los tratamientos de conservación *in situ* para el material arqueológico rescatado en la isla Livingston, archipiélago Shetland del Sur, en la Antártica, por el Laboratorio de Estudios Antárticos en Ciencias Humanas de la Universidad Federal de Minas Gerais (LEACH-UFGM/Brasil). La tesis se centra en la definición de los procedimientos de conservación adecuados para la colección, la cual se considera patrimonio arqueológico de extrema importancia para la historia de la Antártica.

Según apuntan informaciones históricas, «[...] la presencia humana en las islas subantárticas y en la Antártica es de carácter episódica y responde a fluctuaciones en el tiempo»¹. Durante el siglo XIX se produjeron ciclos de ocupación y explotación relacionados a la actividad lobera-ballenera, cuya la intensidad variaba de acuerdo con la rentabilidad de esta actividad². En el siglo XIX, emprendimientos llevados a cabo por empresas particulares para la explotación de recursos de mamíferos marinos fueron llevados cada vez más a los límites de lo conocido o lo explotado³:

«En este caso se trataba del acopio de los productos extraídos de mamíferos marinos, para su comercialización en diversos mercados, entre los que se destacaba el chino a través del puerto de Cantón. Allí se vendían los cueros de lobos y focas, el aceite de elefantes marinos y recursos diversos de ballenas, como barbas, semen y aceite. Persiguiendo a estas especies de animales, las empresas explotaban temporariamente diversos puntos del globo a los cuales se incorporaron las islas más australes durante los meses que era posible el acceso a los mares y costas»⁴.

¹ SENATORE, María Ximena y ZARANKIN, Andrés. Arqueología histórica y expansión capitalista. Prácticas cotidianas y grupos operarios en Península Byers, Isla Livingston, Shetland del Sur. En: F. A. ACUTO y A. ZARANKIN, eds. *Sed Non Satiata: teoría social en la arqueología latinoamericana contemporánea*. Buenos Aires (Argentina): Del Tridente, 1999, p. 175.

² *Idem.*

³ *Ibid.*, p. 174.

⁴ *Idem.*

«Esta lógica económica caracterizó la llegada del hombre a la Antártica. La inversión de recursos y energía de la empresa se reducía al costo mínimo que asegurara el rendimiento del emprendimiento económico. En este caso, los operarios pueden ser considerados un recurso expeditivo, es decir, una variable por la que la empresa no se preocupaba más allá de garantizar su supervivencia como fuerza de trabajo durante los meses laborales. Esta política implicaba en términos concretos dejar librado a los operarios la producción de sus propios recursos para sobrevivir»⁵.

«Por su parte, la explotación de los recursos animales también siguió esta lógica. La incorporación de la Antártica a la dinámica capitalista consistió en la ampliación del rango de acción de estas empresas. El descubrimiento de nuevas colonias de mamíferos marinos y de nuevas extensiones marinas para la caza de cetáceos repercutió en una mayor abundancia de productos derivados — aceite y cueros—. Esto provocó una saturación del mercado y en consecuencia la caída de los precios vigentes en la época. Para mantener el rendimiento, las empresas debieron entonces aumentar el volumen de la explotación. Es así como la caza indiscriminada redujo drásticamente las poblaciones de mamíferos marinos en las nuevas áreas incorporadas. Esta reducción y el alto costo de acceso a latitudes australes provocó la retracción del rango de acción de las empresas»⁶.

Registros históricos apuntan, para la llegada de emprendimientos a las tierras australes aún a finales del siglo XVIII, a la caza de animales, lo que se intensificó durante la primera mitad del siglo XIX. Sin embargo, acerca de la vida de los cazadores que desembarcaron en la Antártica se conoce muy poco. Las fuentes histórico-documentales, a partir de las cuales la trayectoria de la conquista de la Antártica ha sido más comúnmente descrita, tratan exclusivamente de los objetivos

⁵ *Idem.*

⁶ *Ibid.*, pp. 174 y 175.

económicos, científicos y nacionalistas típicos de las expediciones que ocurrieron posteriormente (cerca del principio del siglo xx).

El Proyecto Arqueología Antártica tiene como objetivo el estudio de los procesos humanos de ocupación desde el período lobero-ballenero hasta la actualidad. Iniciado en Argentina en la década de 1990, el proyecto ha mapeado y excavado decenas de yacimientos loberos-balleneros de las islas Shetland del Sur, concentrados principalmente en la península Byers de la isla Livingston. Estos yacimientos se configuran como abrigos construidos en las primeras décadas del siglo XIX, para servir de refugio temporal a los cazadores que llegaban con las embarcaciones balleneras, principalmente norteamericanas y, en menor número, británicas. Ejecutaban las actividades de captura y procesamiento de materia prima animal extraída de los mamíferos marinos (como lobos y elefantes marinos), complementando el cargamento del navío que provenía principalmente de la caza de ballenas.

Por medio del LEACH, laboratorio coordinado por el Prof. Andrés Zarankin, codirector de esta tesis, el Proyecto Arqueología Antártica hace excavaciones arqueológicas desde 2010 en la isla Livingston. Recoge vestigios relacionados con las actividades domésticas y de trabajo de los cazadores (como comer, descansar y, por supuesto, cazar y almacenar los cueros, la grasa y los huesos)⁷. La mayoría de los objetos recuperados de este contexto histórico se encuentran hoy en la reserva técnica del LEACH, que se ubica en Belo Horizonte, Brasil.

Esta tesis doctoral, desarrollada en el Departamento de Conservación y Restauración de Bienes Culturales (CRBC-UPV), y coordinada por la Prof.ª Begoña Carrascosa, está basada en la investigación de rescate y la conservación de materiales arqueológicos en la Antártica. La conservación en la Antártica supone muchas particularidades y muchos desafíos, tanto por la diversidad de materiales arqueológicos como por la dificultad de acceso y trabajo en la región.

Objetivos

⁷ *Ibid.*; ZARANKIN, Andrés y SENATORE, María Ximena. Hasta el fin del mundo: Arqueología Antártica. *Præhistoria*. 2000, vol. 3, pp. 219-236; ZARANKIN, Andrés y SENATORE, María Ximena. Archaeology in Antarctica, 19th Century Capitalism Expansion Strategies. *International Journal of Historical Archaeology*. 2005, vol. 9, n.º 1, pp. 43-56; ZARANKIN, Andrés y SENATORE, María Ximena. *Historias de un pasado en blanco: Arqueología Histórica Antártica*. Belo Horizonte (Brasil): Argumentum, 2007.

Esta investigación se plantea con un objetivo principal y varios secundarios. El objetivo principal es contribuir al estudio y testado de los métodos de conservación *in situ* más adecuados para las excavaciones del LEACH en la Antártica. Los objetivos secundarios están repartidos en cuatro tópicos:

- Sistematizar las informaciones acerca de las metodologías de conservación en arqueología aplicadas a la excavación.
- Generar un protocolo de actuación para conservadores en contextos similares de excavación, como en regiones polares o en yacimientos arqueológicos donde haya artefactos orgánicos húmedos.
- Apoyar el objetivo del trabajo de los organismos mundiales actualmente involucrados en la protección y promoción del patrimonio histórico y cultural de la Antártica, como el ICOMOS (Consejo Internacional de Monumentos y Yacimientos) o el Tratado Antártico y el SCAR (Comité Científico de Investigaciones Antárticas).

Metodología

El proceso metodológico empleado en la realización de esta investigación ha estado cuidadosamente planteado y afianzado en su ejecución por un exhaustivo trabajo de documentación y recopilación bibliográfica, que ha sido la base para el desarrollo de los objetivos planteados y los trabajos de campo. Durante toda la investigación se han consultado y revisado publicaciones del área de la arqueología, bibliografía específica en conservación-restauración de bienes culturales, además de otras áreas afines.

El método de trabajo tiene como objetivo promover la instrumentalización para la toma de decisiones de conservación en campo por medio de los estudios previos. Los resultados de lo que fue experimentado en la práctica son evaluados y registrados, de manera que contribuyan a la construcción de parámetros coherentes para las acciones de conservación en el contexto de excavaciones arqueológicas en la Antártica.

La primera fase de la investigación, los estudios previos, está subdividida en tres grupos temáticos: factores exteriores de degradación (ambientales), factores intrínsecos de degradación (de acuerdo con el material y técnicas constructivas de los hallazgos) y métodos de tratamiento de conservación en arqueología. No

solamente los tratamientos de conservación *in situ* fueron revisados (pretratamiento), sino los estudios de los métodos postratamiento, que son llevados a cabo en el laboratorio y más a largo plazo.

La segunda fase de la investigación son las prácticas, que se desarrollaron en los campos de excavación de la isla Livingston en los años 2017, 2018 y 2019, y donde se testaron los métodos de tratamiento. La conservación de campo involucró actividades prácticas generales de la arqueología, como el decapado del suelo y el registro y recolección de material en el yacimiento, y actividades desarrolladas más estrictamente en el campo de la conservación, como el acondicionamiento y el desarrollo del test de conservación en campo.

La tercera y última fase de la investigación son los resultados. Esta etapa comienza con la evaluación y gestión del material recién llegado de campo a LEACH, y sigue con la presentación de los resultados de los estudios previos y de la experiencia de campo. La tercera parte finaliza con las conclusiones y la presentación de un protocolo, concebido para dar bases a la actuación para las futuras acciones de conservación en las expediciones de excavación de LEACH en la Antártica.

Es necesario hacer una aclaración en cuanto al significado de la expresión *in situ*. En el caso de proyectos de preservación en arqueología, el término ha sido con frecuencia utilizado para nombrar planes de preservación del yacimiento —a ejemplo de las recomendaciones de la UNESCO acerca de la preservación *in situ* para yacimientos arqueológicos subacuáticos—⁸. Sin embargo, en esta investigación las actividades de conservación que ocurren entre el yacimiento y el laboratorio, y no necesariamente *in situ*, son muy importantes en el contexto del rescate en la Antártica y ganaron un importante espacio en esta tesis. El tiempo de permanencia del equipo de excavación en los yacimientos de Livingston, en general, es reducido y muchas acciones de conservación son trasladadas al laboratorio de campo que se ubica en el campamento. Para solucionar esta cuestión acerca de la extrapolación de las actividades de ámbito *in situ* para un más amplio espacio de acción en los trabajos de campo, el término «*in situ*» en esta

⁸ EGGER, Bárbara; MAARLEVELD, Thijs J. y GUÉRIN, Ulrike (eds.). *Manual para actividades dirigidas al Patrimonio Cultural Subacuático: directrices para el Anexo de la Convención de la UNESCO de 2001*. París (Francia): UNESCO, 2013 [consulta: 16/09/2021]. Disponible en: <https://bit.ly/3mLHD2a>.

tesis también puede interpretarse como parte de la «conservación en campo», que son las actividades desarrolladas en suelo antártico, tanto *in situ* como en el laboratorio de campo.

Organización del documento

La tesis está estructurada en seis capítulos, de los cuales el primero versa sobre la presentación de la investigación del Proyecto Arqueología Antártica, los tres siguientes tratan sobre la revisión teórica de factores de degradación, características de materiales y revisión de los métodos que sustentan la práctica de conservación, y los dos capítulos siguientes presentan la práctica de campo y los resultados.

Capítulo 1. Ofrece una dimensión global del tema de investigación, abarcando la constitución del Proyecto Arqueología Antártica y el contexto histórico y cultural estudiado. También discute las opciones deontológicas en las que se basa la metodología y la práctica de esta investigación, presentando la importancia de la crítica a los principios teóricos clásicos de la restauración y de la orientación hacia los principales teóricos contemporáneos de la conservación.

Capítulo 2. Analiza las condiciones medioambientales de Livingston relacionadas a los factores de degradación de los materiales arqueológicos *in situ*. La comprensión de las condiciones naturales, como las condiciones para la formación y composición de suelo y sedimento, la pluviosidad, la fauna o la flora, es clave para la comprensión del estado de degradación de los hallazgos en este capítulo.

Capítulo 3. Analiza los factores intrínsecos de deterioro de los materiales arqueológicos recurrentemente encontrados en los yacimientos de Livingston, así como las características de manufactura de los artefactos. Se consideran, para la clasificación de los hallazgos, tres grandes grupos de materiales: orgánicos, metálicos y silíceos.

Capítulo 4. Presenta el resultado de la revisión bibliográfica acerca de los métodos de conservación en arqueología. En la mayoría de los casos los métodos de tratamiento en campo (pretratamiento) son etapas iniciales de tratamientos

llevados a cabo a largo plazo en laboratorio (postratamiento), factor que nos ha conducido a discutir los tratamientos por completo.

Capítulo 5. Presenta el trabajo práctico realizado en las actividades de excavación de los años 2017 (cerro Sealer 1), 2018 y 2019 (cueva Lima Lima) que se efectuaron en la península Byers (isla Livingston) por el LEACH. Muestra las actividades generales del grupo de trabajo en las expediciones y describe la práctica de conservación llevada a cabo en estas campañas.

Capítulo 6. Analiza los resultados obtenidos a través de la práctica de conservación en campo, enfocando la explicación en los factores que llevaron a la toma de decisión. Hace un repaso de las acciones que lograron ser las mejor sucedidas y los problemas de conservación que se presentaron como más desafiantes para la búsqueda de solución. Presenta las actividades de conservación relacionadas a la llegada del material arqueológico al laboratorio, y concluye la investigación de la tesis con la proposición de respuestas y la elección de abordajes teóricos. Este capítulo incluye una síntesis de la contribución científica de la tesis en forma de un protocolo, para apoyar la actuación de la conservación *in situ* para las excavaciones de los yacimientos loberos-balleneros en la Antártica.

La arqueología histórica antártica

El siglo XIX fue un período intenso de conquistas territoriales nacionales y de revoluciones sociales, donde la Antártica, el último continente inhabitado del planeta, fue definitivamente incorporado. Durante este período se desarrolló la rápida expansión del capitalismo en el mundo, fuera por la búsqueda de recursos naturales o para la articulación de las estructuras de poder del capital sobre las sociedades. Las conquistas territoriales llegaron a la Antártica a finales del siglo XVIII, y la definición de las rutas de caza de la industria ballenera ocurrió a principios del siglo XIX⁹.

Algunas informaciones históricas acerca de la ocupación de los loberos-balleneros en las Shetland del Sur ya eran conocidas por investigadores en la

⁹ ZARANKIN, Andrés y SENATORE, María Ximena. *Historias de un pasado en blanco: Arqueología Histórica Antártica*, op. cit.

primera mitad del siglo XX¹⁰. El mayor interés en la investigación arqueológica surgió a propósito de los primeros descubrimientos arqueológicos en la década de 1950, cuando un grupo de geólogos del British Antarctic Survey detectó y describió las estructuras remanentes de los refugios de los cazadores en la región¹¹. En la década de 90 del siglo pasado, bajo un protocolo de colaboración entre el Instituto Antártico Argentino (IAA) y el Programa de Estudios Prehistóricos de Chile-INACH, fueron rescatados algunos vestigios loberos-balleneros en las islas. De esta iniciativa se obtuvieron los primeros análisis arqueológicos del material proveniente de los abrigos de caza, y se realizaron las primeras publicaciones.

Frente a la clara relevancia del contexto arqueológico encontrado y el interés en llevar adelante las investigaciones, fue creado entonces el Proyecto Arqueología Histórica Antártica. En su fundación, el proyecto tuvo como base el convenio establecido entre el Departamento de Investigaciones Prehistóricas y Arqueológicas del IMHICIHU/CONICET y el Instituto Antártico Argentino, siendo dirigido desde 1995 por los Dres. Andrés Zarankin y Marian Ximena Senatore¹².

El proyecto creció y agregó muchos colaboradores, tanto en Latinoamérica como de instituciones de otros continentes. En 2009, Andrés Zarankin creó el LEACH —Laboratorio de Estudios Antárticos en Ciencias Humanas— en la Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG-Brasil), en la ciudad de Belo Horizonte. Desde entonces, el laboratorio se ha convertido en la institución central de investigación arqueológica en las islas Shetland del Sur. En 2010, el LEACH pasó a ser la única institución en desarrollar excavaciones en los campamentos loberos-balleneros en las islas Shetland del Sur. Los trabajos se concentran en la península Byers, en la isla Livingston (Figura 1), territorio de gran concentración de yacimientos:

¹⁰ SALERNO, Melisa Anabella; SENATORE, Maria Ximena y ZARANKIN, Andrés. Historias bajo cero. Arqueología de las primeras ocupaciones humanas en Antártica. En: L. A. BORRERO y N. V. FRANCO, comps. *Arqueología del Extremo Sur del Continente Americano. Resultados de nuevos proyectos*. Buenos Aires (Argentina): Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, 2008, pp. 117-130; FUNDACIÓN HISTAMAR. Los objetos de la Cueva Lima-Lima, Isla Livingston, Shetland del Sur: una descripción y análisis (1995). [consulta: 02/11/2021]. Disponible en: <http://www.histamar.com.ar/SubArch/Cueva/LimaLimaBase.htm>.

¹¹ SALERNO, Melisa Anabella. Identidades extremas: moda, vestido e identidad en los confines de la sociedad moderna (Antártica, siglo XIX). *Arqueología*. 2007, n.º 13, pp. 185-211.

¹² SALERNO, Melisa Anabella. *Arqueología de la Indumentaria: Prácticas e Identidad en los Confines del Mundo Moderno (Antártica, siglo XIX)*. Buenos Aires (Argentina): Del Tridente, 2006, p. 28.

«Durante el siglo XIX, Livingston fue conocida como *Freezeland* en referencia a sus bajas temperaturas o Isla Smith en honor al inglés al que oficialmente se adjudicó su “descubrimiento”. Allí se encuentra la mayor concentración de sitios históricos del continente. Ello se debe a que los recursos de sus playas atrajeron un número importante de cazadores a lo largo del tiempo. Específicamente, Península Byers se localiza en el extremo oeste de Livingston. Se trata de una amplia zona libre de hielo, cuyo centro se ubica a 62° 38' lat. S y 61° 05' long. O»¹³.

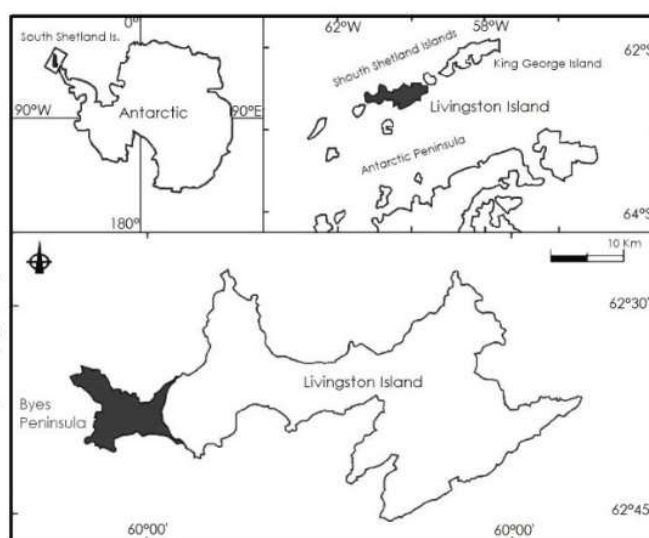


Figura 1. Península Byers¹⁴

Antes de la creación del LEACH, el Proyecto Arqueología Histórica Antártica ya había mapeado decenas de yacimientos arqueológicos de los lobo- balleneros¹⁵, todos ellos caracterizados como yacimientos temporales de carácter productivo y/o residencial. Los yacimientos están ubicados en áreas abiertas o cerca de afloramientos rocosos en las playas de las islas que componen el archipiélago Shetland del Sur. Los muros de los abrigos son construidos con bloques

¹³ ZARANKIN, Andrés; SENATORE, María Ximena y SALERNO, Melisa Anabella. Tierra de nadie: Arqueología, lugar y paisaje en Antártica. *Revista chilena de Antropología*. 2011, vol. 24, n.º 2, p. 154.

¹⁴ Basado en VELÁZQUEZ, D., JUNGLUT, A. D., ROCHERA, C., RICO, E., CAMACHO, A., & QUESADA, A. (2017). Trophic interactions in microbial mats on Byers Peninsula, maritime Antarctica. *Polar Biology*, 40(5), 1115-1126. Figure 1, Location of Byers Peninsula at Livingston Island in the South Shetland Islands of maritime Antarctica.

¹⁵ ZARANKIN, Andrés y SENATORE, María Ximena. *Historias de un pasado en blanco: Arqueología Histórica Antártica*, op. cit.

de rocas desprendidas, huesos de ballena y otros materiales traídos de los navíos balleneros¹⁶ (Figura 2).

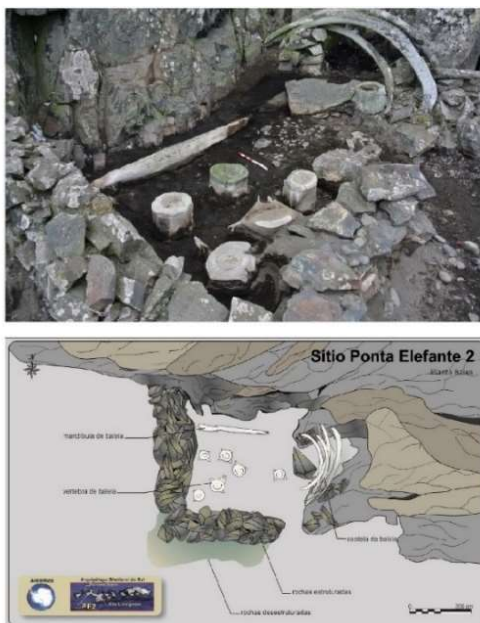


Figura 2. Sitio Punta Elefante 2, isla Livingston¹⁷

Las investigaciones del Proyecto Arqueología Histórica Antártica pueden ser divididas en dos enfoques de estudios en sus primeras décadas. En el primer enfoque (1995-1999) se consideraron los aspectos económicos, y el segundo (1999-2006) interpretó los resultados obtenidos desde una dimensión ideológico-simbólica¹⁸. Después de 2006 y de la constitución del LEACH, las investigaciones se vincularon más a distintos contenidos interdisciplinarios, como la antropología, la conservación, la arqueología pública y la arqueología 3D. En 2010, el Proyecto Arqueología Antártica ingresó en el PROANTAR —Programa Antártico Brasileiro (programa de la Marina de Brasil)—, donde pudo desarrollar las excavaciones arqueológicas y sus proyectos interdisciplinarios en la Antártica. Con el fin de promover las actividades de preservación del material arqueológico recuperado, el LEACH formalizó una asociación con el Laboratorio de Ciencias de la

¹⁶ SENATORE, María Ximena y ZARANKIN, Andrés. Arqueología histórica y expansión capitalista. Prácticas cotidianas y grupos operarios en Península Byers, Isla Livingston, Shetland del Sur, *op. cit.*, p. 172.

¹⁷ Fuente: LEACH, 2012.

¹⁸ SALERNO, Melisa Anabella. Arqueología de la Indumentaria: Prácticas e Identidad en los Confines del Mundo Moderno (Antártica, siglo XIX), p. 28-32., *op. cit.*

Conservación de la Escuela de Bellas Artes UFMG (Lacicor/EBA/UFMG), asegurando así el apoyo de los investigadores y profesores de conservación-restauración para las actividades en el LEACH. El apoyo fue coordinado por la Dra. Yacy-ara Froner Gonçalves, quien desde 2011¹⁹ fue la primera conservadora en investigar los métodos de conservación y a acompañar las actividades de excavación en Livingston.

En 2015, la investigación de la conservación en el LEACH se convirtió en el tema de esta investigación de doctorado, desarrollada en la Universitat Politècnica de València, en el Departamento de Conservación y Restauración. Fue dirigida por la Dra. Begoña Carrascosa y codirigida por el Dr. Andrés Zarankin, quienes proporcionaron todo el soporte para el diálogo entre la investigación arqueológica y de conservación. La investigación fue contemplada principalmente por el financiamiento del Gobierno brasileño por medio de la CAPES —Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior—, por medio de la FAPEMIG —Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais— y por las OPERANTARes —Operaciones Antárticas Brasileiras— del PROANTAR.

1.5.1. La industria ballenera

La caza de ballenas se remonta a tiempos prehistóricos²⁰ y desde hace muchos siglos esta fue una actividad tradicional en Europa, como en la región de Galicia²¹ y en los mares del norte de Europa²², y en muchos otros sitios del mundo. En sus primeros tiempos la caza de ballenas no se realizaba en alta mar. Hasta el siglo xx fue práctica común la caza más costera de ballenas y el uso de estaciones en la costa, donde se procesaban los animales sacrificados²³.

En la fase moderna de la caza de ballenas se destacó la caza marítima. Empezó a finales del siglo xviii y tuvo su auge en el siglo xix, con la expansión de la

¹⁹ ZARANKIN, Andrés; HISSA, Sarah; SALERNO, Melisa Anabella; FRONER, Yacy-Ara; DE ALKMIM RADICCHI, Gerusa; DE ASSIS, Luis Guilherme Resende y BATISTA, Anderson. Paisagens em branco: arqueologia e antropologia antárticas-avanços e desafios. *Vestígios*. 2011, vol. 5, n.º 2, pp. 11-51.

²⁰ WHITRIDGE, Peter. The prehistory of Inuit and Yupik whale use. *Revista de arqueología americana*. 1999, n.º 16, pp. 99-154.

²¹ Conferir *World Heritage Nomination for the Red Bay Basque Whaling Station*. Terranova y Labrador, Canadá, enero de 2012 [consulta: 16/03/2022]. Disponible en: <https://whc.unesco.org/uploads/nominations/1412.pdf>

²² BRITO, Cristina. Medieval and early modern whaling in Portugal. *Anthrozoös*. 2011, vol. 24, n.º 3, pp. 287-300.

²³ CURRIE, Stephen. *Thar She Blows: American Whaling in the Nineteenth Century*. Minneapolis (Estados Unidos): Lerner Publications Company, 2001.

actividad ballenera por los todos los océanos. La manera de cazar cambió drásticamente, pues las embarcaciones salían a alta mar y, allí mismo, cazaban y procesaban las materias-primas de las ballenas. El aceite para la iluminación, principal producto, era hervido y almacenado en barriles en el navío (Figura 3). Los navíos balleneros solían realizar expediciones de dos o más años. Comercializaban durante los viajes otras mercancías, no solamente el producto de la caza de focas y ballenas, y contrataban tripulantes en las ciudades portuarias por donde pasaban²⁴. Las expediciones eran arriesgadas y, solamente en el caso de que no tuvieran infortunios y de que se encontrara animales en abundancia, la expedición finalizaba con los sótanos totalmente llenos de aceite.



Figura 3. Persecución de ballenas representada en el *logbook* del buque Washington mantenido por James G. Coffin (1842-1844)²⁵

Al principio, cuando las embarcaciones aún no se habían aventurado en mar abierto, el foco fue la ballena franca (*right whale*) y la jubarte (*humpback*). Estas son ballenas muy dóciles, que suelen nadar cerca de las orillas de la costa. Cuando la sobrepesca empezó a instaurarse y la tecnología náutica se desarrolló, los buques balleneros buscaron una mayor diversidad de especies en alta mar. En esta segunda fase, el foco se convirtió principalmente en el cachalote, la *sperm whale* (*Physeter macrocephalus*). El cachalote proveía del espermaceti y ámbar

²⁴ COSTA, Ricardo Manuel Madruga da. *A Ilha do Faial na logística da frota baleeira americana no Século Dabney*. Lisboa: Centro de História de Além Mar; Horta: Observatório do Mar dos Açores, 2012.

²⁵ HIRAM, H. Ackley, *4th mate died at sea Aug. 11, 1844. MS220 Log 252, Log of the ship Washington* [en línea]. Internet Archive, 1842 [consulta: 16/09/2021]. Disponible en: <https://archive.org/details/ms220log252/page/n1/mode/2up>.

gris. El espermaceti es un aceite blanquecino localizado en las cavidades del cráneo del animal que fue muy apreciado para la producción de cosméticos, lubricantes, ceras, entre otros. El ámbar gris, sustancia encontrada en las vísceras de pocos de los individuos de la especie, también fue muy apreciado para la producción de cosméticos, medicamentos y otros productos de gran valor en el mercado²⁶.

Las fuentes e investigaciones históricas asocian la dirección sur de la caza de mamíferos marinos en los siglos XVIII y XIX a la denominación de *south seafishery*²⁷. La *south seafishery* se clasificaba en tres ramas: la caza de la ballena negra (*black whale*)²⁸, la caza del cachalote (*Physeter macrocephalus*) y la caza de otros mamíferos marinos (como el elefante marino y el lobo marino)²⁹. Se efectuaba alrededor de las islas Kerguelen, Georgia del Sur, Shetland del Sur, y también en la costa de California. Según Anthony Dickinson, los animales fueron cazados ya a finales del siglo XVIII en las islas Malvinas (*Falkland Islands*) y Georgia del Sur y, desde principios del siglo XIX³⁰, en las islas Shetland del Sur. Los ingleses no habrían empezado a realizar la caza en los mares del sur antes de la guerra de Independencia de Estados Unidos³¹, pero sí comenzaron a participar a partir del siglo XIX³².

Aunque la caza de focas también se practicaba cerca del círculo polar ártico, en la Antártica la actividad estaba muy asociada a la industria ballenera en el hemisferio sur. Las focas son mamíferos de la familia de los cánidos (en latín científico, *Phocidae*), superfamilia de pinnípedos (*Pinnipedia*), adaptados a la vida marina. Podemos considerar el término «foca» para denominar popularmente

²⁶ HOARE, Philip. *Leviatán o la ballena* (trad. Joan Eloi Roca). Barcelona: Ático de los Libros, 2010.

²⁷ McCULLOCH, John Ramsay. *Dictionary, practical, theoretical, and historical, of commerce and commercial navigation*. Londres (Reino Unido): Longman, Rees, Orme, Brown, Green, and Longman, 1835 [consulta: 04/12/2014]. Disponible en: http://americanhistory.si.edu/onthewater/exhibition/3_7.html, p. 736.

²⁸ *Black whale*, o *right whale*, es un término genérico que puede indicar varias especies de ballenas, como la Eubalaena, la ballena franca del Atlántico norte (*Eubalaena glacialis*), la ballena franca del Pacífico norte (*Eubalaena japonica*) y la ballena franca austral (*Eubalaena australis*). Otras especies de ballenas también son mencionadas en los registros documentales del período ballenero moderno, como la sperm (*Physeter macrocephalus*), la humpback (*Megaptera novaeangliae*) y la gray (*Eschrichtius robustus*).

²⁹ McCULLOCH, John Ramsay. *Dictionary, practical, theoretical, and historical, of commerce and commercial navigation*. op. cit., p. 731-739.

³⁰ DICKINSON, Anthony B. Early nineteenth-century sealing on the Falkland Islands: attempts to develop a regulated industry, 1820-1834. *The Northern Mariner*. 1994, vol. IV, n.º 3, pp. 39-49.

³¹ McCULLOCH, John Ramsay. *Dictionary, practical, theoretical, and historical, of commerce and commercial navigation*, op. cit., p. 736.

³² STACKPOLE, Edouard A. *The voyages of the Huron and the Huntress: the American sealers and the discovery of the continent of Antarctica*. Connecticut (Estados Unidos): Marine Historical Society, 1955.

tanto a los lobos marinos (*Arctophoca gazella*) como a los elefantes marinos (*Mirounga leonina*) y otras especies próximas. Hubo una relación de complementariedad entre la caza de ballenas y de focas. Los aceites derivados de elefantes marinos eran algo similares al de las ballenas y, a menudo, han sido vendidos bajo el nombre *southern oil*³³. Aunque la caza de elefantes marinos se realizó como complementaria a la caza de ballenas, si se capturaba una gran cantidad de elefantes marinos era posible llenar toda la carga de la embarcación con aceite. La piel de lobo marino también era igualmente buscada en estos emprendimientos³⁴. La historiografía y la investigación arqueológica suelen nombrar a los cazadores de diferentes formas (*whalers, sealers...*), sin embargo, para esta tesis se optó por la nomenclatura «loberos-balleneros», aunque esto no quiere decir que estas personas solo mataran lobos marinos y balaias.

Desde la época colonial, Nueva Inglaterra (EE. UU.) ya estaba muy involucrada en la caza de ballenas, principalmente a través de ciudades como Salem, New Bedford y Nantucket. La «edad de oro» de la caza de ballenas para este territorio fue entre 1815 y 1860³⁵, cuando New Bedford se consagró como principal puerto ballenero a partir de 1830³⁶. Sin embargo, eso no duraría mucho tiempo. Si la documentación histórica relata que una embarcación salida de la ciudad de Salem (Massachusetts, EE. UU.) en 1784, habría regresado a la ciudad con 600 barriles de aceite de ballena y una gran carga de piel de foca³⁷, otros registros documentales de Salem nos cuentan que la caza de focas había disminuido después de los años 1820, y que sus barcos regresaron cada vez con menos pieles de lobos marinos y aceite de elefante³⁸. A mediados del siglo XIX la sobrepesca habría eliminado gran parte de la población de ballenas en el océano Atlántico, y muchos balleneros se trasladaron a los océanos Pacífico e

³³ McCULLOCH, John Ramsay. *Dictionary, practical, theoretical, and historical, of commerce and commercial navigation*, op. cit.

³⁴ KAYSE, Dave y MURPHY, Emily (eds.). *Pickled fish and salted provisions*, vol. 11, n.º 2: *Oil and Bone: Salem's Whaling Industry* [número completo], 2010 [consulta: 24/05/2021]. Disponible en: <http://npshistory.com/publications/sama/newsletter/v11n2.pdf>.

³⁵ THOMAS, Joseph D.; SAULNIERS, Alfred H.; MCCABE, Marsha L.; WHITE, Natalie A. y AVILA, Jay. *A Picture History of New Bedford, 1602-1925*, vol. 1. New Bedford (Estados Unidos): Spinner, 2013.

³⁶ LIBRARY OF CONGRESS. *Whaling industry links early 19th – Century Portuguese Settlements* [en línea]. S. f. [consulta: 27/11/2014]. Disponible en: <http://www.loc.gov/tr/hispanic/portam/industry.html>.

³⁷ KAYSE, Dave y MURPHY, Emily (eds.). *Pickled fish and salted provisions*, op. cit.

³⁸ *Ibid.*

Índico, donde se encuentran, por ejemplo, muchos registros de actividades de caza de mamíferos marinos en la isla Kerguelen³⁹.

Buscando por nuevos territorios para satisfacer las demandas de pieles y aceites de mamíferos marinos en el siglo XIX, la industria ballenera se expandió entonces hasta el sur de la Patagonia y las islas Shetland del Sur. Los barcos que actuaron en la Antártica procedían principalmente de la región de Estados Unidos⁴⁰ (Nueva Inglaterra) y, en segundo lugar, de Inglaterra⁴¹. En todo caso, debemos tener en cuenta que estas compañías balleneras tenían conformación internacional, lo que significaba que cazaban en múltiples océanos y mares, involucrando a varios países y reclutando a personal de varias nacionalidades.

Los buques balleneros solían dejar parte de la tripulación en los campamentos de caza provisionales en las islas Shetland durante algunas semanas, en los meses de verano. Organizados en grupos pequeños, eran responsables de la caza de focas en la región costera, que abundaban en las islas antárticas durante los meses más calientes del año:

«Desde la arqueología se puede establecer que la estrategia de las compañías de caza consistió en distribuir grupos de operarios a lo largo de la costa. Existe variedad en las cantidades de personas desembarcadas, los tamaños de los grupos y su organización social. Estos son aspectos que pueden ser discutidos mediante los resultados alcanzados en Península Byers»⁴².

Cazaban y preparaban las pieles y el aceite de los animales para el estoque en los buques balleneros al finalizar la estancia de trabajos en tierra. En las islas Shetland del Sur, desde su descubrimiento en 1819 hasta los primeros años de la

³⁹ PEARSON, Michael. 19th-century sealing vessels in the Southern oceans: An introduction to their history, wrecks and archaeological potential. *Australasian Journal of Maritime Archaeology*. 2018, n.º 42, artículo 25.

⁴⁰ BERGUÑO, Jorge. Las Shetland del Sur. El ciclo lobero. *Boletín Antártico Chileno*. 1993, vol. 12, n.º 1, pp. 5-13; STACKPOLE, Edouard A. *The voyages of the Huron and the Huntress: the American sealers and the discovery of the continent of Antarctica*, op. cit.

⁴¹ *Ibid.*, p. 10; SENATORE, María Ximena y ZARANKIN, Andrés. Arqueología histórica y expansión capitalista. Prácticas cotidianas y grupos operarios en Península Byers, Isla Livingston, Shetland del Sur, op. cit., p. 172.

⁴² ZARANKIN, Andrés; SENATORE, María Ximena y SALERNO, Melisa Anabella. Tierra de nadie: Arqueología, lugar y paisaje en Antártica, op. cit., p. 161.

década de 1820⁴³, los animales fueron bastante cazados, hecho que redujo drásticamente su presencia, haciendo que ya al final de este período la actividad dejara de ser del todo rentable. Sin embargo, la actividad fue reanudada algunas veces durante el siglo. Entre 1870 y 1880 las compañías balleneras finalmente abandonaron por completo la explotación⁴⁴.

1.5.2. La investigación arqueológica

La investigación del Proyecto Arqueología Antártica busca la comprensión general de la presencia humana en la costa patagónica, en el continente Antártico y en las regiones polares antárticas, lo que incluye la Antártica marítima y el archipiélago Shetland del Sur. Busca su relación con las estrategias económicas y capitalistas actuantes en estas regiones marginales del globo terrestre y desconocidas en los siglos XVIII y XIX.

El estudio de las actividades históricas loberas-balleneras en el extremo sur del planeta no cuenta con muchas documentaciones escritas. Una de las principales fuentes de investigación son los libros de registro de tripulantes y los *logbooks* (bitácoras), que tan solo contemplan la perspectiva de los altos rangos de las tripulaciones de los buques balleneros. Además, la documentación escrita proporciona más información sobre la vida en los navíos, y no en los abrigos de caza de focas, ya que los responsables que se encargaban de escribirlos, los capitanes y oficiales, no participaban de estas actividades⁴⁵.

Los objetos rescatados son la mayor fuente de información acerca de la vida y la realidad de los loberos-balleneros (Figura 4), pues sirven en la investigación como moderadores para proponer respuestas a las lagunas dejadas por la documentación escrita acerca de la vida de estos operarios en la Antártica.

⁴³ PEARSON, Michael. Conservation challenges in the South Shetland Islands, Antarctica [ponencia en congreso en línea]. En: *Australia ICOMOS Extreme Heritage Conference, Canberra, 2007* [consulta: 16/09/2021]. Disponible en: <https://www.aicomos.com/wp-content/uploads/michaelpearsonpolarheritagepaper.pdf>, p. 1.

⁴⁴ LIBRARY OF CONGRESS. *Whaling industry links early 19th – Century Portuguese Settlements*, op. cit.

⁴⁵ ZARANKIN, Andrés; HISSA, Sarah; SALERNO, Melisa Anabella; FRONER, Yacy-Ara; DE ALKMIM RADICCHI, Gerusa; DE ASSIS, Luis Guilherme Resende y BATISTA, Anderson. Paisagens em branco: arqueologia e antropologia antárticas-avanços e desafios, op. cit.

Figura 4. Colección del LEACH⁴⁶

Las investigaciones arqueológicas fundamentales sobre los yacimientos loberos-balleneros discuten las posibilidades analíticas de los vestigios arqueológicos en contrapunto a las fuentes históricas disponibles. Utilizan también la contraposición entre las escalas de estudio de carácter global y local de la historiografía y la arqueología, e investigan las particularidades inherentes a la trayectoria de los loberos-balleneros en la Antártica⁴⁷. En los primeros años de investigación, el Proyecto Arqueología Antártica se centró en la evaluación del sitio y de los artefactos por medio del estudio de las tareas desarrolladas en las islas Shetland del Sur. Posteriormente, la investigación ha incorporado la discusión de la organización y las prácticas sociales en función de los aspectos más simbólico-ideológicos de lo remanente en los campamentos⁴⁸.

Las metodologías analíticas arqueológicas del proyecto tienen también como antecedentes contar la historia de la conquista de la Antártica a partir del punto de vista de grupos sociales subalternos. Busca apoyo en los fundamentos epistemológicos comprometidos con la historia de los conflictos entre las clases sociales y las estructuras de poder dominantes. Vale relatar que los loberos-balleneros no recibían sueldo⁴⁹, sino que ganaban un pequeño porcentaje del lucro final del viaje, proporcional a la función y/o habilidad por la que eran contratados. No tenían garantías, derechos laborales, y debían comprar ellos mismos sus vestimentas y herramientas de trabajo.

⁴⁶ Pipa de material cerámico, mangos de lana, zapato de cuero, vértebra de ballena, varilla de metal, estuche de madera para cuchillos y frasco de vidrio. Fuente: LEACH, 2016.

⁴⁷ ZARANKIN, Andrés y SENATORE, María Ximena. *Historias de un pasado en blanco: Arqueología Histórica Antártica*, op. cit.

⁴⁸ SALERNO, Melisa Anabella. *Arqueología de la Indumentaria: Prácticas e Identidad en los Confines del Mundo Moderno (Antártica, siglo XIX)*, op. cit., pp. 29-31.

⁴⁹ PHILBRICK, Nathaniel. *A vingança da Baleia* (trad. Rubens Figueiredo). São Paulo (Brasil): Companhia das Letras, 2003, p. 12; FOSTER, Mark. *Whale Port: A History of Tuckanuckeet*. Boston: Houghton Mifflin, 2007, p. 44.

El Proyecto Arqueología Histórica Antártica hace finalmente una revisión crítica de los estudios históricos de las últimas décadas centrados en la era heroica —el período compuesto por los eventos del descubrimiento a finales del siglo XIX y primeros años del siglo XX—. Esta historiografía se concentró en los eventos oficiales de personajes históricos reconocidos y, entre tanto, se olvidó de la discusión acerca de la presencia precursora lobera-ballenera en la región. Los eventos históricos de la era heroica se trataron de la iniciativa de las expediciones nacionalistas, de cuño imperialista, motivadas por la conquista territorial polar. Incluyen las primeras expediciones al Polo Sur realizadas por el noruego Roald Amundsen, en diciembre de 1911, y por el británico Robert Falcon Scott (en enero de 1912). La era heroica tuvo como última iniciativa la Expedición Imperial Transantártica (1914-1917), la Expedición *Endurance* —programada por Ernest Shackleton para ser la primera en cruzar el continente antártico—⁵⁰.

1.5.3. El reconocimiento del patrimonio histórico antártico

Tres frentes de trabajo importantes están desde las últimas décadas implementando el reconocimiento del patrimonio de la Antártica. Por una parte, vemos la evolución en las recomendaciones del Tratado Antártico y el esfuerzo de las instituciones a él relacionadas. Por otra parte, actúan organismos vinculados a la reglamentación del patrimonio cultural, como la UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura) o el ICOMOS (Consejo Internacional de Monumentos y Yacimientos). El tercer frente de trabajo viene de las instituciones de investigación, como el Proyecto Arqueología Antártica, autoras de iniciativas científicas que proponen la investigación y registro del patrimonio de la Antártica.

El Tratado Antártico⁵¹ es el principal organismo que reglamenta las relaciones internacionales y la protección ambiental del continente. Fue firmado en Washington (EE. UU.) el 1 de diciembre de 1959, y entró en vigor el 23 de junio de

⁵⁰ ALEXANDER, Caroline. *The endurance: Shackleton's legendary Antarctic expedition*. Nueva York (Estados Unidos): Knopf, 1998.

⁵¹ SECRETARÍA DEL TRATADO ANTÁRTICO. *Tratado Antártico*. Washington DF (Estados Unidos), 1959, artículo 3.º [en línea] [consulta: 16/09/2021]. Disponible en: https://documents.ats.aq/keydocs/vol_1/vol1_2_AT_Antarctic_Treaty_s.pdf.

1961. Se compuso en su inicio por la adscripción de 12 países, llegando en su renovación, en 1991, a un total de 26 países —incluyendo Brasil y España—.

El tratado considera que la Antártica está definida como todas las tierras y barreras de hielo ubicadas al sur de la latitud 60°S. La motivación principal del tratado es la suspensión de las pretensiones militares, políticas y económicas en la región, y la implementación de la ocupación pacífica por medio de la libertad de la experimentación científica y del régimen de cooperación internacional.

A lo largo de la existencia del tratado se creó el Comité Especial de Investigación Antártica-SCAR (1958), y se han pactado otros acuerdos para el régimen legal acerca de las investigaciones en el territorio. De estos acuerdos, los más relevantes para la preservación ambiental son: la Convención para la Conservación de los Recursos Vivos Marinos Antárticos (Canberra, 1980), la Convención para la Regulación de Actividades sobre los Recursos Minerales Antárticos (Nueva Zelanda, 1998), y el Protocolo al Tratado Antártico para la Protección del Medio Ambiente (Madrid, 1991).

El Anexo V al Protocolo del Tratado Antártico versa sobre la protección del medio ambiente. Entró en vigor en 2002⁵² y estableció un marco de trabajo para la designación de las Zonas Antárticas Especialmente Protegidas (ZAEP) y Zonas Antárticas Especialmente Administradas (ZAEA):

«Estas zonas están destinadas a apoyar el objetivo de proteger integralmente el medio ambiente antártico. Actualmente existen 72 ZAEP y 6 ZAEA. Las ZAEP son sitios con destacados valores ambientales, científicos, históricos, estéticos o de espacios naturales, cualquiera que sea la combinación de esos valores, o la investigación científica en curso o prevista que garantice la protección adicional debida a dichos valores o los riesgos de los impactos antropogénicos sobre estos valores. Se ha efectuado un trabajo importante para apuntalar el desarrollo de una serie

⁵² El protocolo tiene seis anexos. Los anexos I a IV fueron adoptados en 1991 junto con el protocolo y entraron en vigor en 1998. El anexo V, sobre protección y gestión de zonas, fue adoptado por la XVI RCTA en Bonn en 1991 y entró en vigor en 2002. El anexo VI, sobre responsabilidad derivada de emergencias medioambientales, fue adoptado en la XXVIII RCTA en Estocolmo en 2005 y entrará en vigor cuando sea aprobado por todas las Partes Consultivas. Fuente: Secretaría del Tratado Antártico. El Protocolo al Tratado Antártico sobre Protección del Medio Ambiente [consulta: 16/09/2021]. Disponible en: <https://www.ats.aq/s/protocol.html>.

representativa de ZAEP, incluidos análisis espaciales para identificar distintos Dominios ambientales y Regiones biogeográficas de conservación de la Antártica. Las Partes del Tratado Antártico han acordado que estos marcos de trabajo espaciales sean referencias útiles para guiar la designación de las ZAEP dentro de un marco de trabajo ambiental-geográfico sistemático, y el Comité para la Protección del Medio Ambiente (CPA) ha reconocido la necesidad de un enfoque más sistemático para el desarrollo del sistema de zonas protegidas»⁵³.

Las ZAEP son sitios con valores ambientales, naturales, científicos, históricos y estéticos⁵⁴. La península de Byers, región donde se ubican todos los yacimientos excavados por el LEACH, es protegida por la ZAEP n.º 126 (la primera designación es de 1966)⁵⁵. Fue incluida en las Recomendaciones XVI-1991 del Tratado Antártico. Esta ZAEP señala la gran importancia biológica, geológica y arqueológica de la región y define criterios y zonas de protección en la península (Figura 5):

«La península Byers (62° 34' 35" S, 61° 13'07" O, 60,6 km²), isla Livingston, islas Shetland del Sur, fue designada originalmente como zona especialmente protegida (ZEP) 10 en virtud de la Recomendación IV-10 de 1966. Esta zona abarcaba el terreno sin hielo al oeste del margen occidental de la capa de hielo permanente de la isla Livingston, debajo del domo Rotch, así como la isla Window, situada a unos 500 metros de la costa noroeste, y cinco zonas pequeñas sin hielo en la costa sur, justo al este de la península Byers. Los valores protegidos por la designación original comprendían la diversidad de la fauna y la flora, varios invertebrados, una población considerable de elefantes marinos del

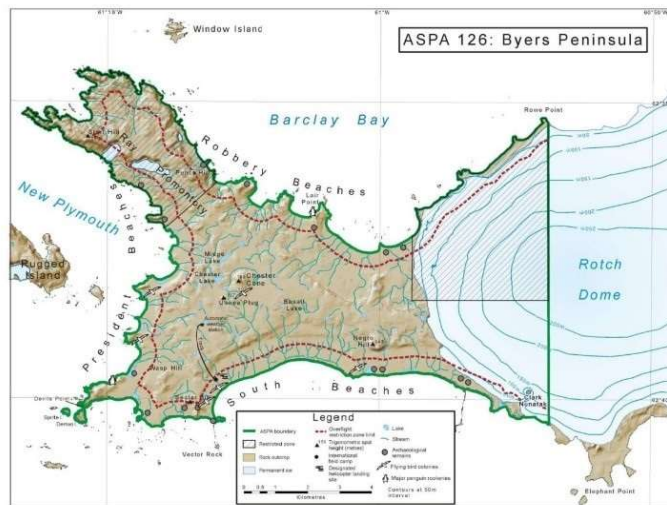
⁵³ McIVOR, Ewan; HUGHES, Kevin A.; ORTÚZAR, Patricia; PENHALE, Polly y TERAUDS, Aleks. *Zonas especialmente protegidas y gestionadas de la Antártica* [en línea]. Antarctic Environments Portal, 06/04/2014 [consulta 16/09/2021]. Disponible en: <https://bit.ly/3FCHFz>.

⁵⁴ La península de Byers está protegida por la ZAEP n.º 126, que reconoce sus notables valores arqueológicos. Fuente: SECRETARÍA DEL TRATADO ANTÁRTICO. *Plan de gestión para la zona antártica especialmente protegida n.º 126: Península Byers, Isla Livingston, Islas Shetland del Sur* [en línea], 2016 [consulta: 16/09/2021]. Disponible en: https://documents.ats.aq/recatt/att185_s.pdf.

⁵⁵ SECRETARÍA DEL TRATADO ANTÁRTICO. *Status of Antarctic Specially Protected Area and Antarctic Specially Managed Area Management Plans* [en línea], 2014. [consulta: 16/09/2021]. Disponible en: https://documents.ats.aq/ATCM37/WW/atcm37_ww002_e.pdf.

sur (*Mirounga leonina*), pequeñas colonias de focas peleteras antárticas (*Arctocephalus gazella*) y el gran interés científico relacionado con una variedad tan grande de plantas y animales en una zona relativamente pequeña» (Plan de gestión para la Zona Antártica Especialmente Protegida n.º 126)»⁵⁶.

«Además, se señala que los valores arqueológicos son únicos en su género, ya que en la zona se encuentra la mayor concentración de sitios históricos de la Antártida, como restos de refugios, artefactos contemporáneos y pecios de expediciones de caza de focas de principios del siglo XIX». (Plan de gestión para la Zona Antártica Especialmente Protegida n.º 126)»⁵⁷.



- Límite de la ASPA (Antarctic Specially Protected Area)
- Límite de zona de restricción de sobrevuelo
- Zona restringida
- Hielo permanente

Figura 5. Mapa topográfico de la península Byers⁵⁸

⁵⁶ SECRETARÍA DEL TRATADO ANTÁRTICO. *Plan de gestión para la zona antártica especialmente protegida n.º 126: Península Byers, Isla Livingston, Islas Shetland del Sur*, op. cit.

⁵⁷ SECRETARÍA DEL TRATADO ANTÁRTICO. *Plan de gestión para la zona antártica especialmente protegida n.º 126: Península Byers, Isla Livingston, Islas Shetland del Sur*, op. cit.

⁵⁸ Basado en SECRETARÍA DEL TRATADO ANTÁRTICO. *Management Plan for Antarctic Specially Protected Area No.126. Measure 4* (2016), p. 74. [en línea] [consulta: 16/03/2022]. Disponible en: https://documents.ats.aq/recatt/att591_e.pdf.

Los sitios o monumentos históricos (HSM, por su sigla en inglés) son también una categoría de zonas protegidas por el Tratado Antártico⁵⁹. El concepto se mencionó por primera vez en la primera reunión de las Partes Consultivas del Tratado Antártico, en 1961 (I RCTA, Canberra, Australia). La Recomendación I-IX hizo un llamado a los gobiernos «interesados en cualquier tumba, edificio u objeto de interés histórico» para intercambiar información acerca de su existencia. Como resultado, la Recomendación VII-9 adoptó la «Lista de Monumentos Históricos», compilada por primera vez en 1972⁶⁰. Para ser insertado en la lista, el bien histórico debe cumplir uno o más de los siguientes criterios⁶¹:

- a) Estar relacionado a un evento histórico particular que tuvo lugar en el sitio.
- b) Asociarse a personas importantes en la historia de la Antártica.
- c) Asociarse a logros significativos de resistencia o desarrollo.
- d) Ser representativo de actividades más amplias e importantes en el desarrollo y el conocimiento antártico.
- e) Ser una edificación de significado técnico, histórico, cultural o arquitectónico.
- f) Tener potencial educacional sobre actividades humanas significativas en la Antártica.
- g) Tener valor simbólico o conmemorativo para personas de muchas naciones.

No hay aún ningún yacimiento lobero-ballenero inscrito en la lista, pero las Áreas Especialmente Protegidas (ZAEP) ya incluyen las áreas de interés histórico relacionadas con los yacimientos loberos-balleneros de las islas Shetland.

En el ámbito de los organismos internacionales especializados en la orientación de la protección del patrimonio mundial, hemos visto en las últimas décadas un importante avance en las recomendaciones acerca del patrimonio arqueológico, y una importante evolución del concepto y la profundización en su diversidad. La conferencia de la UNESCO celebrada en Nueva Delhi en 1956

⁵⁹ SECRETARÍA DEL TRATADO ANTÁRTICO. *Lista de Sitios y Monumentos Históricos revisada* [en línea], 2016 [consulta: 16/09/2021]. Disponible en: https://documents.ats.aq/recatt/att596_s.pdf.

⁶⁰ SECRETARÍA DEL TRATADO ANTÁRTICO. *Recommendation ATCM VII-9*, Wellington, 1972 [en línea] [consulta: 16/09/2021]. Disponible en: <https://bit.ly/2YMeWKC>.

⁶¹ SECRETARÍA DEL TRATADO ANTÁRTICO. *Guidelines for the designation and protection of HSM*. Appendix to Resolution 3, 2009 [en línea] [consulta: 16/09/2021]. Disponible en: https://documents.ats.aq/cep/Guidelines_HSM_V2_2009_e.pdf.

adoptó las primeras recomendaciones que definen los principios éticos aplicados a las excavaciones arqueológicas, definiendo la colaboración internacional para la protección del patrimonio.

La Carta Internacional para la Conservación y Restauración de Monumentos y Yacimientos (la Carta de Venecia), de 1964, fue la primera recomendación mundial específica para la preservación de yacimientos arqueológicos, aunque trate de la preservación de yacimientos de carácter más monumental. La segunda recomendación mundial de gran relevancia para la definición de las bases para la preservación en arqueología han sido las Recomendaciones de París, producidas a partir de la Convención sobre la Protección del Patrimonio Mundial Cultural y Natural (1972). Contienen los fundamentos para la comprensión de los yacimientos como parte del paisaje cultural. Definen la interacción entre sociedad, culturas y su entorno natural como «paisajes humanos»⁶². Entienden el patrimonio edificado como obras combinadas de naturaleza y de humanidad, como referencias culturales —pieza clave para la preservación de yacimientos arqueológicos *in situ*—.

La Carta para la Protección y Gestión del Patrimonio Arqueológico del Consejo Internacional de Monumentos y Yacimientos ICOMOS (Lausana, 1990) complementó los esfuerzos para proteger los bienes arqueológicos. Por medio del concepto de diversidad cultural, la Carta de Lausana tuvo como objetivo la formalización de la multiculturalidad como un valor expreso en las colecciones patrimoniales arqueológicas. Fue preparada por el Comité Internacional para la Gestión del Patrimonio Arqueológico (ICAHM), incluso antes de la formalización de la importante Declaración Universal sobre la Diversidad Cultural de la UNESCO, de 2002. El ICOMOS actualmente desarrolla sus recomendaciones acerca de la protección del patrimonio polar con el apoyo del International Polar Heritage Committee (IPHC)-ICOMOS⁶³. Fundada en 2000, se trata de una organización no política, compuesta por miembros activos en el tema de la investigación acerca

⁶² COSGROVE, Denis E. A geografia está em toda parte: cultura e simbolismo nas paisagens humanas. En: R. L. CORRÊA y Z. ROSENDHAL, orgs. *Paisagem, Tempo e Cultura*. Río de Janeiro (Brasil): Eduerj, 1998, pp. 92-123.

⁶³ THE INTERNATIONAL POLAR HERITAGE COMMITTEE. *Home* [en línea]. S. f. [consulta: 16/09/2021]. Disponible en: <http://iphc.icomos.org>.

del patrimonio polar, centrados en la preservación y protección del patrimonio polar ártico y antártico.

En el ámbito académico, además del Proyecto Arqueología Antártica, tenemos múltiples actividades de investigación recientes y relevantes para la preservación del patrimonio antártico, por ejemplo: el proyecto Blizzard⁶⁴ y el New Zealand Heritage Trust⁶⁵, de Australia; el proyecto británico Antarctic Heritage Trust⁶⁶ y el Scott Polar Research Institute⁶⁷, en Reino Unido; y el proyecto sueco-argentino Melting History⁶⁸. Sin embargo, estos proyectos de investigación están sobre todo enfocados, aunque no exclusivamente, en los remanentes de la era heroica.

Otra asociación contemporáneamente relevante, pero fundada fuera del ambiente científico, es la Association of Antarctica Tour Operators-IAATO⁶⁹. Surgida en 1991 por la propia iniciativa de las empresas que llevan barcos turísticos a la Antártica, tiene como propósito orientar las visitas al continente para que ocurran bajo los principios éticos y de preservación ambiental del Tratado Antártico. La propuesta de la IAATO es generar acercamiento entre las cuestiones ambientales, las investigaciones científicas y las expediciones turísticas, creando propuestas temáticas educativas y concienciando al público de la importancia de la preservación en el continente. Mike Pearson señala los siguientes puntos relacionados con el turismo y el impacto ambiental en los sitios históricos de las Shetland, así como una serie de desafíos y cuestiones para la conservación de los yacimientos en las Shetland del Sur⁷⁰:

«Si bien las Islas Shetland del Sur y la Península Antártica adyacente experimentan alrededor del 98% de las más de 30,000 visitas turísticas por año a la Antártida, las visitas se limitan a muy pocos sitios que son más seguros para los barcos y en los que se puede

⁶⁴ AUSTRALIAN GOVERNMENT. *National Heritage* [en línea]. Home of the Blizzard. Australasian Antarctic Expedition [consulta: 16/09/2021]. Disponible en: <https://mawsonshuts.antarctica.gov.au/national-heritage>.

⁶⁵ ANTARCTIC HERITAGE TRUST. *Antarctic Heritage Trust*, ©2020 [consulta: 16/09/2021]. Disponible en: <https://www.nzaht.org/about-us>.

⁶⁶ UK ANTARCTIC HERITAGE TRUST. *Home* [en línea]. S. f. [consulta: 16/09/2021]. Disponible en: <http://www.ukaht.org>.

⁶⁷ SCOTT POLAR RESEARCH INSTITUTE. *Home*. University of Cambridge, s. f. [consulta: 16/09/2021]. Disponible en: <https://www.spri.cam.ac.uk>.

⁶⁸ *Home*. Melting History, ©2020 [consulta: 25/09/2021]. Disponible en: <https://meltinghistory.org>.

⁶⁹ INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ANTARCTICA TOUR OPERATORS. *Home* [en línea], s. f. [consulta: 16/09/2021]. Disponible en: <https://iaato.org/home>.

⁷⁰ PEARSON, Michael. Conservation challenges in the South Shetland Islands, *Antarctica*, op. cit.

aterizar. La gran mayoría de las playas que contienen yacimientos de caza de focas nunca han sido visitadas por turistas»⁷¹.

«Con mucho, la presencia humana más intensa y extensa en las Shetland del Sur son los grupos científicos que realizan investigaciones y monitoreo en todo el archipiélago. Debido a que el archipiélago y la península adyacente es la región antártica más accesible, experimenta la mayor proporción de ocupación estacional por grupos científicos»⁷².

«El número de yacimientos de caza de focas se ha visto afectado por los movimientos de elefantes marinos y pingüinos. Los elefantes marinos descansan y, a veces, se revuelcan en los sitios culturales, porque ofrecen piedras afiladas y madera que se pueden rascar para eliminar la piel irritante durante la muda anual. Los elefantes marinos (que pueden medir 5 m de largo y pesar hasta 3,6 toneladas) también se mueven de un lugar a otro a lo largo de las playas o a través de ellas para derretir charcos de agua tierra adentro, dispersando piedras y aplastando artefactos a su paso. El guano de los pingüinos y el suelo desestabilizado por las aves reproductoras pueden enterrar artefactos e incluso sitios completos que se encuentran en las colonias o cerca de ellas, aunque esta es una amenaza menos común que la perturbación de los elefantes marinos»⁷³.

«La arena a la deriva ha enterrado parcialmente la mayoría de los sitios de focas y, por lo tanto, los ha protegido durante casi 200 años. Sin embargo, en algunos casos, la comparación de la evidencia de encuestas de principios de la década de 1990 y 2007 indica que los sitios menos obvios, con paredes bajas o dispersas (a veces como

⁷¹ PEARSON, Michael. Conservation challenges in the South Shetland Islands, Antarctica, *op. cit.* (traducción nuestra).

⁷² *Ibid.*

⁷³ *Ibid.*

resultado del movimiento de las focas) pueden desaparecer virtualmente bajo los montones de arena»⁷⁴.

«La operación unificada del Tratado Antártico significa que ninguna nación es automáticamente responsable de la gestión de sitios particulares. En el caso de las cabañas de la Era Heroica, siendo las cabañas Mawson, Scott, Shackleton, Borchgrevinck y Nordenskjold, las cabañas en sí son propiedad de naciones particulares, y eso determina quién tiene la responsabilidad. Sin embargo, en el caso de los sitios de focas del siglo XIX, no se han hecho reclamos nacionales de propiedad de los sitios u objetos, y el Tratado deja de lado los reclamos superpuestos de soberanía sobre las Shetland del Sur en poder de Gran Bretaña, Chile y Argentina. Si bien varios países han llevado a cabo investigaciones arqueológicas, aún no se han iniciado esfuerzos serios de conservación en las Shetland del Sur, y queda por verse si alguna de las partes del Tratado iniciará tal trabajo, o si otras partes podrían oponerse a (y por lo tanto vetar) tal trabajo como fortalecer abiertamente los reclamos de soberanía»⁷⁵.

Todas estas iniciativas mencionadas están colaborando al fortalecimiento de la investigación y protección del patrimonio arqueológico antártico, lo que es estratégicamente muy complejo, porque se trata de categorías de vestigios no muy comunes y poco conocidos, y porque, a menudo, la protección física y el control de los yacimientos mapeados casi no son posibles, debido a dificultades logísticas de acceso. Una de las únicas acciones efectivamente disponible para muchos de estos vestigios es el mapeo y, más raras veces, el rescate cuidadoso.

Bases teórico-metodológicas

¿Cuáles serían los conceptos teóricos que mejor se adaptan a la práctica de conservación de los hallazgos en la Antártica? Es necesario darse cuenta de que los objetos arqueológicos loberos-balleneros trascienden a los contextos de

⁷⁴ *Ibid.*

⁷⁵ *Ibid.*

yacimientos arqueológicos históricos ya bien conocidos —tradicionalmente, los históricos de la Edad Antigua a Moderna—. Estamos hablando de remanentes del siglo XIX, de característica preindustrial, resultantes de la basura descartada por cazadores en la Antártica.

Es definitivamente difícil encontrar correspondencia entre la materialidad de la colección de la Antártica y el pensamiento moderno que fundamentó la teoría de la restauración en los siglos XIX y XX. Los principios propuestos por Jhoan Ruskin (1819-1900), Viollet-le-Duc (1814-1879) o Cesari Brandi (1906-1988), herederos principalmente del romanticismo e idealismo filosófico, no soportan muchas de las cuestiones suscitadas por las colecciones patrimoniales en la posmodernidad. Basados en la moral de su tiempo, reprodujeron mucho del antagonismo filosófico, el gusto estético y el concepto clásico de «buena» o «mala» práctica hacia la preservación del patrimonio⁷⁶.

En el siglo XX, el «restauración científica»⁷⁷ fue la primera corriente en oponerse a los principios de los teóricos clásicos de la restauración. Sin embargo, esta corriente tampoco fue capaz de suplantarlos. De acuerdo con Viñas, la restauración científica tampoco es la mejor opción, pues «no cuenta con un modelo teórico similar al de las teorías de la restauración tradicionales. Uno de sus rasgos es que carece de una reflexión organizada de carácter epistemológico, ético o teleológico que la justifique, avale o la preceda»⁷⁸. El legado romántico y el restauración crítica⁷⁹ de Brandi siguen siendo las referencias teóricas en la conservación-restauración en muchos laboratorios hasta hoy en día.

Son los principios epistemológicos de la conservación-restauración evidenciados en las últimas décadas por los teóricos contemporáneos los que más dan soporte a las cuestiones y discusiones propias del patrimonio de la

⁷⁶ MUÑOZ VIÑAS, Salvador. *Pride and Prejudice and Patina* [vídeo]. Nueva York: Institute of Fine Arts, 09/02/2015 [consulta: 17/09/2021]. Disponible en: <https://vimeo.com/119253627>.

⁷⁷ Línea que surge en la segunda mitad del siglo XX y que, entre otras, predica la necesidad de hacer de la restauración un acto científico, siguiendo principios y métodos científicamente determinados, basándose en estudios rigurosos.

⁷⁸ MUÑOZ VIÑAS, Salvador. *Teoría contemporánea de la restauración*. Madrid: Síntesis, 2003, p. 131.

⁷⁹ Cesari Brandi aborda el tratamiento de los bienes patrimoniales a partir de la dialéctica estético-histórica, donde hay que elegir cuál de los dos ámbitos privilegiar y cuál sacrificar en las intervenciones de restauración. El objetivo era preservar la autenticidad material de la obra y restaurar su «unidad potencial» y, en caso de conflicto entre aspectos estéticos e históricos, Brandi abogó por dar prioridad a los primeros. Para Brandi, cuando el objetivo es conservar la autenticidad material y restablecer una «unidad potencial», debería ser dada la prioridad siempre al criterio estético. Fuente: SANTABÁRBARA MORERA, Carlota. Difusión y repercusión de la teoría de la restauración de Cesare Brandi. *Cuadernos de arte de la Universidad de Granada*. 2018, vol. 49, pp. 285-303.

posmodernidad y de la Antártica. Los teóricos contemporáneos proponen un abordaje amplio y más democrático sobre el patrimonio, una vez que proponen el enfoque en los valores sociales del presente.

1.6.1. La restauración científica y la conservación preventiva

En la posguerra (Segunda Guerra Mundial), restauradores asociados a la cultura anglosajona han dado prioridad a los procedimientos físicos, químicos y biológicos en la práctica de la conservación-restauración. Tenían como argumentación metodológica eliminar la subjetividad humana al hacer que los métodos fueran imparciales y medibles, como se presupone en las «ciencias duras», abogando por la limpieza profunda y la cuidadosa reintegración estética como principales métodos de actuación. Creían posible, por medio de métodos de investigación científica alcanzar la originalidad del objeto tras del deterioro por medio de la limpieza.

Del desarrollo del contexto científicista de la posguerra vimos surgir la conservación preventiva. El término apareció por primera vez en la década de 1950⁸⁰ y su desarrollo fue estimulado por los conservadores que empezaron a investigar los agentes de deterioro que afectan a las colecciones en los museos⁸¹. Muchas intervenciones irreversibles se transformaron en factores de degradación con el paso del tiempo, y las teorías de la mínima intervención comenzaron a tomar importancia hasta convertirse en un concepto dominante en la conservación, que logró métodos más precisos y completos⁸².

En los años ochenta vimos crecer las actividades de conservación preventiva. Museos e institutos empezaron a desarrollar protocolos para la aplicación de la disciplina (como el ICOM, el ICOMOS o el ICCROM)⁸³. Al mismo tiempo, vimos surgir la noción de «conservación curativa». En 2008 la UNESCO,

⁸⁰ GARCÍA FERNÁNDEZ, Isabel M. Historia de la conservación preventiva. Parte II. *Ge-conservación*. 2014, n.º 6, pp. 5-18.

⁸¹ *Ibid.*

⁸² WALLER, Robert. *Preventive conservation planning for large and diverse collections* [en línea]. Preservation of Collections: Assessment, Evaluation, and Mitigation Strategies, Preprints of the June 10-11, 1996 workshop, American Institute for Conservation, Washington [consulta: 10/10/2021]. Disponible en: <https://www.museum-sos.org/docs/WallerAIC1996.pdf>, pp. 1-9; WIRILANDER, Heidi. Preventive conservation: A key method to ensure cultural heritage's authenticity and integrity in preservation process. *E-conservation Magazine*. 2012, vol. 6, n.º 24, pp. 33-44, p. 39.

⁸³ GARCÍA FERNÁNDEZ, Isabel M. Historia de la conservación preventiva. Parte II, *op. cit.*

durante la 15.ª Conferencia Trianual, en Nueva Delhi (22-26 de septiembre de 2008), reconoció una nueva división de áreas de competencia del campo del patrimonio: la conservación preventiva, la conservación curativa y la restauración⁸⁴:

«Conservación – Todas aquellas medidas o acciones que tengan como objetivo la salvaguarda del patrimonio cultural tangible, asegurando su accesibilidad a generaciones presentes y futuras. La conservación comprende la conservación preventiva, la conservación curativa y la restauración. Todas estas medidas y acciones deberán respetar el significado y las propiedades físicas del bien cultural en cuestión.

Conservación Preventiva – Todas aquellas medidas y acciones que tengan como objetivo evitar o minimizar futuros deterioros o pérdidas. Se realizan sobre el contexto o el área circundante al bien, o más frecuentemente, a un grupo de bienes, sin tener en cuenta su edad o condición. Estas medidas y acciones son indirectas —no interfieren con los materiales ni las estructuras de los bienes—. No modifican su apariencia. Algunos ejemplos de conservación preventiva incluyen las medidas y acciones necesarias para el registro, almacenamiento, manipulación, embalaje y transporte, control de las condiciones ambientales (luz, humedad, contaminación atmosférica e insectos), planificación de emergencia, educación del personal, sensibilización del público y aprobación legal.

Conservación Curativa – Todas aquellas acciones aplicadas de manera directa sobre un bien o un grupo de bienes culturales que tengan como objetivo detener los procesos dañinos presentes o reforzar su estructura. Estas acciones solo se realizan cuando los bienes se encuentran en un estado de fragilidad notable o se están deteriorando a un ritmo elevado, por lo que podrían perderse en un tiempo relativamente breve. Estas acciones a veces modifican el aspecto de los bienes. Algunos ejemplos de conservación curativa incluyen la desinfección de textiles, la desalinización de cerámicas, la desacidificación de papel, la deshidratación de materiales arqueológicos

⁸⁴ ICOM COMMITTEE FOR CONSERVATION. *15th Triennial Conference New Delhi, 22-26 September 2008, Preprints [en línea]*. 2 vols. [consulta: 25/01/2019]. Disponible en: <https://doi.org/10.4000/ceroart.1218>.

húmedos, la estabilización de metales corroídos, la consolidación de pinturas murales o la remoción de hierbas en mosaicos.

Restauración – Todas aquellas acciones aplicadas de manera directa a un bien individual y estable, que tengan como objetivo facilitar su apreciación, comprensión y uso. Estas acciones solo se realizan cuando el bien ha perdido una parte de su significado o función a través de una alteración o un deterioro pasados. Se basan en el respeto del material original. En la mayoría de los casos, estas acciones modifican el aspecto del bien. Algunos ejemplos de restauración incluyen el retoque de una pintura, el ensamblaje de una escultura rota, la modificación de la forma de una canasta, la reintegración de pérdidas en un vaso de vidrio»⁸⁵.

Aunque el término *conservation* en inglés incluya las cuatro áreas de actuación arriba mencionadas⁸⁶, para España y Brasil los términos 'conservación' y *conservação* siguen la misma definición de la Resolución del ICOM-CC de 2008. El campo profesional en Brasil, España y muchos países de idioma con matriz lingüística latina suele ser nombrado actualmente como conservación-restauración, no habiendo tampoco separación en los campos de formación y actuación⁸⁷.

La conservación preventiva son aquellas acciones que pueden prevenir, retrasar o minimizar el deterioro y la pérdida de las colecciones. Es la línea de actuación dominante en arqueología, donde la prioridad del conservador-restaurador es la preservación de la materialidad de los hallazgos y, en consecuencia, la garantía de su análisis en la máxima integridad⁸⁸. Las acciones esencialmente preventivas son el escenario principal donde se amparan las acciones curativas. La conservación preventiva puede verse como el «hilo

⁸⁵ *Ibid.*

⁸⁶ DE GUICHEN, Gaël. Conservación Preventiva. ¿En qué punto nos encontramos en 2013? *Patrimonio cultural de España*. 2013, n.º 7, p. 17.

⁸⁷ EUROPEAN CONFEDERATION OF CONSERVATOR-RESTORERS ORGANISATIONS. E.C.C.O., ©2021 [consulta: 25/09/2021]. Disponible en: <http://www.ecco-eu.org>.

⁸⁸ MAQUEDA, Marjorie; PROUST, Clotilde y TOUZEAU, Julie. La conservation-restauration au cœur de la problématique archéologique. *Les nouvelles de l'archéologie*. 2020, n.º 162, p. 9.

conductor» que conecta todas las acciones de curación y también de restauración⁸⁹, siendo igualmente la principal acción en la conservación *in situ*.

El único problema de la dominancia de la conservación preventiva en las prácticas del patrimonio es cuando el principio inherente acerca de la intervención mínima no evita que a largo plazo haya deterioración y decadencia estética de un objeto. Como resultado, el plan de acción esencialmente de prevención no interventora podría pasar a ser visto como inapropiado para las propuestas de exhibición de objetos con daños aparentes⁹⁰. También podría comprometer la capacidad del plan de preservación de producir buenos datos para la investigación arqueológica.

1.6.2. La teoría contemporánea

Entre los teóricos clásicos de la conservación-restauración, fue el historiador del arte Aloïs Riegl (1858-1905) —en *Culte moderne des monuments* (1903)— el primero que realmente propuso una teoría implicada con valores sociales para la toma de decisión en la preservación del patrimonio. Para Pierre Leveau, Riegl ha sido quizás el primero en demostrar la complejidad de valores del pasado y la necesidad de satisfacer los valores del presente⁹¹. Riegl planteó la cuestión de la legitimidad de las decisiones con relación al futuro de los monumentos, tomando en consideración seis valores: «los tres primeros —antigüedad, historia e intención— dependen del pasado y del testimonio dado por el objeto; los otros tres —uso, novedad y valor artístico— dependen del presente y su integridad»⁹². El valor de los artefactos no está en la perspectiva del autor únicamente definido por la antigüedad o por la tecnología constructiva, sino por el significado dado a ellos por personas que los vivenciaron.

Así como Riegl lo hizo muchas décadas atrás, lo hacen pensadores de la conservación-restauración de nuestros días, como Salvador Viñas, Pierre Leveau, Stefan Michalski o Barbara Appelbaum. Todos estos importantes teóricos

⁸⁹ *Idem*.

⁹⁰ RUBIO REDONDO, María. Is minimal intervention a valid guiding principle? *E_conservation*. 2008, n.º 5, pp. 33-37.

⁹¹ LEVEAU, Pierre. Problèmes ontologiques de la conservation-restauration des biens culturels. *Conservation restauration des biens culturels*. 2009, n.º 27, p. 6.

⁹² *Idem*.

contemporáneos tienden a ser menos idealistas en cuanto a la legitimidad y la función del objeto cultural. Tienden a creer en la idea, punto de partida, de que todos los objetos culturales que existen son auténticos. «Lo que sí puede ser auténtico o falso es lo que los sujetos piensan sobre ellos, sus ideas, creencias, sus juicios [...]»⁹³.

Según Viñas, la autenticidad no es un rasgo objetivo como lo presumieron muchos de los teóricos modernos. Un objeto nunca podría ser considerado falso con base en el juicio sobre si la materia que lo constituye es original o no⁹⁴. También, según Viñas, la noción de que debe haber un estado del objeto anterior (que ya no existe más) no tiene sentido. La falsa identificación no se refiere a las características materiales de un objeto, y si a la «pretensión de identidad»⁹⁵.

La idea tradicional de autenticidad tampoco resulta muy pragmática para las colecciones arqueológicas, pues tiende a valorizar la condición de arte y la autoría, creando una jerarquía de objetos en cuanto a la forma. La arqueología posprocesual, corriente teórica surgida en los años ochenta y en la que el LEACH se basa en gran parte de sus investigaciones, camina en dirección opuesta. Esta línea teórica critica los análisis con énfasis en las interpretaciones procesualista y formalista del pasado como corriente éticamente negligente. Incluye las dimensiones de los elementos simbólicos, ideológicos y de los valores sociales en la interpretación de los hallazgos y yacimientos arqueológicos. Para la corriente posprocesual, la tarea de los arqueólogos no es analizar objetos, sino interpretar el componente irreductible de las culturas por medio del cruce de significados de ellos con el contexto⁹⁶.

El «patrimonio modesto»

La adopción de conceptos de la antropología y la mirada científica, cada vez más bajo el paradigma científico pluralista⁹⁷, ha proporcionado a la

⁹³ MUÑOZ VIÑAS, Salvador. *Teoría contemporánea de la restauración*, op. cit., p. 93.

⁹⁴ *Idem*.

⁹⁵ *Idem*.

⁹⁶ HODDER, Ian y HUTSON, Scott. *Reading the past: current approaches to interpretation in archaeology*. 3.ª ed. Cambridge (Reino Unido): Cambridge University Press, 2003, p. 4.

⁹⁷ El pluralismo epistemológico presupone el respeto por las formas de conocimiento provenientes de culturas diferentes a la ciencia occidental moderna y critica la defensa de un modelo racional universalista para la ciencia.

conservación-restauración en los últimos años importantes avances en cuanto a la flexibilización de sus objetivos. Desde tal punto de vista, la investigación se basa en relaciones de cooperación, con mediación del lenguaje, y donde todos los involucrados articulan un diálogo democrático como sujetos de la investigación⁹⁸. Incluso, la perspectiva toma parte en la idea de que las ciencias de las humanidades estén comprometidas con la progresión de los derechos sociales, la democracia y la libre expresión de la diversidad cultural. De acuerdo con Pierre Leveau, vivimos en un mundo posmoderno donde «[...] todos los valores son iguales y donde no hay forma de resolver las disputas *a priori*, solo las estrategias de coalición pueden finalmente resolver las antinomias que revela el análisis ontológico de monumentos»⁹⁹.

La arqueología histórica, respaldada en la teoría arqueológica posprocesual¹⁰⁰, comparte el abordaje pluralista cuando pone el enfoque en el análisis de las colecciones representantes de la historia de colectivos sociales y en las reminiscencias del impacto del capitalismo sobre las culturas y el medio ambiente. Estas colecciones pueden estar relacionadas al patrimonio industrial, la colonización, conflictos étnicos, dictaduras, esclavitud moderna, o los yacimientos arqueológicos provenientes de incursiones de explotación imperialistas.

Para categorizar los testimonios provenientes de la vida de la gente común, en la modernidad reciente contamos con la noción de «patrimonio modesto»¹⁰¹ de Marina Waisman. El concepto engloba la cultura material popular que abarca tecnologías más o menos industriales y posindustriales. El patrimonio modesto se refiere a colecciones de objetos generalmente simples y densos, con pocos detalles estéticos, hechos para ser baratos y duraderos (robustos). Pueden contener instrumentos y herramientas resultantes de actividades laborales y de las actividades cotidianas. A menudo, la cultura material del patrimonio modesto tiene

⁹⁸ LINCOLN, Yvonna S.; LYNHAM, Susan A. y GUBA, Egon G. Paradigmatic controversies, contradictions, and emerging confluences, revisited. *The Sage Handbook of Qualitative Research*. 2011, n.º 4, pp. 97-128.

⁹⁹ LEVEAU, Pierre. Problèmes ontologiques de la conservation-restauration des biens culturels, *op. cit.*, p. 6. Traducción nuestra.

¹⁰⁰ FUNARI, Pedro Paulo A. Teoria e métodos na Arqueologia contemporânea: o contexto da Arqueologia Histórica. *Mneme-revista de humanidades* [en línea]. 2005, vol. 6, n.º 13 [consulta: 21/09/2021]. Disponible en: <https://www.periodicos.ufrn.br/mneme/article/view/267/243>.

¹⁰¹ WAISMAN, Marina (dir.). *El patrimonio modesto*. Bogotá (Colombia): Cuadernos Escala, 1992.

relación con las clases sociales trabajadoras y sus condiciones laborales, y puede ser representativa de hechos históricos violentos y opresores.

1.6.3. La práctica: toma de decisión

Stefan Michalski propone métodos de evaluación de las decisiones de conservación-restauración considerando las realidades sociales e infraestructurales de los agentes involucrados en la preservación. Michalski afirma que las decisiones nunca son completas, operan dentro de lo que es llamado el «racionalismo limitado», donde apenas estamos dotados con la capacidad de reunir una porción de la información del mundo muy pequeña entre la que nos puede ser útil¹⁰². Para Michalski, el trabajo del conservador puede ser comparado al del médico sénior, donde:

«[...] la idea de tratamiento generalmente surge por completo de un mar de conocimiento y experiencia. Frente a la orientación de colegas más jóvenes, ha habido un problema constante al tratar de explicar claramente el pensamiento detrás de tales decisiones. Cómo mostrar las conexiones lógicas de una pequeña decisión a otra, cómo explicar los innumerables caminos considerados pero abandonados y cómo explicar cómo hacer una selección entre opciones cuando ninguna era perfecta. Sin mencionar los momentos en los que el estudiante que pregunta descubre caminos de decisión en la mente del mentor que ahora están ocultos por un largo hábito, o incluso caminos de decisión plausibles que nunca fueron considerados. ¿Existe una mejor manera que simples palabras y listas para compartir la decisión?»¹⁰³.

Esperar y arriesgarse a no intervenir hasta que aparezca la certeza de una solución puede considerarse como una perspectiva probabilística de la gestión del

¹⁰² MICHALSKI, Stefan y ROSSI-DORIA, Mateo. Using decision diagrams to explore, document, and teach treatment decisions, with an example of their application to a difficult painting consolidation treatment. En: *ICOM Committee for Conservation, ICOM-CC, 16th Triennial Conference, Lisbon, 19-23 September 2011*. Almada: Critério, 2011, p. 2.

¹⁰³ *Ibid.*, pp. 1 y 2. (Traducción nuestra).

riesgo¹⁰⁴. Los talleres y laboratorios de conservación-restauración pueden incluso, algunas veces, no estar de acuerdo en que la intervención en los objetos patrimoniales sea la mejor opción para el objeto o para la sociedad. Sin embargo, para estar seguros de esto, deben garantizar que los beneficios a largo plazo de la mínima o la no intervención generen más beneficios y menos daños que el uso de algún otro tratamiento invasivo disponible en el momento de esta toma de decisión¹⁰⁵.

Las limitaciones impuestas por la realidad pueden llegar a ser muy complejas. Un buen tratamiento será un tratamiento suficiente, no el mejor tratamiento. «La mayoría de las veces, la conservación tiene éxito a través de un compromiso razonable»¹⁰⁶. «La conservación no siempre se trata de perfección, sino de eficiencia»¹⁰⁷. Hablar de ello es importante, porque eso es lo que se ha hecho, pero no siempre es eso lo que se ha dicho.

Volver la mirada al presente es la mejor opción para explicar claramente las micro y macrodecisiones en conservación-restauración, y explicar acerca del desencadenamiento de una decisión a otra. Es la ruta que explica por qué se hizo una selección entre varias opciones de tratamiento donde ninguna parecía perfecta¹⁰⁸. La conservación-restauración en arqueología ha sido particularmente dependiente de la legislación y los costos dedicados a los proyectos de excavación y de análisis¹⁰⁹. En la práctica, el buen desempeño de la conservación en arqueología dependerá de factores humanos, organizacionales, de la colaboración entre los miembros durante el rescate, en el período posterior al rescate, y de la capacidad de generar interdisciplinariedad¹¹⁰.

¹⁰⁴ *Ibid.*

¹⁰⁵ *Ibid.*

¹⁰⁶ MUÑOZ VIÑAS, Salvador. Imperfect Conservation. *E-Conservation Journal*. 2014, n.º 2, p. 5. (traducción nuestra).

¹⁰⁷ *Ibid.*

¹⁰⁸ MICHALSKI, Stefan y ROSSI-DORIA, Mateo. Using decision diagrams to explore, document, and teach treatment decisions, with an example of their application to a difficult painting consolidation treatment, *op. cit.*

¹⁰⁹ MAQUEDA, Marjorie; PROUST, Clotilde y TOUZEAU, Julie. La conservation-restauration au cœur de la problématique archéologique, *op. cit.*

¹¹⁰ *Ibid.*, p. 10.

1.6.4. El método

El método de conservación para la excavación arqueológica en los yacimientos arqueológicos de los loberos-balleneros de la Antártica se dividió en tres partes: investigación, práctica y resultados. Los resultados retroalimentan la investigación con el análisis crítico, la inclusión de nuevas experiencias y la creación de nuevos métodos.

Investigación

- a. Investigación acerca de los factores exteriores (medioambientales) de degradación (capítulo 2).
- b. Investigación de los factores intrínsecos de degradación (correlacionados a la materialidad y manufactura de los objetos) (capítulo 3).
- c. Investigación y selección de métodos de tratamiento de conservación (capítulo 4).

Práctica (capítulo 5)

- a. Acciones de grupo: de la preparación para las expediciones (logística de campo) a las excavaciones arqueológicas.
- b. Aplicación de los métodos de tratamiento.

Resultados (capítulo 6)

- a. Diagnóstico a partir de los datos recolectados.
- b. Discusión crítica de los resultados.
- c. Síntesis de la colaboración científica de esta investigación: concepción de un protocolo de conservación.
- d. Creación de un protocolo para direccionar la conservación *in situ* para los yacimientos loberos-balleneros del siglo XIX en la Antártica.

Un gran desafío de este método resulta admitir que los conocimientos evaluados para proceder a la toma de decisión nunca se agotan. Así, asumimos que debemos confiar en las decisiones discutidas con el mayor número posible de interesados, y también que confiamos en que considerar un número considerable y diversificado de variables puede ayudar a elegir tratamientos más adecuados.



CAPÍTULO 2

Capítulo 2. Estudio de los factores medioambientales de degradación

2.1. Degradaciones en el yacimiento arqueológico

El primer apartado de este capítulo presenta una introducción acerca de las teorías y métodos para el estudio de los factores de degradación actuantes en los yacimientos arqueológicos. Presenta la definición de los tres tipos de degradaciones que un objeto arqueológico puede sufrir *in situ*: (a) física, degradación generada por la descomposición de la estructura del material, como la abrasión, la pérdida y la distorsión; (b) química, que es responsable de generar cambios en la composición química de los materiales; y (c) biológica, degradación que es generada por organismos vivos y suele descomponer los objetos orgánicos en el sentido físico y químico.

El segundo apartado de este capítulo presenta las características medioambientales que afectan al material arqueológico de nuestro caso específico de estudio, la isla Livingston —el clima, el suelo, la pluviosidad, la fauna, etc.—. Por medio de este apartado es posible comprender los principales factores naturales de la Antártica que han colaborado con la degradación de los materiales arqueológicos en los yacimientos durante más de un centenar de años en que los objetos fueron dejados por los loberos-balleneros.

Antes de seguir con los estudios ambientales es importante decir que hay una serie de diferencias conceptuales con relación al empleo del término 'suelo' y el empleo del término 'sedimento'. La definición puede variar incluso entre un área científica a otra. Para los geólogos, en general, la clasificación de un suelo como sedimento exige una serie de características de conformación y estructuración del mismo. Para esta investigación, asumimos la significación que viene de la geoarqueología como siendo pertinente¹¹¹:

¹¹¹ La geoarqueología es el estudio de la interfaz entre las geociencias y la arqueología surgido en la década de los setenta, con el objetivo de comprender la transformación del medio ambiente por el hombre a lo largo del tiempo y la formación de sitios arqueológicos. Fuente: CAMPBELL, Gill; MOFFETT, Lisa y STRAKER, Vanessa. *Environmental Archaeology: a guide to the theory and practice of methods, from sampling and recovery to post-excavation* (ed. David M. Jones). 2.ª ed. Swindon (Reino Unido): English Heritage Publishing, 2011, p. 27.

- Los suelos son cuerpos de sedimentos o la parte superior de rocas sólidas que han sido alterados por procesos superficiales como la meteorización y por bioturbación, incluido el crecimiento de raíces y la perturbación por animales¹¹².
- Sedimento es un término más amplio que abarca todo el material que ha sido transportado por uno o más procesos, por ejemplo, inundación, colusión y viento. Las personas también son agentes de deposición a través de actividades como la construcción de terrazas, movimientos de tierra o nivelación de superficies irregulares¹¹³.

Sin embargo, es clave decir que en gran medida el término 'suelo' se empleará en esta investigación de la manera como lo utilizamos más familiarmente, o sea, con el objetivo de denominar la superficie sólida y sustrato natural por donde pisamos, construimos, vivimos, etc. En este sentido más general, el suelo es la interfaz de la atmósfera, la biosfera y la geosfera, siendo un componente del paisaje y un sistema dinámico complejo que compone, también, el ecosistema. Se genera por meteorización y presenta cambios debido a factores físicos, químicos y biomecánicos de sedimentos y rocas, como la erosión, deposición, drenaje, vegetación, fauna, cambios minerales, actividades biogénicas, adición de materia orgánica, lixiviación de materiales solubles, translocación de partículas finas, humus, compuestos químicos, etc.

2.1.1. Procesos naturales y procesos culturales de degradación

Los agentes de descomposición ambiental están presentes en todos los yacimientos. Pueden ser antropogénicos o naturales; pueden ser el resultado de la interacción humana, o pueden ser el resultado de la interacción de otros animales con el espacio y de factores pedogenéticos y climáticos, como la contaminación ambiental (lluvia ácida), sales solubles, humedad, ciclos de hielo y deshielo, infiltraciones, etc.¹¹⁴. Algunas condiciones especiales de preservación de materiales arqueológicos se encuentran en ubicaciones como las submarinas,

¹¹² *Idem* (traducción nuestra).

¹¹³ *Idem*.

¹¹⁴ WEYER, Angela; ROIG PICAZO, Pilar; POP, Daniel; CASSAR, Joann; ÖZKÖSE, Aysun; VALLET, Jean-Marc y SRŠA, Ivan. *EwaGlos-European illustrated glossary of conservation terms for wall paintings and architectural surfaces*. Petersberg (Alemania): Michael Imhof Verlag, 2015, p. 145.

permafrost, pantanos húmedos o glaciares, pues estos ambientes son especialmente favorables para la preservación de los materiales orgánicos. Sin embargo, todos los entornos favorecen en algún sentido el deterioro.

Los suelos y sedimentos se forman en superficies aproximadamente paralelas a la superficie terrestre¹¹⁵. Cuando interactúan con la presencia humana hasta el punto de registrar la cultura en ellos, entonces tendremos la formación de suelos arqueológicos¹¹⁶. Los diferentes horizontes del sedimento arqueológico generalmente se categorizan también según las diferentes propiedades físicas, químicas y biológicas —como el predominio de material orgánico, materiales minerales, suelo quemado, presencia de hormigones, presencia de materia orgánica en estado intermedio, presencia de carbonatos o suelo congelado—¹¹⁷.

El famoso esquema de Edwar C. Harris¹¹⁸, utilizado para analizar y describir los estratos arqueológicos —la «matriz de Harris», publicada por primera vez en *Principles of Archaeological Stratigraphy* en 1979—, está basado en principios geológicos de formación de suelos y sedimentos. La formación de los estratos arqueológicos resulta de la acción de deposición, transporte y sedimentación de la materia erosionada, y responde a los siguientes principios geológicos: superposición, horizontalidad, continuidad lateral y sucesión de estratos estratigráficos¹¹⁹. Cada unidad estratigráfica arqueológica es creada por una deposición horizontal. La parte central de la unidad estratigráfica de suelos y sedimentos tiende a ser más ancha que los bordes. Los suelos y sedimentos más profundos son los más antiguos y los objetos de los estratos más profundos tienden a ser igualmente más antiguos.

Los factores culturales humanos que afectan a los yacimientos deben ser considerados también como factores de degradación *in situ*. Renfrew y Bahn Colin (2011) dividen los factores posdeposicionales que afectan al yacimiento entre culturales y naturales; los primeros son causados por el hombre y los segundos por la naturaleza. Las personas integran el medio ambiente y su acción (antrópica)

¹¹⁵ HOLLIDAY, Vance T. *Soils in Archaeological Research*. Nueva York (Estados Unidos): Oxford University Press, 2004.

¹¹⁶ SCHIFFER, Michael Brian. Archaeological context and systemic context. *American Antiquity*. 1972, vol. 37, n.º 2, pp. 156-165.

¹¹⁷ Ver la definición general de suelos presentada por HOLLIDAY, Vance T. *Soils in Archaeological Research*, *op. cit.*, pp. 4 y 5.

¹¹⁸ HARRIS, Edward C. *Principles of archaeological stratigraphy*. Londres (Reino Unido): Academic Press, 1989.

¹¹⁹ *Ibid.*

influye en la creación, transformación y destrucción del objeto arqueológico en el yacimiento. De acuerdo con la metodología de Harris, las interrupciones en los principios geológicos se caracterizan muchas veces como intervenciones culturales (Figura 6). Se puede tratar, por ejemplo, de un desatamiento de tierra, consecuencia de la actividad de algún animal de gran dimensión, o se puede tratar de la acción humana de remoción de suelo y sedimento, como construcciones o fundaciones.

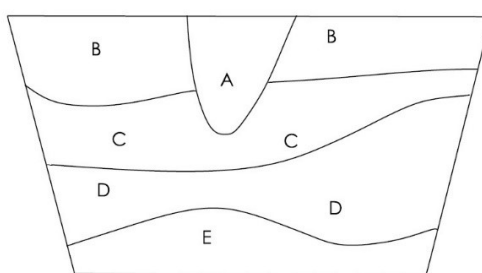


Figura 6. Matriz de Harris y discontinuidad de las capas arqueológicas (capa A)¹²⁰

La presencia humana o de animales sobre un terreno puede ser responsable, no solamente por seccionar los niveles arqueológicos horizontales, sino también por compactar el suelo o alterar sus características químicas —por ejemplo, cuando los seres vivos producen gran cantidad de desechos, generando una presencia considerable de compuestos de materia orgánica en descomposición—. Ellos pueden también destruir o alterar intencionalmente los objetos arqueológicos en el yacimiento¹²¹.

Los factores de degradación exteriores (ambientales) y los intrínsecos (característicos de los objetos) trabajan en conjunto para transformar los objetos arqueológicos, generando un proceso de selectividad de hallazgos: solo los más estables y resistentes perdurarán más en el tiempo, los otros desaparecerán. El concepto de 'entropía' en arqueología es justo esta línea de tiempo de descomposición, pensada con relación a la disminución del potencial informativo

¹²⁰ DE ROO, Berdien; VAN DE WEGHE, Nico; BOURGEOIS, Jean y DE MAEYER, Phillippe. The temporal dimension in a 4D archaeological data model: Applicability of the geoinformation standard. En: U. ISIKDAG, ed. *ISPRS 8th 3D GeoInfo Conference & WG II/2 Workshop*. S. l.: International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 2013, vol. 2, p. 113.

¹²¹ RENFREW, Colin y BAHN, Paul. *Arqueología: Teorías, Métodos y Prácticas*. 2.ª ed. Madrid: Akal, 2011, pp. 51-57.

de los yacimientos arqueológicos¹²². Este es un punto importante a considerar pues, en otras palabras, significa que lo que sobrevive a los factores de degradación es apenas una parcela incompleta de informaciones sobre el contexto cultural del depósito arqueológico.

Según Michael B. Schiffer¹²³, los principios de la entropía han sido establecidos en buena parte por Robert Ascher¹²⁴. Ascher estaba preocupado por la influencia de la degradación *in situ* sobre el enfoque de la interpretación del pasado por los arqueólogos. Si las huellas desaparecen de distintas formas, eso podría generar una visión distorsionada del contexto cultural arqueológico. Schiffer, a su vez, profundizó en el concepto de entropía¹²⁵. Apuntó que los procesos entrópicos no solo degradarían los artefactos de manera sistemática, sino que también producirían patrones de degradación.

Schiffer también es responsable de crear un método para evaluar la formación del registro arqueológico, en el que el aspecto cultural es considerado. El llamado «contexto sistémico» de Schiffer es la condición de un elemento que participa en un sistema comportamental (contexto sociocultural del pasado), mientras el «contexto arqueológico» describe los materiales que ya pasaron por un sistema cultural y que se volvieron objeto de estudio de los investigadores (el contexto de recuperación de esos remanentes en el presente)¹²⁶.

Tales definiciones pueden utilizarse para la conservación *in situ* y para la planificación del estado de preservación de los hallazgos en el momento que pasaron del contexto sistémico para el estudio arqueológico. Los artefactos son obtenidos, fabricados, utilizados, reparados, reutilizados y, solo en último momento, descartados. El objeto producido en el contexto arqueológico empieza a recibir la influencia de deterioración por parte de los agentes físicos exteriores, llegando

¹²² SCHIFFER, Michael Brian. Toward the identification of formation processes. *American Antiquity*. 1983, vol. 48, n.º 4, p. 676.

¹²³ *Idem*.

¹²⁴ ASCHER, Robert. Time's Arrow and the Archaeology of a Contemporary Community. En: K. C. CHANG, ed. *Settlement Archaeology*. Palo Alto (Estados Unidos): National Press Books, 1968, pp. 43-52.

¹²⁵ CLOUGH, Rod. Formation Processes of the Archaeological Record. 1991. Review: SCHIFFER, Michael B. Formation processes of the archaeological record. 1987. *The Journal of the Polynesian Society*. 1991, vol. 100, n.º 2, pp. 209-212; SCHIFFER, Michael Brian. *Cultural formation processes of the archaeological record: applications at the Joint Site, east-central Arizona*. Tucson (Estados Unidos): The University of Arizona, 1973.

¹²⁶ SCHIFFER, Michael Brian. Archaeological context and systemic context, *op. cit.*

hasta los arqueólogos y conservadores-restauradores como la suma de todas estas historias.

2.1.2. Agentes físicos exteriores de degradación

Varios procesos naturales conducen a la erosión de los objetos arqueológicos en el yacimiento. El agua, en general, es el agente físico y químico más potente de destrucción. Lixivia los materiales más solubles o hidroliza la mayoría de los materiales reactivos. Muchos de los polímeros orgánicos se hidrolizan muy pronto, se transforman en moléculas más pequeñas y se disuelven¹²⁷. Cuando el agua se mueve rápidamente a través de un depósito (como los que tienen gran cantidad de arena o grava), hasta los materiales rígidos como la cerámica pueden ser desgastados. Los objetos sumergidos pueden sufrir una abrasión aún mayor si están bajo la corriente del agua¹²⁸.

La presencia de poros grandes entre los granos de arena del suelo es lo que hace que el agua y el aire circulen con relativa facilidad¹²⁹. El terreno será menos compacto y más aireado si el terreno es arenoso. El suelo considerado arenoso es el que tiene más arena en relación con las partículas sólidas totales; estos suelos filtran fácilmente el agua a través de sus poros y se secan rápidamente¹³⁰. El tamaño del grano y la compacidad del suelo nos informan sobre la entrada de aire y de agua:

«De la composición sólida, alrededor del 45 % son de origen mineral y el 5 % de materia orgánica. Los espacios porosos se llenan de agua y gases, y el porcentaje que ocupan varía según la humedad del suelo. En suelos empapados, la mayoría de los espacios porosos se llenarán de agua, mientras que en suelos secos se llenarán de gases»¹³¹.

¹²⁷ CRONYN, Janet Margaret. *Elements of archaeological conservation*. Londres: Routledge, 2004, p. 18.

¹²⁸ *Ibid.*

¹²⁹ PES, Luciano Zucuni y ARENHARDT, Marlon Hilgert. *Solos*. Santa Maria (Brasil): Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria, 2015.

¹³⁰ *Ibid.*

¹³¹ *Ibid.*, p. 24 (traducción nuestra).

La estructuración del suelo cambia con la presencia de arcilla y materia orgánica. La arcilla es una roca sedimentaria con partículas muy pequeñas, de tamaño inferior a $<0,002$ mm (Tabla 1). Químicamente la arcilla es un silicato hidratado de aluminio, cuya fórmula es $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ ¹³². Se caracteriza por adquirir plasticidad al ser mezclada con agua. El suelo considerado relativamente arcilloso tiene al menos un 30 % de arcilla en su composición de grano, mientras el considerado muy arcilloso tiene más del 60 %¹³³. Este tipo de suelos, al empaparse, retienen el agua entre los pequeños espacios de los granos y en seguida tienden a la compactación¹³⁴. Cuando pierden la humedad y se secan, se compactan, disminuyendo su porosidad, haciéndolos más duros y menos aireados¹³⁵.

Tabla 1. Granulometría según distintos sistemas de clasificación¹³⁶

Granulometría				
	BRITÁNICO F (mm)	AASHTO F (mm)	ASTM F (mm)	SUCS F (mm)
grava	60–2	75–2	>2	75–4,75
arena	2–0,06	2–0,05	2–0,075	4,75–0,075
limo	0,06–0,002	0,05–0,002	0,075–0,005	<0,075 (FINOS)
arcilla	<0,002	<0,002	<0,005	–

Los suelos tienen diferentes grados de compactación y pesos. La densidad del suelo está dada por la relación entre la masa y el volumen que ocupa¹³⁷. Además de la presencia de arcillas, las principales situaciones que favorecen el aumento de masa por cantidad de volumen son el tráfico pesado y el pisoteo de los animales¹³⁸. El aumento de la densidad limita el crecimiento de las raíces, disminuye la infiltración de agua y reduce la capacidad de almacenamiento de agua y aire¹³⁹. A cuanto más profundidad se halle el hallazgo y cuanto más denso sea el suelo, este aguantará más peso sobre él.

La degradación generada por el peso, como también por otras fuerzas físicas, como impactos, desecamiento, congelamiento-descongelamiento, o

¹³² LABORATÓRIO DE CERÂMICA ARTÍSTICA À DISTÂNCIA. *Glossario Alfabético* [en línea]. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, s. f. [consulta: 17/09/2021]. Disponible en: <http://www.ufrgs.br/lacad/matprglossario.html>.

¹³³ PES, Luciano Zucuni y ARENHARDT, Marlon Hilgert. *Solos, op. cit.*, p. 32.

¹³⁴ *Ibid.*, p. 33.

¹³⁵ *Idem.*

¹³⁶ SALINAS FLORES, Yuber Omar. *Bases teóricas para la descripción del suelo de la parcela*. Otuzco (Perú): El Puquio, 2018, p. 19, tabla 1.

¹³⁷ PES, Luciano Zucuni y ARENHARDT, Marlon Hilgert. *Solos, op. cit.*, p. 34.

¹³⁸ *Ibid.*, p. 36.

¹³⁹ *Ibid.*, p. 35.

lixiviación, abarca los cambios en tamaño, forma, textura o estructura, distorsión y maceración de los hallazgos. Tales fuerzas mecánicas también generan en su estructura efectos discontinuos, como grietas, fisuras y fracturas, y efectos continuos, como arrugas y pliegues. La maceración es notoriamente uno de los fenómenos físicos de desintegración más agresivos en el material arqueológico orgánico en los yacimientos. Es causada por la combinación de la presión con otros factores —como los agentes biológicos, la hidrólisis química y la pérdida de sustancias solubles—¹⁴⁰.

Es habitual que a mayores profundidades los hallazgos arqueológicos estén más protegidos contra los cambios en la temperatura de la atmósfera¹⁴¹. Cuando algunos artefactos están sometidos a ambientes con temperatura y humedad inestable ganan o pierden agua, se hinchan y encogen y se degradan¹⁴². Cuanto más profundo es el estrato de suelo, más bajas son las temperaturas y menores son las fluctuaciones de temperatura y humedad. Al contrario, cuanto más superficiales son las capas de los yacimientos, más se verán afectadas por variaciones ambientales (como la lluvia, el sol, la nieve, etc.). En ambientes subaeriales, las variaciones de temperatura, humedad, radiación solar y congelación son acciones meteóricas muy activas, que causan particularmente fracturas por escamas¹⁴³. El viento actúa particularmente como un seleccionador de objetos *in situ*. Carga y destruye fragmentos y objetos más pequeños, o los entierra. La preservación *in situ* es mejor si el artefacto se cubre rápidamente y se protege de todos estos fenómenos meteorológicos.

La congelación es positiva para los materiales arqueológicos¹⁴⁴, pero, en caso de que haya condiciones recurrentes de congelación-descongelación, sufrirán daños por variaciones volumétricas¹⁴⁵. La congelación-descongelación es típica de las regiones de clima frío y próximas a las latitudes terrestres de 60°. Si en suelos con mucha humedad la temperatura cae por debajo de 0°C, los artefactos

¹⁴⁰ FERNÁNDEZ LÓPEZ, Sixto Rafael. *Temas de tafonomía*. Madrid: Universidad Complutense, 2000.

¹⁴¹ CRONYN, Janet Margaret. *Elements of archaeological conservation*, op. cit., p. 23.

¹⁴² SCHIFFER, Michael Brian. *Toward the identification of formation processes*, op. cit., p. 680.

¹⁴³ FERNÁNDEZ LÓPEZ, Sixto Rafael. *Temas de tafonomía*, op. cit.

¹⁴⁴ RENFREW, Colin y BAHN, Paul. *Arqueología: Teorías, Métodos y Prácticas*, op. cit.; SEASE, Catherine. *Conservation Manual for the field archaeologist*, vol. 4, *Archaeological Research Tools*. Los Ángeles (Estados Unidos): University of California, 1987.

¹⁴⁵ CRONYN, Janet Margaret. *Elements of archaeological conservation*, op. cit., p. 23.

orgánicos porosos pueden expandirse hasta un 9 %, lo que les causa muchos daños¹⁴⁶. El agua contenida dentro de los objetos se congela y aumenta de volumen, proporcionando mucha presión interna contra la estructura de los objetos. El daño puede ser peor donde el ciclo de congelación-descongelación se repite muchas veces durante el año, como es el caso de las islas Shetland del Sur en la Antártica.

2.1.3. Agentes químicos exteriores de degradación

El oxígeno, los iones y el pH de los suelos son otros de los principales agentes químicos de degradación *in situ*. El agua es el agente que funciona como medio conductor para las diversas reacciones químicas a ellos relacionadas. En entornos que contienen mucha agua y donde los iones se mueven rápidamente, las reacciones químicas se aceleran y la estabilidad de los objetos se ve muy afectada por el pH extremo. En general, los factores químicos actúan de manera conjunta, generando degradaciones complejas en los objetos arqueológicos en los yacimientos¹⁴⁷.

Las combinaciones de bases y ácidos forman sales, como carbonato de calcio o sodio. Cuando se disocian en iones —como calcio (Ca^{2+}), bicarbonato (HCO_3^-), sodio (Na^+) o cloruro (Cl^-)— son entonces muy regentes. La meteorización de las rocas produce Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , y HCO_3^- . El HCO_3^- está presente desde la disolución del dióxido de carbono atmosférico a la descomposición de materia orgánica¹⁴⁸. El agua y la sal ejercen efectos negativos para los orgánicos, para los metales e incluso para los artefactos de origen silíceos, como es el caso del vidrio y la cerámica. Las sales, cuando se disuelven en el agua, reaccionan directamente con artefactos, ejerciendo un papel importante en la corrosión electroquímica de metales.

La acidez se da principalmente por medio de la descomposición de la materia orgánica al liberar hidrógeno¹⁴⁹. El agua de la lluvia suele llevar ácido carbónico en disolución (H_2CO_3). En el suelo, el ácido carbónico se combina con

¹⁴⁶ *Ibid.*, p. 18.

¹⁴⁷ *Ibid.*, pp. 18-24.

¹⁴⁸ *Ibid.*, pp. 21 y 22.

¹⁴⁹ *Ibid.*, p. 20; PES, Luciano Zucuni y ARENHARDT, Marlon Hilgert. *Solos*, *op. cit.*

los gases del humus para formar ácidos orgánicos e inorgánicos¹⁵⁰. La propia actividad humana y de otros seres vivos en los yacimientos les agrega elementos iónicos, como es el caso del fosfato (PO_4^{3-}). Este fosfato es generado por excrementos o descomposición de materia orgánica. El material resultante de los desechos orgánicos también contiene mucho Cl^- y NO_3^- , así como los fertilizantes utilizados en la agricultura, que son ricos en fosfatos¹⁵¹.

Los componentes básicos del suelo, a su vez, se producen en general cuando las partículas de roca se disuelven con alta precipitación y baja evaporación¹⁵². Los depósitos alcalinos son comunes en climas áridos (pH entre 7-9)¹⁵³, pues la evaporación excede la precipitación, y el movimiento ascendente del agua por medio de vapor es más rápido que el baño de la lluvia¹⁵⁴. Los depósitos arqueológicos orgánicos son siempre los más afectados por niveles extremos de pH, aunque algunos materiales son más estables en medios ácidos y otros en medios alcalinos (Tabla 2). Pero, en general, los índices de pH extremos afectan a todos ellos.

Tabla 2. Preservación en ambientes alagados de acuerdo con el pH¹⁵⁵

Material	Preservación en tipologías de suelos (pH)
cuerno	ácido a neutral
cuero	ácido a básico
fibras animales: seda, lana	ácido
fibras vegetales: lino, cáñamo	básico
Hueso	neutral (o ácido/básico débil) a básico
Madera	ácido a básico

El oxígeno es un agente oxidante, participando en muchas reacciones redox¹⁵⁶. Los niveles de O_2 son sensibles al desplazamiento del dióxido de carbono, que es distribuido también por la respiración de las raíces de las plantas y microorganismos¹⁵⁷. La oxidación-reducción depende de la presencia de O_2 y de

¹⁵⁰ CRONYN, Janet Margaret. *Elements of archaeological conservation*, op. cit., pp. 18-24.

¹⁵¹ *Ibid.*, pp. 20 y 21.

¹⁵² *Ibid.*, p. 19.

¹⁵³ *Ibid.*, p. 20.

¹⁵⁴ *Idem.*

¹⁵⁵ ENGLISH HERITAGE. *Waterlogged Organic Artefacts: Guidelines on their recovery, analysis and conservation*. Swindon (Reino Unido): Historic England, 2018, p. 12, tabla 1.

¹⁵⁶ CRONYN, Janet Margaret. *Elements of archaeological conservation*, op. cit., pp. 18-24.

¹⁵⁷ *Ibid.*

materias muy oxigenadas, que son muy corrosivas. Cuando las partículas del suelo son grandes y el yacimiento no tiene mucha profundidad habrá mucha difusión de oxígeno. En yacimientos sumergidos —lagos, ríos o marítimos— el oxígeno se difunde en el agua de diferentes maneras. Son más altos los niveles de oxígeno en capas superficiales turbulentas, o donde hay plantas y seres fotosintéticos que liberan oxígeno, o donde fluyen corrientes ricas en oxígeno.

Algunas situaciones especiales en el suelo pueden ayudar a preservar ciertos vestigios, como la presencia de minerales metálicos, sales o betún. Sales y derivados metálicos pueden ayudar en la preservación por reducir la posibilidad de desarrollo microbiológico. El betún tiene la capacidad de repeler el agua y ser una barrera para el oxígeno. Los depósitos alcalinos, como lo son los depósitos con altos niveles de carbonato de calcio (como presencia de calcitas y creta), mantienen buenas condiciones para la preservación de los restos óseos y para los metales¹⁵⁸. Los huesos y la madera en depósitos alcalinos húmedos pueden fosilizarse, reemplazando su estructura orgánica lentamente por carbonato de calcio¹⁵⁹.

Las peores condiciones químicas para la preservación general de remanentes arqueológicos son los climas cálidos y húmedos y los suelos ácidos y airados. Los climas más tropicales tienen elevada velocidad de las reacciones químicas y acentuada degradación de orgánicos por crecimiento biológico¹⁶⁰. Las condiciones de acidez del suelo en asociación con la presencia de oxígeno, agua y calor corroen los metales velozmente. En pocos años puede ser que todos los orgánicos y metales desaparezcan y solo se encuentren los silíceos más resistentes, como las cerámicas o líticos. Depósitos subacuáticos en estas localidades pueden presentar una preservación más duradera de metales y algunos orgánicos, dependiendo de la situación de los yacimientos.

¹⁵⁸ FERNÁNDEZ LÓPEZ, Sixto Rafael. *Temas de tafonomía*, op. cit.

¹⁵⁹ *Ibid.*

¹⁶⁰ CRONYN, Janet Margaret. *Elements of archaeological conservation*, op. cit., p. 23.

2.1.4. Biodegradación

Muchos seres vivos contribuyen tanto a la aireación y drenaje del suelo, como a la descomposición de la materia orgánica e inorgánica en los yacimientos. Estos seres van desde los organismos microcelulares hasta los animales y plantas. La concentración y distribución de las especies están influenciadas tanto por la interacción entre ellas como por otros facilitadores ambientales¹⁶¹. Para sobrevivir, las especies dependen de condiciones favorables de temperatura, humedad relativa, luz, pH, entre otros. La temperatura, el pH y la concentración de oxígeno atmosférico son los mayores determinantes para el desarrollo de la vida en general¹⁶².

La acumulación de todo tipo de residuos en la superficie del suelo (hojas, madera, excrementos y animales muertos) atrae seres detritívoros, que se alimentan de la materia orgánica en descomposición¹⁶³. Los insectos son seres detritívoros que tienen un papel bioerosivo muy significativo en ambientes subaeriales. Los animales más grandes también perforan el suelo y afectan los yacimientos, así como las raíces de las plantas, promoviendo la aireación y el drenaje del yacimiento¹⁶⁴. Los sedimentos pueden ejercer resistencia contra estos organismos bioturbadores¹⁶⁵. Las plantas y los microorganismos son más difíciles de desarrollar en tipologías de suelo con difícil circulación de aire, agua y minerales.

Los microorganismos considerados como necrófagos (bacterias, hongos, algas, protozoos o nematodos) son los principales agentes de descomposición en el suelo. Las actividades bioquímico-enzimáticas de estos microorganismos son de fundamental importancia en el deterioro de compuestos orgánicos (celulosa, lignina, caseína, etc.). Muchas especies de bacterias, hongos y protistas absorben sustancias a nivel molecular del material depositado¹⁶⁶. Tanto en sustratos orgánicos

¹⁶¹ NAVARRO, Douglas Boniek Silva. *Bioprospecção de estirpes bacterianas com capacidade de dessulfurização em amostras de solo e sedimentos do Continente Antártico* [trabajo fin de máster]. Ouro Preto (Brasil): Universidade Federal de Ouro Preto, 2010.

¹⁶² *Ibid.*, pp. 23 y 24.

¹⁶³ INSECTA. *Insetos de solo* [en línea]. Insecta, s. f. [consulta: 18/09/21]. Disponible en: http://www.insecta.ufv.br/Entomologia/ent/disciplina/ban%20160/AULAT/aula15/inseto_SoloAquatico.html.

¹⁶⁴ PES, Luciano Zucuni y ARENHARDT, Marlon Hilgert. *Solos*, op. cit., p. 36.

¹⁶⁵ FERNÁNDEZ LÓPEZ, Sixto Rafael. *Temas de tafonomía*, op. cit.

¹⁶⁶ *Ibid.*; TRUEMAN, Clive N. y MARTILL, David Michael. The long-term survival of bone: the role of bioerosion. *Archaeometry*. 2002, vol. 44, n.º 3, pp. 371-382.

como en inorgánicos producen el desprendimiento y agrietamiento de los materiales¹⁶⁷.

Los hongos y las bacterias (reino *Fungi* y *Monera*) son los principales microorganismos responsables de la degradación biológica *in situ*. Pueden ser considerados como dentro de una misma «unidad bioquímica», es decir, que muchos de los procesos bioquímicos que ocurren con ellos son los mismos en comparación con otros reinos: el protista, vegetal o animal¹⁶⁸. Hongos y bacterias son más primitivos (menos complejos), están orgánicamente adaptados para tolerar condiciones ambientales más extremas y poder sobrevivir donde plantas y animales no lo pueden hacer.

Las bacterias son un grupo unicelular de muy pequeña dimensión. Con solo 1-2 micrómetros de tamaño, pueden ser cuantificadas como en mil millones por gramo de depósito evaluado¹⁶⁹. Solo cuando están presentes en muy grandes cantidades se hacen visibles, produciendo manchas de varios colores. Ya los hongos son organismos que se pueden encontrar como individuos unicelulares u organizados a través de hifas y cuerpos de fructificación. Al contrario que las bacterias, que pueden ser aeróbicas o anaeróbicas, los hongos son esencialmente aeróbicos, salvo las levaduras unicelulares que son una excepción a esta regla¹⁷⁰.

Condiciones de pH extremas son desfavorables para las actividades enzimáticas celulares y los organismos vivos tendrán más facilidad de desarrollarse en condiciones de neutralidad¹⁷¹. Las bacterias pueden ser inhibidas por la acidez, prefiriendo un rango de pH de 6 a 8. También sufren inhibición por la presencia o ausencia de luz¹⁷². Son más resistentes a la sequedad¹⁷³ que los hongos filamentosos o unicelulares, que necesitan esencialmente aire y agua para alimentarse y

¹⁶⁷ URZÌ, Clara y KRUMBEIN, Wolfgang E. Microbiological impacts on the cultural heritage. En: W. E. KRUMBEIN, P. BRIMBLECOMBE, D. E. COSGROVE y S. STANIFORTH, eds. *Durability and change: The science, responsibility, and cost of sustaining cultural heritage*. Nueva York (Estados Unidos): John Wiley and Sons, 1994, p. 120.

¹⁶⁸ ISHIDA, Kelly. EDISCIPLINAS USP. Universidade do Estado de São Paulo. Ecología, Fisiología e Metabolismo de Fungos, s. f. [consulta: 18/09/21]. Disponible en: <https://bit.ly/30jwH4q>.

¹⁶⁹ *Ibid.*

¹⁷⁰ LEPP, Heino. *Two Major Groups. Classifying fungi into ascomycetes and basidiomycetes* [en línea]. Canberra (Australia): Australian National Botanic Gardens and Australian National Herbarium, actualizado el 22/06/2011 [consulta: 18/09/21]. Disponible en:

<https://www.anbg.gov.au/fungi/ascomycetes-basidiomycetes.html>.

¹⁷¹ URZÌ, Clara y KRUMBEIN, Wolfgang E. Microbiological impacts on the cultural heritage, *op. cit.*, p. 118.

¹⁷² CRONYN, Janet Margaret. *Elements of archaeological conservation*, *op. cit.*, p. 17.

¹⁷³ IÁÑEZ, Enrique. *Agentes Físicos. Microbiología General* [en línea]. Universidad de Granada, actualizado el 09/05/2005 [consulta: 18/09/21]. Disponible en:

https://www.ugr.es/~eianez/Microbiologia/13agfisicos.htm#_Toc59451638.

sobrevivir¹⁷⁴. Ambos pueden desarrollarse en sustratos en yacimientos húmedos, pero requieren una RH % superior al 60-70 % para florecer en la atmósfera¹⁷⁵.

Los hongos pueden crecer en condiciones más ácidas que otros microorganismos¹⁷⁶. Muchos hongos son ácidos tolerantes pues poseen alta capacidad de taponamiento¹⁷⁷. En general, prefieren ambientes neutros a levemente ácidos (pH 4,5–4,7)¹⁷⁸. Los hongos necesitan también de aeración para existir, pues no sobreviven en ambientes subaereales. También necesitan de luz en poca cantidad, pues son intolerantes a la acción directa de rayos ultravioletas¹⁷⁹.

Alguna importancia secundaria puede tener las algas y líquenes para la preservación de los objetos arqueológicos. En el caso de los yacimientos loberos-balleneros de Livingston, algas y líquenes se fijan en los sustratos rocosos de los muros y otros objetos arqueológicos expuestos al aire. Un grupo de algas son organismos simples que aparecen en zonas húmedas, como son los ambientes marinos, los ríos o las lagunas, al ser aeróbicos y fotosintéticos. No toleran ambientes a los que les falte el oxígeno y la luz, por ello, en los mares de agua clara las algas proliferan mejor. Cuanto mayor sea la profundidad de las aguas, menor será la penetración de luz y, con ello, será menor la existencia de estos microorganismos¹⁸⁰. Los líquenes son asociaciones simbióticas entre algas y hongos, de este modo, los dos pueden sobrevivir en condiciones de sequedad. Las algas y los líquenes son aeróbicos y secretan ácidos orgánicos sobre los sustratos atacados¹⁸¹.

Los hongos, bacterias y otros microorganismos se clasifican con respecto a la capacidad de desarrollo en diferentes temperaturas¹⁸². Muy abundantes, los mesófilos son los que prefieren temperaturas entre 25-45°C¹⁸³. Los psicrófilos son para los que la temperatura de crecimiento ideal es baja, aproximadamente 15°C, poseyendo una temperatura máxima de tolerancia de 20°C¹⁸⁴. Los

¹⁷⁴ ISHIDA, Kelly. *EDISCIPLINAS USP*, op. cit.

¹⁷⁵ CRONYN, Janet Margaret. *Elements of archaeological conservation*, op. cit., pp. 16-17.

¹⁷⁶ *Idem*.

¹⁷⁷ ISHIDA, Kelly. *EDISCIPLINAS USP*, op. cit.

¹⁷⁸ GONZAGA, Armando Luiz. *Madeira: uso e conservação*. Brasília (Brasil): IPHAN, 2006, p. 48.

¹⁷⁹ *Idem*.

¹⁸⁰ *Ibid.*, pp. 16-17.

¹⁸¹ *Idem*.

¹⁸² IÁÑEZ, Enrique. *Agentes Físicos. Microbiología General*, op. cit.

¹⁸³ URZÌ, Clara y KRUMBEIN, Wolfgang E. *Microbiological impacts on the cultural heritage*, op. cit., p. 117.

¹⁸⁴ INSTITUTO VALENCIANO DE MICROBIOLOGÍA. *Microorganismos psicrófilos y psicrotrofos em alimentos y aguas. Cultivo cualitativo y cuantitativo; Identificación molecular (PCR y secuenciación)* [en línea]. Ivami.com, actualizado el 06/05/2018 [consulta: 18/09/21]. Disponible en: <https://bit.ly/3Dx3IO5>.

microorganismos psicotrofos, o psicrófilos facultativos, también pueden multiplicarse en temperaturas inferiores a los 7°C¹⁸⁵. Pueden estar presentes en regiones polares y alpinas, donde hay formación de hielo, y en aguas profundas¹⁸⁶. Las bacterias destacan en este grupo que puede perdurar en climas fríos ya que su acción de supervivencia es muy eficaz, pues la contaminación ocurre en hábitats mesófilos y sigue actuando en baja temperatura, como en la situación de refrigeración¹⁸⁷. El rango de temperatura de muchos microorganismos para la supervivencia de las esporas va de 0 a 110°C¹⁸⁸. Sin embargo, los únicos organismos vivos capaces de vivir por encima de 65°C son algunos microorganismos procariotas¹⁸⁹.

Donde el oxígeno no penetra suficientemente en la materia orgánica del suelo, la descomposición se efectuará por bacterias con respiración anaeróbica. Este tipo de bacterias oxida su alimento por medio de la reducción de productos químicos inorgánicos (como sulfatos, nitratos, dióxido de carbono, hierro (III) y otros), y generan un efecto indirecto tanto en materiales orgánicos como inorgánicos¹⁹⁰. Este tipo de respiración es 'ineficaz' y la bacteria excreta ácidos orgánicos en lugar de dióxido de carbono como resultado¹⁹¹, y produce grandes cantidades de ácidos orgánicos, bajando drásticamente el pH en estos sitios¹⁹².

Un grupo de bacterias anaeróbicas importantes para comprender los procesos de degradación biológica *in situ* son las reductoras de sulfato (SRB), como la *Desulphovibrio*¹⁹³. «Durante el entierro, las bacterias generadoras de sulfuros pueden reducir los compuestos oxigenados de azufre (sulfatos, sulfitos, etc.), presentes en el medio ambiente, en especies de sulfuros (H₂S, HS⁻, S₂-)»¹⁹⁴. Su

¹⁸⁵ *Ibid.*

¹⁸⁶ *Ibid.*

¹⁸⁷ *Ibid.*

¹⁸⁸ URZÌ, Clara y KRUMBEIN, Wolfgang E. Microbiological impacts on the cultural heritage, *op. cit.*, p. 117.

¹⁸⁹ Bacterias y cianobacterias con estructuras simples, cuyas células (procariotas) no se limitan a la membrana nuclear; este material se encuentra disperso por todo el citoplasma celular. IÁÑEZ, Enrique. *Agentes Físicos. Microbiología General*, *op. cit.*

¹⁹⁰ CRONYN, Janet Margaret. *Elements of archaeological conservation*, *op. cit.*, p. 17.

¹⁹¹ *Idem.*

¹⁹² *Ibid.*, p. 19.

¹⁹³ *Ibid.*, p. 17.

¹⁹⁴ REMAZEILLES, Céline; LEVEQUE, Françoise; MINJACQ, Maylis; REFAIT, Phillippe; SÁNCHEZ, Corinne y JÉZÉGOU, Marie Pierre. Characterisation of iron (II) sulfides in wet archaeological woods: the wreck of Mandirac (IV th century, antique ports of Narbonne, France). En: E. WILLIAMS y E. HOCKER, eds. *Proceedings of the 13th ICOM-CC Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference, Florence 2016*. París (Francia): International Council of Museums, 2018 (traducción nuestra).

actividad se detecta fácilmente por el olor de «huevos podridos» del sulfuro de hidrógeno y por un ennegrecimiento del yacimiento generado por la formación de sulfuros metálicos¹⁹⁵. Las SRB generan un problema especial de degradación para objetos mixtos compuestos de hierro y orgánicos y yacimientos contaminados por hierro, pues las actividades de estas bacterias sobre los componentes metálicos los destruyen y producen sustancias que contaminan los orgánicos y que son muy reactivas para la parte orgánica. Especies de sulfuros producidos combinados con iones de hierro (II) (producidos sobre estructuras de hierro utilizadas en el montaje), resultantes de la corrosión de los objetos de hierro, causan daños notables en las partes orgánicas de los objetos (como ocurre en barcos arqueológicos)¹⁹⁶:

«Los daños posteriores a la excavación observados en la madera se deben principalmente a la precipitación de cristales voluminosos y la acidificación que conduce a la formación de grietas y migajas, eflorescencias antiestéticas, descomposición de la materia orgánica y pérdida de resistencia mecánica. [...] La pirita (FeS₂) y el azufre mineral (α -S₈) se mencionan a menudo en yacimientos arqueológicos húmedos, pero también se detectaron mackinawita (FeS) y gregita (Fe₃S₄) en cantidades significativas»¹⁹⁷.

La presencia de sustancias antibióticas tóxicas, las concentraciones de sal, el frío intenso y la congelación suprimen la vida. La ausencia de oxígeno en aguas estancadas, o en los suelos con muchos lodos argilosos, coloides, resinas y aceites, también elimina en mucho la posibilidad para los seres vivos¹⁹⁸. Las sales y la combinación de sal y aceite ayudan a preservar los hallazgos orgánicos de la biodegradación¹⁹⁹. Los productos de corrosión del cobre tienen efecto biocida e inhiben el ataque de microorganismos a los componentes orgánicos²⁰⁰. Los iones

¹⁹⁵ CRONYN, Janet Margaret. *Elements of archaeological conservation*, op. cit., p. 17.

¹⁹⁶ REMAZEILLES, Céline; LEVEQUE, Françoise; MINJACQ, Maylis; REFAIT, Phillippe; SÁNCHEZ, Corinne y JÉZÉGOU, Marie Pierre. Characterisation of iron (II) sulfides in wet archaeological woods: the wreck of Mandirac (IV th century, antique ports of Narbonne, France), op. cit.

¹⁹⁷ *Ibid.* (traducción nuestra).

¹⁹⁸ FERNÁNDEZ LÓPEZ, Sixto Rafael. *Temas de tafonomía*, op. cit., p. 40.

¹⁹⁹ RENFREW, Colin y BAHN, Paul. *Archeology. Theories Methods and Practice*. 3.ª ed. Londres: Thames and Hudson, 2000, p. 59.

²⁰⁰ *Idem.*

de cobre y los polifenoles son especialmente tóxicos para los organismos²⁰¹. Los polifenoles pueden derivarse de taninos de artefactos de cuero, o de plantas en descomposición²⁰². La madera del roble (*oak*) frena la biodegradación posiblemente debido a la presencia de ácido tánico, que también actúa como biocida²⁰³. Los objetos orgánicos carbonizados no son tan interesantes para los microorganismos, siendo menos biodeteriorados²⁰⁴.

La temperatura y el oxígeno de los yacimientos están considerablemente más bajos que los del ambiente externo. Los microorganismos que sobreviven en los objetos arqueológicos en un nivel de bajo desarrollo en los yacimientos, después de la excavación pueden proliferar rápidamente. La contaminación y el desarrollo de otras especies de microorganismos no existentes previamente en el yacimiento es también casi inevitable.

2.2. Condiciones medioambientales de Livingston

El entorno del depósito arqueológico tiene gran influencia en el estado de la conservación *in situ*. En el caso de Livingston, la ubicación polar contribuye a la comprensión de cómo las condiciones climáticas, geográficas y geomorfológicas preservan los hallazgos en los abrigo loberos-balleneros. El clima bastante frío y la ausencia de urbanización colaboraron a la preservación de materiales muy débiles, y que serían destruidos rápidamente en otros contextos arqueológicos. Sin embargo, los objetos no están libres de ser afectados y deteriorados por diversos otros elementos ambientales referentes al clima, seres vivos y tipos de suelo y sedimento.

2.2.1. Clima y geomorfología

Las islas Shetland del Sur están en la región marítima occidental de la Antártica. Livingston está localizada a 62°36'S 60°30'W, posee 798 km² y una altitud

²⁰¹ CRONYN, Janet Margaret. *Elements of archaeological conservation*, op. cit., pp. 28 y 29.

²⁰² *Idem*.

²⁰³ KAYE, Barry. Conservation of waterlogged archaeological wood. *Chemical Society Reviews*. 1995, vol. 24, n.º 1, p. 35.

²⁰⁴ MIRAMBELL, Lorena y SÁNCHEZ MARTÍNEZ, Fernando. *Materiales arqueológicos de origen orgánico: textiles*. México DF (México): Instituto Nacional de Antropología e Historia, 1986, p. 82.

máxima de 1700,2 m. La península Byers, al oeste de la isla Livingston, está localizada a 62°34'S 61°13'W y tiene 60,6 km² de superficie²⁰⁵.

El clima a nivel del mar en las islas Shetland del Sur es el oceánico frío (Figura 7)²⁰⁶. Durante el verano este clima se caracteriza por presencia de nieve asociada a precipitaciones frecuentes y alta nubosidad. Estos ambientes periglaciares²⁰⁷ tienen una amplia variedad climática, con temperaturas medias anuales cercanas o muy por debajo del punto de congelación y, en general, con un rango de temperatura anual importante²⁰⁸. Los promedios diarios de temperatura son a menudo positivos, entre 0-10°C. Sin embargo, los vientos bajan mucho la sensación térmica, ya que en la región los vientos llegan a más de 60 km/h²⁰⁹.

En relación a la precipitación, los datos pueden variar significativamente en la región, porque la precipitación cambia en escalas espaciales pequeñas²¹⁰. Para Bañón *et al.* (2013), en Byers «las precipitaciones y los días de lluvia suelen ser características predominantes en la zona, con precipitaciones líquidas durante todo el verano»²¹¹. Las precipitaciones de verano en Bayers oscilan entre 100 y 230 mm, con un valor medio de 159 mm²¹². En los meses fríos la temperatura disminuye bajo 0°C, y la precipitación también disminuye.

²⁰⁰ SECRETARÍA DEL TRATADO ANTÁRTICO. *Plan de gestión para la zona antártica especialmente protegida n.º 126: Península Byers, Isla Livingston, Islas Shetland del Sur*, op. cit.

²⁰⁶ MOURA, Pedro Adnet. *Solos Criogênicos da Porção Norte da Península Byers, Ilha Livingston* [trabajo fin de máster]. Río de Janeiro (Brasil): Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2010, p. 8.

²⁰⁷ Condición o ambiente verificado a lo largo de áreas glaciares en derretimiento y regiones circundantes, y con registros geológicos que pueden ser indicativos de estas condiciones.

²⁰⁸ FARIA, André Luiz Lopes de. *Solos, geomorfologia e relações ecológicas na parte sudoeste da península de Byers, Ilha Livingston, Antártica Marítima* [tesis doctoral]. Viçosa (Brasil): Universidade Federal de Viçosa, 2010, p. 18 (traducción nuestra).

²⁰⁹ METEOBLUE. *Mapa de Clima modelado. Velocidad del viento en Meteoblue* [en línea]. S. f. [consulta: 19/09/2021]. Disponible en: <https://bit.ly/2YLJax6>.

²¹⁰ BAÑÓN, Manuel; JUSTEL, Ana; VELÁZQUEZ, David y QUESADA, Antonio. Regional weather survey on Byers Peninsula, Livingston Island, South Shetland Islands, Antarctica. *Antarctic Science*. 2013, vol. 25, n.º 2, p. 155.

²¹¹ *Idem.* (traducción nuestra).

²¹² *Idem.*

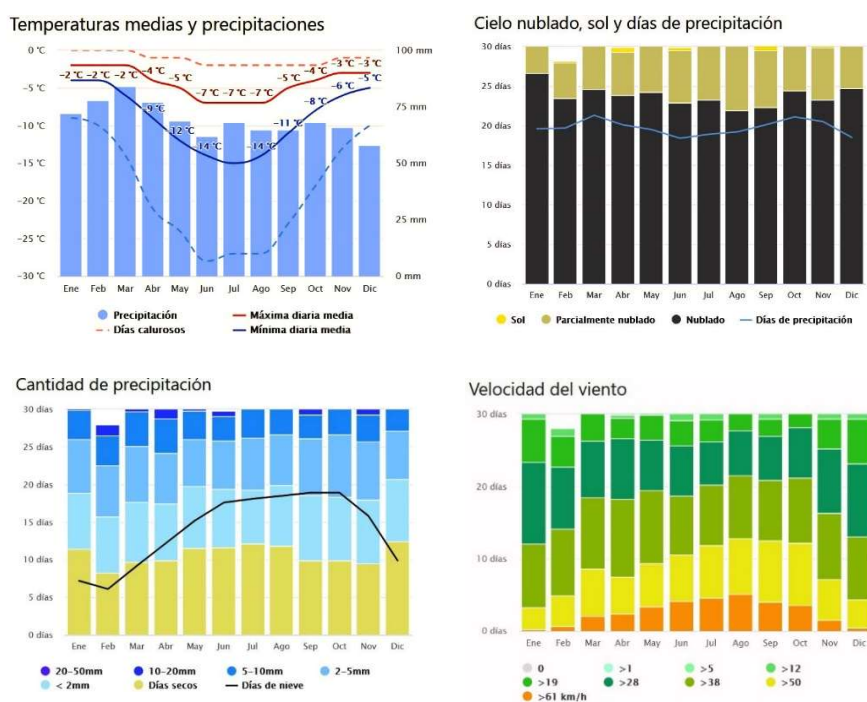


Figura 7. Clima en las islas Shetland del Sur²¹³

Los procesos geomorfológicos que actúan en las zonas periglaciares se concentran en el período de transición entre invierno y verano, en función de variaciones de temperatura en torno a los 0°C²¹⁴, siendo más rápidas en comparación con el resto del continente, que está todo el año más frío y más seco²¹⁵. «Los procesos periglaciares dominantes en Byers son: gelifluxión²¹⁶, geliflación²¹⁷, crioturbación²¹⁸, con contribuciones menores de la meteorización química y las áreas de humectación y secado»²¹⁹. La meteorización es más intensa

²¹³ Los diagramas climáticos de Meteoblue se basan en 30 años de simulaciones de modelos meteorológicos por hora; dan una buena indicación de los patrones climáticos típicos y condiciones previstas (temperatura, precipitación, radiación solar y viento). Los datos meteorológicos simulados tienen una resolución espacial de unos 30 km y pueden no reproducir todos los efectos del clima local, como las tormentas, vientos locales o tornados. Ver METEOBLUE. *Mapa de Clima modelado. Velocidad del viento en Meteoblue, op. cit.*

²¹⁴ FARIA, André Luiz Lopes de. *Solos, geomorfología e relações ecológicas na parte sudoeste da península de Byers, Ilha Livingston, Antártica Marítima, op. cit., p. 21.*

²¹⁵ MOURA, Pedro Adnet. *Solos Criogênicos da Porção Norte da Península Byers, Ilha Livingston, op. cit., p. 8.*

²¹⁶ La gelifluxión consiste en la formación de las llamadas coladas de barro o fango, resultando que determinados materiales (como arcillas o cenizas volcánicas) se empapan y deslizan como un líquido por las pendientes.

²¹⁷ Efecto de cuña que se produce cuando el agua se congela dentro de grietas de las rocas ocasionando su rotura.

²¹⁸ Mezcla de materiales de varios horizontes desde el suelo hasta la roca madre debido al ciclo de congelación-descongelación que ocurre en diversos grados en la mayoría de los gelisuelos.

²¹⁹ Hall, 1992, citado en FARIA, André Luiz Lopes de. *Solos, geomorfología e relações ecológicas na parte sudoeste da península de Byers, Ilha Livingston, Antártica Marítima, op. cit., p. 17 (traducción nuestra).*

en áreas libres de hielo²²⁰. El relevo en la isla Livingston es el resultado de la acción principalmente de la erosión glacial, remodelada luego por la erosión periglacial.

La península de Byers se compone principalmente de arcillas marinas, areniscas y grupos de rocas volcánicas formadas entre los períodos Jurásico Superior al Cretácico Inferior²²¹. Las rocas ígneas y sedimentarias están expuestas²²². Los grandes afloramientos rocosos están asociados con los escarpes. Las mesetas interiores forman grandes áreas de relieve plano, donde predomina la fragmentación del lecho rocoso y las terrazas marinas elevadas²²³.

Byers presenta franjas de playas con guijarros, cantos rodados asociados a la presencia de arena gruesa y media, además de siltes (limo)²²⁴. En las zonas costeras se observa la desembocadura de los canales de descongelación y profundos barrancos y canales aluviales que arrojan y depositan sedimentos del interior de la península²²⁵. Los depósitos glaciares son reelaborados por la acción del mar y del viento, con los materiales depositados por los flujos de fusión en las llanuras fluvio-glaciares (Figura 8):

«Destaca la gran extensión de playas y llanuras fluvio-glaciares con aluviones y terrazas cuaternarias, que indican el fuerte levantamiento glacioisostático de la península de Byers, provocado por el retroceso del glaciar Rotch. Tienen mayor desarrollo en la parte sur de la península, pero se distribuyen a lo largo de toda la costa»²²⁶.

²²⁰ MOURA, Pedro Adnet. *Solos Criogênicos da Porção Norte da Península Byers, Ilha Livingston*, op. cit., p. 58.

²²¹ Smellie *et al.*, 1980; Crame *et al.*, 1993, citados en *ibid.*, p. 47.

²²² *Ibid.*, p. 8.

²²³ *Ibid.*, p. 18.

²²⁴ Sustancia mineral cuyas partículas son más finas que los granos de arena y más grandes que las partículas de arcilla, transportada por el agua corriente y depositada como sedimento. Sedimento de tales partículas minerales. FARIA, André Luiz Lopes de. *Solos, geomorfologia e relações ecológicas na parte sudoeste da península de Byers, Ilha Livingston, Antártica Marítima*, op. cit., p. 45.

²²⁵ *Ibid.*

²²⁶ *Ibid.*, p. 17 (traducción nuestra).

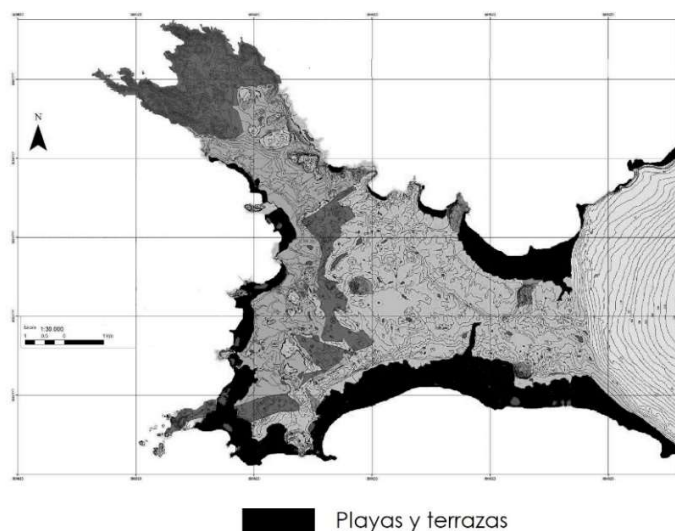


Figura 8. Mapa: geomorfología de Byers²²⁷.
Glaciar en contacto con la playa (izq.); terrazas marinas y llanuras fluvio-glaciares (der.)²²⁸

La península de Byers es un lugar importante para estudios limnológicos en las islas Shetland del Sur. Más de 60 lagos forman una red densa de flujos de fusión²²⁹. Los más grandes pueden alcanzar hasta 4,5 km de longitud, con hasta 20 m de ancho y 30 a 50 cm de profundidad durante los períodos de descongelación²³⁰. Hay también algunos lagos de agua salada cerca de la costa, como en Robbery Beaches²³¹.

²²⁷ Mapa basado en *ibid.*, p. 16, figura 4.

²²⁸ Fuente: LEACH, isla Livingston, Antártica, 2014 (izq.) y 2017 (der.).

²²⁹ Toro, 2007, citado en MOURA, Pedro Adnet. *Solos Criogênicos da Porção Norte da Península Byers, Ilha Livingston*, op. cit., p. 26.

²³⁰ Ellis-Evans, 1996, citado en *idem*.

²³¹ *Idem*.

2.1.2. Seres vivos

Las fuentes visibles de materia orgánica para microorganismos están ausentes en la mayor parte de la Antártica continental, y el frío extremo y la sequedad del interior del continente limitan aún más la vida²³². Los organismos vivos en la Antártica se adaptan a la sequedad interrumpiendo la actividad metabólica hasta que el agua esté disponible²³³, prosperando más en las islas y playas, más próximas al mar, y en las latitudes antárticas menos extremas.

En las áreas libres de hielo la flora está más presente²³⁴. Ella está representada apenas por una cantidad específica de especies²³⁵ que se desarrollan en los meses de más calor. De manera general, en Antártica la flora se dividen en briófitas, líquenes y, minoritariamente por las *Magnoliophyta*, o «plantas con flores»²³⁶. En las terrazas marinas de Byer podemos ver la formación de extensas esteras de briófitas (*Colobanthus quitensis* y *Deschampsia antártica*)²³⁷ (Figura 9). Los suelos con estas «sábanas» son comunes en verano, donde las plantas retienen el agua para su propia supervivencia.



Figura 9. Esteras de briófitas en Livingston²³⁸

²³² SIMMONS, B. L.; WALL, D. H.; ADAMS, B. J.; AYRES, E.; BARRETT, J. E. y VIRGINIA, R. A. Long-term experimental warming reduces soil nematode populations in the McMurdo Dry Valleys, Antarctica. *Soil Biology and Biochemistry*. 2009, vol. 41, n.º 10, pp. 2052-2060.

²³³ BASKIN, Yvonne. *Under ground: How creatures of mud and dirt shape our World*. Washington, DC (Estados Unidos): Island Press, 2005, pp. 14-37.

²³⁴ MOURA, Pedro Adnet. *Solos Criogênicos da Porção Norte da Península Byers, Ilha Livingston*, op. cit., p. 26.

²³⁵ BASKIN, Yvonne. *Under ground: How creatures of mud and dirt shape our World*, op. cit.

²³⁶ NÚCLEO DE ESTUDOS DA VEGETAÇÃO ANTÁRTICA. *Flora Antártica* [en línea]. Bagé (Brasil): Universidade Federal do Pampa. S. f. [consulta: 04/12/2019]. Disponible en: <https://sites.unipampa.edu.br/neva/flora-antartica>.

²³⁷ MOURA, Pedro Adnet. *Solos Criogênicos da Porção Norte da Península Byers, Ilha Livingston*, op. cit.

²³⁸ Fuente: LEACH, isla Livingston, Antártica, 2017.

Las bacterias, los protozoos, los hongos y otros microorganismos también adaptados al frío antártico están muy extendidos en los ecosistemas de la Antártida. Entre las algas identificadas en el continente Antártico, se destacan las diatomeas y las algas verdes²³⁹. Estas algas dependen de la presencia de humedad y muchas especies son organismos unicelulares que forman fitoplancton. Las algas y las cianobacterias se encuentran a menudo en las zonas libres de hielo, como epífitas en musgos, asociadas a rocas y en el agua en la nieve²⁴⁰.

Muchos hongos en las zonas costeras de las islas son grupos de parásitos de briófitas²⁴¹. Se encuentran hongos filamentosos tolerantes al frío, entre los cuales el *Aspergillus* y el *Penicillium* son algunos de los géneros presentes en Antártica²⁴². El estudio de Katherine Ludley y Clare H. Robinson (2008) discute la actuación de los hongos «descomponedores» de materias orgánicas en las regiones polares. Los autores mencionan la falta de estudios para la aclaración acerca de la descomposición de la madera en los sitios fríos del Ártico y la Antártica por medio de la «podredumbre blanda», que resulta de la acción de los ascomicetos anamórficos o por los basidiomicetos de «podredumbre blanca» o «podredumbre parda»²⁴³.

Algunos invertebrados artrópodos (como ciertos ácaros) están presentes en áreas terrestres²⁴⁴. Algunos artrópodos son parásitos de aves y pinnípedos. Las aves más abundantes en la península de Byers son el petrel antártico (*Thalassoica antarctica*) y la paloma antártica (*Chionis Alba*). Dos especies de pingüinos principales son el antártico (*Psygoscelis antarctica*) y, en mayor número, el papúa

²³⁹ ADAMS, Byron J.; BARDGETT, Richard D.; AYRES, Edward; WALL, Diana H.; AISLABIE, Jackie; BAMFORTH, Stuart; BARGAGLI, Roberto; CARY, Craig; CAVACINI, Paolo; CONNELL, Laurie; CONVEY, Peter; FELL, Jack W.; FRATI, Francesco; HOGG, Ian D.; NEWSHAM, Kevin K.; O'DONNELL, Anthony; RUSSELL, Nicholas; SEPPELT, Rodney D. y STEVENS, Mark I. Diversity and distribution of Victoria Land biota. *Soil Biology and Biochemistry*. 2006, vol. 38, n.º 10, pp. 3003-3018.

²⁴⁰ *Ibid.*

²⁴¹ PUTZKE, Jair y PEREIRA, Antonio Batista: Fungos muscícolas na ilha elefante-Antártica. *Caderno de Pesquisa*. 2012, vol. 24, n.º 1, p. 156.

²⁴² KOSTADINOVA, N.; KRUMOVA, E.; TOSI, S.; PASHOVA y ANGELOVA, M. Isolation and identification of filamentous fungi from island Livingston, Antarctica. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*. 2009, vol. 23, n.º supl. 1, p. 267.

²⁴³ LUDLEY, Katherine E. y ROBINSON, Clare H. 'Decomposer' basidiomycota in Arctic and Antarctic ecosystems. *Soil Biology and Biochemistry*. 2008, vol. 40, n.º 1, p. 11.

²⁴⁴ ADAMS, Byron J.; BARDGETT, Richard D.; AYRES, Edward; WALL, Diana H.; AISLABIE, Jackie; BAMFORTH, Stuart; BARGAGLI, Roberto; CARY, Craig; CAVACINI, Paolo; CONNELL, Laurie; CONVEY, Peter; FELL, Jack W.; FRATI, Francesco; HOGG, Ian D.; NEWSHAM, Kevin K.; O'DONNELL, Anthony; RUSSELL, Nicholas; SEPPELT, Rodney D. y STEVENS, Mark I. Diversity and distribution of Victoria Land biota. *Soil Biology and Biochemistry*. 2006, vol. 38, n.º 10, pp. 3003-3018.

(*Pygoscelis papua*). Las colonias de pingüinos están formadas por centenas de individuos, que son una de las fuentes más importantes de materia orgánica en los ecosistemas terrestres de la Antártica marítima²⁴⁵ (Figura 10):

«Estos solos se diferencian dos demais em função de sus características químicas, como pH baixo, elevadas quantidades de P, alta atividade do Al e níveis variados de Ca, Mg e K no complexo de troca»²⁴⁶.

«La presencia de gran número de aves, junto con el retroceso del glaciar, permite el desarrollo de la vegetación en áreas más alejadas de la costa, cercanas a los nidos, lo que indica la importancia de la fertilización del suelo, proporcionando el establecimiento de comunidades vegetales más complejas y con mayor capacidad de fijación de C»²⁴⁷.



Figura 10. Pingüinos papúa en Livingston²⁴⁸

Entre los mamíferos de Byers (Figura 11), los más comunes son los elefantes marinos (*Mirounga leonina*), y en menor número se encuentran los lobos marinos (*Arctocephalus gazella*), focas Weddell (*Leptonychotes weddellii*), focas cangrejo (*Lobodon carcinophagus*) y focas leopardo (*Hydrurga leptonyx*)²⁴⁹. Estas especies

²⁴⁵ Ugolini, 1972; Sima, 2007, citados en MOURA, Pedro Adnet. *Solos Criogênicos da Porção Norte da Península Byers, Ilha Livingston, op. cit.*, p. 36.

²⁴⁶ Simas et al., 2003, citado en FARIA, André Luiz Lopes de. *Solos, geomorfologia e relações ecológicas na parte sudoeste da península de Byers, Ilha Livingston, Antártica Marítima, op. cit.*, p. 54 (traducción nuestra).

²⁴⁷ FARIA, André Luiz Lopes de. *Solos, geomorfologia e relações ecológicas na parte sudoeste da península de Byers, Ilha Livingston, Antártica Marítima, op. cit.*, p. 54 (traducción nuestra).

²⁴⁸ Fuente: LEACH, isla Livingston, Antártica, 2014.

²⁴⁹ Scar, 2003, citado en MOURA, Pedro Adnet. *Solos Criogênicos da Porção Norte da Península Byers, Ilha Livingston, op. cit.*, p. 26.

de mamíferos han sido cazadas por los loberos-balleneros, y se pueden ver con frecuencia en la región de Byers durante los meses de verano, debido a que esa es la época de reproducción y cría de muchos especímenes animales en la Antártica.



Figura 11. Elefantes marinos (izq.) y lobos marinos (der.) en Livingston²⁵⁰

Las islas Shetland son la entrada para otras regiones distantes y costeras de la Antártica. Se caracterizan por su elevada actividad terrestre, ya que son muy susceptibles a una amplia variedad de procesos naturales —inestabilidad tectónica y geológica, tsunamis, vulcanismo, acción de fricción, olas y mareas, aumento del nivel del mar, eventos de tormenta, etc.—, como también son las más susceptibles a los cambios inducidos por el hombre y la presencia humana²⁵¹. Recordemos que el aumento del nivel del mar por el cambio climático es exacerbado en los últimos años²⁵², y estos procesos pueden afectar tanto a la biodiversidad, como a los yacimientos arqueológicos sumergidos o costeros de la Antártica, pudiendo llegar hasta a destruir completamente toda la antigua evidencia de la ocupación humana en el pasado.

2.2.3. Microvestigios, solos y sedimentos

Si miramos el suelo y el sedimento arqueológico microscópicamente, apreciaremos características y sustancias que están influyendo en la preservación, alteración y degradación de los artefactos que no pueden ser vistos a simple vista.

²⁵⁰ Fuente: LEACH, isla Livingston, Antártica, 2014.

²⁵¹ RICK, Torben C. y FITZPATRICK, Scott M. Archaeology and coastal conservation. *Journal of Coastal Conservation*, 2012, vol. 16, n.º 2, pp. 135-136.

²⁵² *Ibid.*

La misma mirada de aumento nos permitirá también describir ciertas microestructuras y sustancias que son de interés arqueológico, los microvestigios. Ellos son remanentes de gran interés para el análisis de la arqueología ambiental²⁵³, para la microarqueología y, como no podría dejar de ser, para la conservación:

«El concepto de microvestigio no es un concepto universalmente definido. Dunnell y Stein (1989) proponen que la noción de artefacto incluya el concepto de microartefacto, ya que también es producto de la actividad humana. Según Sharer y Ashmore (1979) un artefacto es un objeto manufacturado y/o modificado por el hombre, que puede ser transportado. De la misma manera, un microartefacto sería un objeto que presenta las mismas características, pero en un tamaño más pequeño. Sin embargo, esta definición excluye restos de origen natural que no fueron confeccionados, modificados ni transportados por el hombre, por ejemplo, ecofactos²⁵⁴, pero que pueden brindar información acerca de la ocupación humana de un sitio»²⁵⁵.

Aunque sean pocos los casos de estudios de la arqueología ambiental y de los microvestigios para el contexto arqueológico lobero-ballenero de las islas Shetland del Sur, contamos con el trabajo de referencia de Villagran *et al.* (2013), quienes realizaron estudios geoarqueológicos de los yacimientos Sealer 3 y Sealer 4, yacimientos que se encuentran en la playa sur de la península de Byers²⁵⁶. Tanto

²⁵³ La arqueología ambiental es «[...] el estudio de la economía y el medio ambiente del pasado utilizando las ciencias de la tierra y de la vida. Nos informa sobre el cambio ecológico, cultural, económico y climático. Los paisajes se alteran mediante una combinación de procesos naturales y culturales. Los procesos naturales incluyen la actividad geológica y biológica, tales como erosión, sedimentación, levantamiento de escarcha, reelaboración por plantas y animales, crecimiento de plantas, deposición de plantas y animales muertos y degradación por seres vivos. Los procesos culturales incluyen actividades rituales y de subsistencia, construcción, descarte o pérdida de material, manufactura y creación de residuos de fabricación, reciclaje, destrucción deliberada y utilización de recursos». Fuente: CAMPBELL, Gill; MOFFETT, Lisa y STRAKER, Vanessa. *Environmental Archaeology: a guide to the theory and practice of methods, from sampling and recovery to post-excavation, op. cit.*, p. 3 (traducción nuestra).

²⁵⁴ Ecofactos son «[...] elementos animales o vegetales presentes en el yacimiento, distintos de los empleados para la construcción de artefactos, que nos informan del contexto ecológico y paisajístico del grupo humano estudiado, así como de su economía y sus costumbres alimenticias». Fuente: GARCÍA FORTES, Salvador y FLOS TRAVIESO, Nuria. *Conservación y restauración de bienes arqueológicos*. Madrid: Síntesis [eBook Kindle], 2008, pp. 161-163.

²⁵⁵ Kligmann, D.M. 2009. Técnicas de recuperación y análisis de microvestigios arqueológicos aplicadas al estudio de sociedades cazadoras-recolectoras. Ms. Citado en STAROPOLI, Laura. Síntesis sobre el análisis de microvestigios en arqueología. *La zaranda de ideas*. 2013, vol. 9, n.º 2, p. 139.

²⁵⁶ VILLAGRAN, Ximena S.; SCHAEFER, Carlos E. G. R. y LIGOUIS, Bertrand. Living in the cold: Geoarchaeology of sealing sites from Byers Peninsula (Livingston Island, Antarctica). *Quaternary International*. 2013, vol. 315, n.º 27.

los suelos arqueológicos como los no arqueológicos del entorno de los abrigos loberos-balleneros fueron muestreados en este trabajo, y de la investigación comparativa entre los resultados se constató que la presencia humana influyó en su microcomposición. Se encontraron los remanentes de la actividad humana en los abrigos e informaciones acerca de su estado en los depósitos: microvestigios de hueso, hueso quemado, tejidos vegetales, presencia y uso de la grasa de los animales y micelas de hongos²⁵⁷.

Los estudios que explican la conformación de los suelos y sedimentos de la isla Livingston y la península Byers son, sin embargo, abundantes en el campo de las geociencias, no hablando de los suelos de los abrigos loberos-balleneros. Faria (2010) definió los tres grupos principales de suelos en Byers²⁵⁸:

- Suelos con intensa crioturbación, que se encuentran en la porción más alta del paisaje (por encima de los 70 m de altitud), con textura franca²⁵⁹, pH por encima de 7.0, profundos, eutróficos²⁶⁰ y sin actividad avifauna.
- Suelos desarrollados sobre terrazas marinas elevadas y llanuras fluvio-glaciales, profundas o someras, de textura regular y con diferentes grados de nidificación. Los valores de pH, eutrofia, profundidad y altitud varían. Los suelos no ornitogénicos tienen un pH alcalino y son predominantemente eutróficos.
- Los suelos sódicos y arenosos desarrollados en las playas representan el 19 % del área de la península de Byers, con crestas de arena y guijarros, sódicos, eutróficos y no registran anidación²⁶¹.

De acuerdo con Moura (2010), en la porción norte de Byers, los suelos con carácter ornitogénico²⁶² poseen alto contenido de P, bajo contenido de Ca^{2+} y Mg^{2+} , pH ácido y alta actividad de Al. Los valores del pH del estudio promedian 6.8, siendo más ácida la influencia de la actividad ornitogénica. La acidez se produce

²⁵⁷ VILLAGRAN, Ximena S.; SCHAEFER, Carlos E. G. R. y LIGOUIS, Bertrand. Living in the cold: Geoarchaeology of sealing sites from Byers Peninsula (Livingston Island, Antarctica). *Quaternary International*. 2013, vol. 315, n.º 27.

²⁵⁸ FARIA, André Luiz Lopes de. *Solos, geomorfologia e relações ecológicas na parte sudoeste da península de Byers, Ilha Livingston, Antártica Marítima, op. cit.*, p. 29.

²⁵⁹ Es un suelo que tiene una mezcla relativamente uniforme, en términos cuantitativos, de arena, limo y arcilla. Es blando o friable (se desmenuza fácilmente), además de bastante suave y ligeramente plástico.

²⁶⁰ Denominación que caracteriza suelos con alta fertilidad natural y saturación de bases superior al 50 %.

²⁶¹ Acción y efecto de anidar de las aves.

²⁶² Esta designación busca considerar la formación de suelos a partir de la deposición de excrementos de aves presentes en el medio ambiente antártico.

principalmente por procesos químicos que resultan de la presencia del guano^{263 264}. Los suelos no ornitogénicos tendrán, a su vez, el pH alcalino²⁶⁵.

Se puede proyectar un panorama posible para las características de la micromorfología de los suelos y sedimentos de los yacimientos loberos-balleneros de Byers. Con base en los estudios revisados, podemos asumir que los suelos son poco estructurados, arenosos, sódicos y con la presencia de guijarros. Pueden estar caracterizados por la presencia de microvestigios dejados por los loberos-balleneros, la materia orgánica, y también alguna influencia a nivel micro y macro de la presencia natural de animales. Es posible que haya alguna influencia de la acidez de origen ornitogénica y por elementos orgánicos agregados cultural y naturalmente.

²⁶³ FARIA, André Luiz Lopes de. *Solos, geomorfologia e relações ecológicas na parte sudoeste da península de Byers, Ilha Livingston, Antártica Marítima*, op. cit., p. 54.

²⁶⁴ Simas et al., 2003, citado en *ibid.*, p. 54 (traducción nuestra).

²⁶⁵ *Ibid.*, p. 29.



CAPÍTULO 3

Capítulo 3. Estudio de los factores de degradación intrínsecos

3.1. Caracterización de los hallazgos

El conocimiento de las características fisicoquímicas y de la manufactura (factores intrínsecos) de los hallazgos arqueológicos de los loberos-balleneros es, junto con los estudios medioambientales de Livingston (factores exteriores o extrínsecos), la base para el diagnóstico y el conocimiento de los problemas de degradación que se pueden encontrar en los yacimientos.

La colección del LEACH fue formada entre las expediciones de 2010 a 2014 y está compuesta cerca de 1000 registros de fragmentos y artefactos rescatados de sitios de Livingston (Figura 12). Los hallazgos están asociados a las prácticas diarias de los cazadores en los refugios: la alimentación, el trabajo, el vestuario, el ocio u otros. En su gran mayoría, estos artefactos fueron llevados desde los barcos hasta los campamentos por los cazadores (artefactos de vidrio, cuero, madera, metales, textil, etc.). Apenas una parte de los hallazgos está relacionada al uso de la materia prima local, como los muros de roca de los abrigo y los restos de los animales.

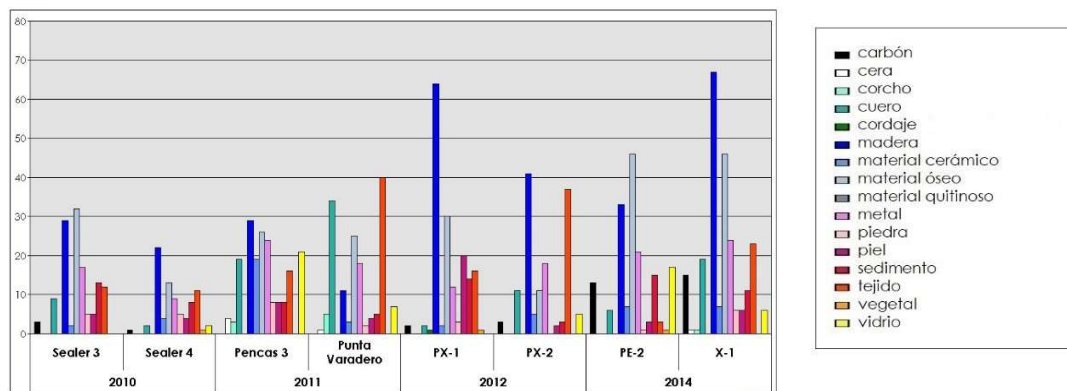


Figura 12. Proporción de materiales en la colección del LEACH hasta 2014²⁶⁶

Los materiales orgánicos son predominantes en los yacimientos, y contienen toda la complejidad que involucra la biología celular de los seres vivos. Los objetos

²⁶⁶ Esta suma de materiales no resulta del análisis de cantidad de unidades de artefactos totales o del conteo de fragmentos, sino que representa la proporción aproximada de materiales a partir de la cuantificación del número de colecta de campo. Su función es presentar una base aproximada para la proporción de materiales, apoyando así el trabajo de la conservación.

y fragmentos se mezclan con los sedimentos, huesos, huesos quemados, pieles y grasa de animales. Además de la complejidad, los artefactos pueden haber recibido varios tipos de tratamiento de preparación para su uso, lo que diferencia su apariencia y sus propiedades (cueros, textiles, maderas, etc.).

Los materiales inorgánicos de la colección se componen básicamente de metales, vidrio y cerámica. Los metales más comúnmente encontrados en Livingston son hierro forjado y metales hundidos hechos con aleaciones de plomo y de cobre. La disponibilidad, la dureza, la resistencia, el peso, la reactividad química y el punto de fusión del metal determinan su utilidad y uso. Conocer el propósito del artefacto puede ayudar a identificar el tipo de metal utilizado en la fabricación. Por su peso y bajo punto de fusión²⁶⁷, el plomo ha sido históricamente aplicado a la protección del casco de embarcaciones y también como munición²⁶⁸. Menos corrosible que el hierro, el cobre se ha utilizado como clavos y palanquillas, en botes u otros objetos²⁶⁹. La mayoría de los objetos mixtos están compuestos por la combinación de hierro y madera, como cuchillos o un hacha.

Los materiales silíceos son el grupo de hallazgos cuya materia prima se deriva de minerales de la corteza terrestre con alta presencia de sílice: vidrios, cerámicas y piedras. Este grupo de artefactos son químicamente más estables, más rígidos y más pesados. Las piedras se relacionan básicamente con los muros de los abrigo de los loberos-balleneros, siendo así solamente registrados, pero no incluidos en este trabajo de investigación doctoral. No son recogidos y no llegan a componer significativamente las muestras de la colección del LEACH. El grupo de los silíceos, los objetos excavados más expresivos rescatados por el laboratorio son fragmentos de botella de vidrio, fragmentos de utensilios de gres y pipas de material cerámico hecho de caolín.

Caracterización histórica y social de los artefactos

²⁶⁷ SANTA CRUZ, Miguel San Claudio y GALLERO, Raúl González. *Arqueología subacuática en el Parque Nacional Marítimo Terrestre de las Islas Atlánticas de Galicia*. Madrid: Ministerio para la Transición Ecológica; Organismo Autónomo Parques Nacionales, 2011, p. 133.

²⁶⁸ LONDON, Jack. *O Lobo do Mar*. S. l.: Amazon [eBook Kindle], 2011.

²⁶⁹ SANTA CRUZ, Miguel San Claudio y GALLERO, Raúl González. *Arqueología subacuática en el Parque Nacional Marítimo Terrestre de las Islas Atlánticas de Galicia*, op. cit., p. 193.

Una gran cantidad del material arqueológico son los desechos tirados por los cazadores durante las actividades diarias de trabajo, alimentación y convivencia en los abrigos y sus alrededores (Figura 13). Una gran parte de los hallazgos de interés para el LEACH son fragmentos de artefactos o artefactos enteros, descartados u olvidados en los abrigos; otra parte son restos de especímenes, y una tercera parte son los microvestigios y ecofactos. Los artefactos recolectados están asociados tanto con la superficie interna de los recintos como con los espacios circundantes²⁷⁰. Hay acumulación en los fogones (Figura 14), en las entradas de los abrigos —por donde se solían tirar los desechos afuera—, y también en los lugares de procesamiento y extracción de materiales de los animales muertos, cuya localización puede ser en el alrededor cercano de los campamentos.



Sealer's Encampment, Byers Island, Falkland Islands
(From a lithograph in Fanning's "Voyages," New York, 1832)

Figura 13. Campamento lobero-ballenero del siglo XIX²⁷¹

²⁷⁰ SENATORE, María Ximena y ZARANKIN, Andrés. Arqueología histórica y expansión capitalista. Prácticas cotidianas y grupos operarios en Península Byers, Isla Livingston, Shetland del Sur, *op. cit.*, p. 181.

²⁷¹ STACKPOLE, Edouard A. *The voyages of the Huron and the Huntress: the American sealers and the discovery of the continent of Antarctica*, *op. cit.*



Figura 14. Fogón principal, yacimiento Punta Elefante 2, Livingston²⁷²

La distribución de cazadores en el territorio estuvo asociada a la concentración de animales en algunas ubicaciones costeras. De esta manera, se espera mayores densidades artefactuales y de estructuras en sectores de playa que en áreas del interior²⁷³. Se estima que el período de permanencia en los campamentos de caza fue probablemente continuo y, durante los pocos días/semanas de permanencia, coincidía con los meses más calurosos del año y con la presencia de animales. Posiblemente, no había mucho tránsito de personas entre los barcos y los abrigos, pues la cocina funcionaba en el campamento.

La gran mayoría de los recintos están ubicados a una distancia que no supera los 250 m de distancia del mar. Las pendientes ocosas de las playas fueron utilizadas como paredes de los recintos, y los muros fueron hechos de piedras locales, acomodadas sin mortero o argamasa²⁷⁴. Los muros delimitaron áreas que podrían ser con ángulos rectos (cuadrado o rectangular) o semicirculares²⁷⁵.

Los artefactos recolectados nos cuentan, no solamente acerca de la dimensión material muy simple de los cazadores, sino también acerca de las dimensiones sociales en las que estuvieron inmersos. Los remanentes nos enseñan una condición horizontal en la relación de los miembros en los abrigos, pues las características socioeconómicas de estos artefactos no pueden relacionarse con la existencia expresiva de diferentes estatus entre ellos, y no reflejan diferencias en el poder adquisitivo. Los hallazgos apuntan, así, a la existencia de jerarquización de

²⁷² Fuente: LEACH, península Punta Elefante, Antártica, 2014.

²⁷³ SENATORE, María Ximena y ZARANKIN, Andrés. Arqueología histórica y expansión capitalista. Prácticas cotidianas y grupos operarios en Península Byers, Isla Livingston, Shetland del Sur, *op. cit.*, p. 176.

²⁷⁴ *Ibid.*, p. 177.

²⁷⁵ *Idem.*

funciones y papeles²⁷⁶, y corroboran la hipótesis de que la tripulación que desembarcaba en las Shetland era la menos privilegiada de los navíos.

Los artefactos provienen de un período caracterizado por la transición de la producción artesanal a la industrialización (finales del siglo XVIII a principios del siglo XIX). Es clave decir que la industria surgida en Nueva Inglaterra (EE. UU.) articuló parte de su producción para suplir la demanda de las tiendas que vendían artículos para las tripulaciones balleneras en las ciudades portuarias. Tal producción también abastecía los almacenes de los barcos, que vendían ropas y otros artículos para los marineros, y que solían contraer grandes deudas por los precios exorbitantes y por la compra a crédito. La cancelación de las deudas se realizaba directamente al cobro por los servicios prestados en el barco²⁷⁷.

No era posible hacer una previsión de las ganancias resultantes de los servicios prestados en el navío, y los balleneros no trabajaban a cambio de salarios, sino que recibían una pequeña fracción de las ganancias totales, pagadas solo al final del viaje, y después de la venta de la carga que traían²⁷⁸. La cuota más alta, por supuesto, era dada al propietario del barco, quien posiblemente no formaba parte de la tripulación. Según Marc Foster (2007), la ganancia del propietario del buque ballenero era de 2/3 del lucro. La segunda cuota más alta era del capitán (1/15), después del *first mate* (1/24), *mates* (1/50), *cooper* (1/60), *boatsteerers* (1/100), *cook steward* (1/160), *seamen* (1/160), *green-hands* (1/190) y la menor del *cabin boy* (1/400)²⁷⁹.

Al final del viaje iniciado en 1869 por el barco romano, que partió de New Bedford:

«Los marineros primerizos, que esperaban ganar una fortuna en el mar y regresar a casa para comprar una pequeña granja, quedaron muy decepcionados. Un niño de Martha's Vineyard que fue a pescar ballenas con un vecino y capitán descubrió que "la riqueza que había esperado había fallado me materializo. Cuando

²⁷⁶ *Ibid.*, p. 183.

²⁷⁷ SALERNO, Melisa Anabella. *Persona y cuerpo-vestido en la modernidad: un enfoque arqueológico* [tesis doctoral]. Buenos Aires (Argentina): Universidad de Buenos Aires, 2011.

²⁷⁸ PHILBRICK, Nathaniel. *A vingança da Baleia*, *op. cit.*, p. 12.

²⁷⁹ FOSTER, Mark. *Whale Port: A History of Tuckanuckeet*, *op. cit.*, p. 44.

llegué a tierra... me pagaron solo un dólar por once meses de trabajo. Uno de mis compañeros iba en una ambulancia con destino al hospital, y le di la mitad del dinero". Otro joven recordó que terminó su viaje considerablemente "más rico en experiencia, y un poco más condenado, porque le debía al barco treinta cinco dólares." Un marinero inexperto ganaba en promedio seis dólares al mes en barcos balleneros y podría ganar dos dólares más al mes haciendo un trabajo más predecible y menos glamoroso en un barco mercante²⁸⁰».

«Los capitanes y los oficiales ganaban mucho más que otros miembros de la tripulación y era más probable que se embarcaran en un nuevo viaje. A pesar de los viajes poco rentables, promediaron salarios más altos que sus contrapartes en la marina mercante. Estos hombres pudieron mantener a sus familias y muchos construyeron casas sólidas las que disfrutaron entre temporadas en el mar²⁸¹».

Los objetos rescatados en Livingston por el LEACH generalmente tienen características muy similares entre un abrigo y otro, probablemente por ser parte del mismo contexto social, histórico y económico. Los artefactos han sido exhaustivamente utilizados y reaprovechados antes de ser desechados, pues la capacidad de adquirir otros bienes era limitada. La mayoría de las personas de la tripulación solía usar sus cosas durante mucho tiempo²⁸², y eso retrasa el descarte y potencializa la reparación y la transformación de los artefactos. La actividad de reparación de objetos y reutilización de materias primas de artefactos también se nota frecuentemente en los refugios²⁸³.

²⁸⁰ LAURA JERNEGAN: GIRL ON A WHALESHIP. *The History of whaling* [en línea]. Martha's Vineyard Museum, 2010 [consulta: 10/12/2014]. Disponible en: <http://www.girlonawhaleship.org> [Collecting Payment cont] (traducción nuestra).

²⁸¹ LAURA JERNEGAN: GIRL ON A WHALESHIP. *The History of whaling* [en línea]. Martha's Vineyard Museum, 2010 [consulta: 10/12/2014]. Disponible en: <http://www.girlonawhaleship.org>. [Collecting Payment cont]. (traducción nuestra).

²⁸² PHILBRICK, Nathaniel. *A vingança da Baleia*, op. cit., p. 56.

²⁸³ SENATORE, María Ximena y ZARANKIN, Andrés. Arqueología histórica y expansión capitalista. Prácticas cotidianas y grupos operarios en Península Byers, Isla Livingston, Shetland del Sur, op. cit., p. 182.

Además del bajo poder adquisitivo de los marineros de bajo rango y de las bajas posibilidades de adquirir objetos manufacturados en los buques, y aún más en la Antártica, debemos considerar que hace dos siglos los hábitos de reutilizar artículos eran muy diferentes a los de hoy en día. Las costumbres posmodernas cambiaron no solo la frecuencia de uso sino también la relación con la frecuencia de compra y la durabilidad de los artículos. Un objeto, antes de tornarse arqueológico, puede haber sufrido bastante desgaste, deterioración o contaminación durante su período de uso, haciéndolo más vulnerable a daños después de su descarte²⁸⁴.

El vestuario es un elemento representativo del hábito del uso ostensivo y de reparación en los siglos pasados. En el pasado era una práctica común renovarlo por medio de parches y reparaciones, y considerarlo solo medio gastado cuando se rompía²⁸⁵. El predominio de la vida rural, las estructuras tradicionales de trabajo y la producción de bienes artesanales preservaban aún las antiguas prácticas de confección y uso hasta el siglo XIX. Mismo con la producción industrial surgida, los hábitos estructurales tardan en cambiar para gran parte de la población, por una cuestión de transferencias de prácticas y costumbres²⁸⁶.

3.2. Factores fisicoquímicos de degradación

Cuando el objeto es abandonado en el suelo y sobrevive a las fuerzas más inmediatas de destrucción, entrará en un estado de lenta degradación, con bajo cambio de energía entre él y el medio. Con los años, si el entorno no sufre cambios significativos, los objetos alcanzan un estado de casi equilibrio con el entorno del yacimiento.

Cada objeto, con sus características fisicoquímicas específicas, encuentra más o menos condiciones de estabilidad en los distintos medios ambientes. Por medio de la evaluación de estas condiciones de las tipologías de materiales podemos acercarnos a un pronóstico de degradación para cada uno de ellos

²⁸⁴ NEWTON, Charlotte y COOK, Clifford. *Caring for archaeological collections* [en línea]. Ottawa (Canadá): Canadian Conservation Institute, 2018 [consulta: 24/05/2021]. Disponible en: <https://bit.ly/3lyuwCd>.

²⁸⁵ HALL, Joseph S. *The Book of the Feet: A History of Boots and Shoes*. Nueva York (Estados Unidos): William H. Graham, 1847, p. 139.

²⁸⁶ MAUSS, Marcel. *Sociologia e Antropologia*. São Paulo (Brasil): Cosac Naify, 2003.

(Tabla 3) (Figura 15). Las publicaciones revisadas para esta tesis apuntan probabilidades de preservación más bajas para materia orgánica, como zoobotánicos, cestería o textiles; probabilidades más altas para los elementos de piedra; y más probabilidades de supervivencia para muchos materiales en tierra mojada sin oxígeno y en climas fríos.

Tabla 3. Porcentaje aproximado de preservación de materiales en yacimientos secos y mojados²⁸⁷

Inorgánicos	Tierra seca (dryland)	Tierra mojada (wetland)
Piedra	100	100
Sílex (<i>flint</i>)	100	100
Bronce	75	90
Vidrio	75	75
Cerámica	75	75
Bitumen (<i>shale</i>)	40	75
Hierro	25	40
Orgánicos		
Carbonizado	65	75
Hueso	50	60
Cuerno	40	65
Concha	35	65
Madera	15	75
Plantas	10	75
Piel	10	65
Cestería	<5	55
Invertebrados	<5	55
Textiles	<5	30

²⁸⁷ Basado em Colis, 1988, p.7 citado por WERZ, Bruno E. J. S. y SEEMANN, Ute A. Organic materials from wet archaeological sites: the conservation of waterlogged wood. *The South African Archaeological Bulletin*. 1993, vol. 48, p. 38.

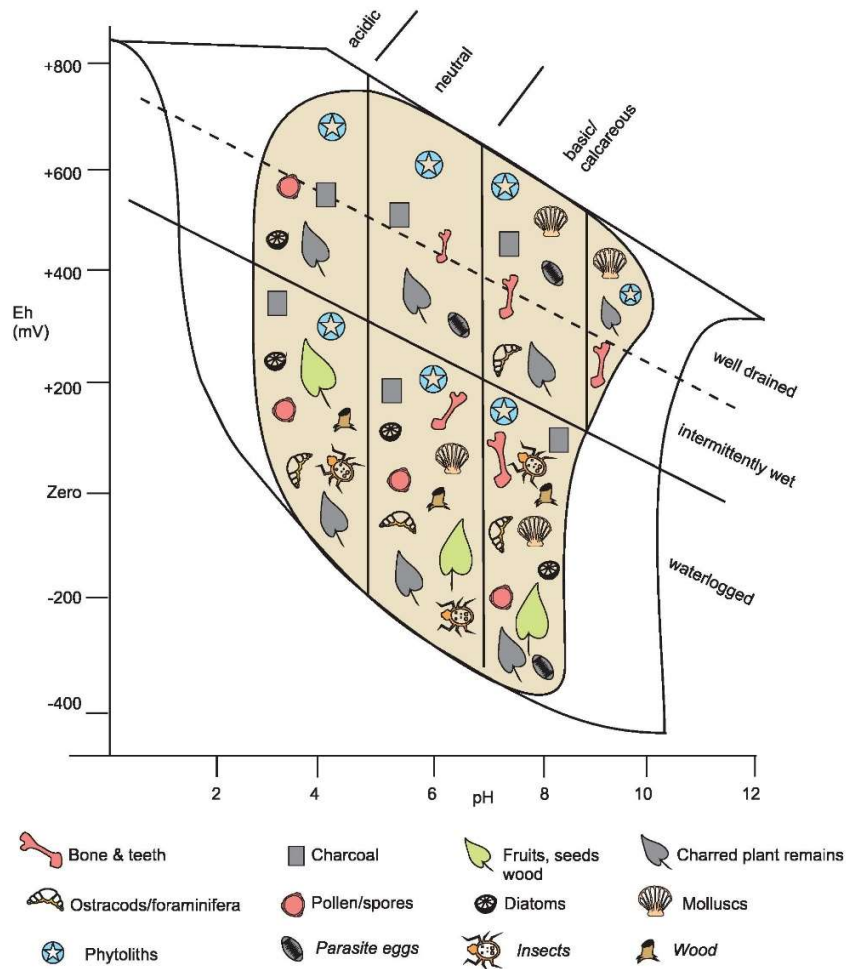


Figura 15. Representación de tipos de materiales naturales preservados de acuerdo con las condiciones ambientales²⁸⁸

Los materiales orgánicos son ciertamente la tipología más frágil. Se puede conservar mejor en ambientes de frío extremo (como en ambientes polares), sequedad extrema, medios inundados²⁸⁹, o donde el suelo está bien drenado²⁹⁰. En tales condiciones, están protegidos de la actividad biológica (como bacterias, moho, insectos y otros animales). El frío extremo y la congelación son factores de preservación, pero los materiales orgánicos se pueden conservar menos en sitios

²⁸⁸ Retallak, Georges J., 1984, modificado y citado en CAMPBELL, Gill; MOFFETT, Lisa y STRAKER, Vanessa. *Environmental Archaeology: a guide to the theory and practice of methods, from sampling and recovery to post-excavation*, op. cit., p. 6.

²⁸⁹ NEWTON, Charlotte y COOK, Clifford. *Caring for archaeological collections*, op. cit.

²⁹⁰ *Ibid.*

donde hay ciclos estacionales de congelación-descongelación y donde hay cambios en el nivel del agua²⁹¹.

El pH del ambiente de enterramiento también influye mucho en la preservación de materiales orgánicos. Algunos materiales a base de proteínas animales (como la lana o el cuero) se conservan mejor en condiciones ligeramente ácidas (como las turberas), mientras que los materiales celulósicos (como el algodón o la madera) se conservan mejor en suelos ligeramente básicos, deteriorándose mucho en condiciones ácidas²⁹². Los metales sufren más en ambientes ácidos y menos en ambientes alcalinos, como también sufren en ambientes con poco oxígeno y agua. El hierro se corroe muy rápidamente en presencia de acidez, sales de cloruro, agua y oxígeno²⁹³.

Ciertos tipos de piedra, vidrio y cerámica son impermeables y sobreviven bien en la mayoría de los entornos. Los silíceos se conservan tan bien que, a veces, nos llegan sin ningún daño o alteración. La arcilla cocida también es casi indestructible si está bien hecha, por lo que la cerámica ha sido la mayor fuente de datos para los arqueólogos, pues se encuentra en muchos yacimientos. Sin embargo, la mayoría de los materiales inorgánicos, especialmente la cerámica y el vidrio, se dañan por la presencia de sales si estas se infiltran en los materiales (lo que ocurre principalmente en los más porosos). Pueden resultar muy microfisurados por la cristalización de sales durante repetidos períodos húmedos y secos. El agua en el suelo también puede lixiviar los componentes de los objetos inorgánicos, en particular el vidrio de mala calidad, dejándolos muy desgastados y frágiles²⁹⁴.

Después de la excavación, los hallazgos deben entrar en un nuevo estado de equilibrio con el nuevo entorno. Hay un cambio rápido en los niveles de humedad, luz y oxígeno, lo que puede provocar cambios físicos, químicos y biológicos en los objetos (Tabla 4). Muchos objetos frágiles empiezan a colapsar ya cuando eliminamos el suelo que los rodea, que les proporcionaba apoyo físico²⁹⁵.

²⁹¹ *Ibid.*

²⁹² *Ibid.*

²⁹³ *Ibid.*

²⁹⁴ *Ibid.*

²⁹⁵ *Ibid.*

Tabla 4. Degradación posexcavación²⁹⁶

Ambiente subterráneo	Posexcavación	Efectos del deterioro en el material arqueológico
Humedad relativa estable	Variable	Nivel alto de RH % – Favorece el ataque de microorganismos, especialmente en materiales orgánicos
		Nivel alto-medio de RH % – Favorece la corrosión de metales, principalmente el hierro y aleaciones de cobre
		Nivel medio-bajo – En materiales mojados, causan daños irreversibles en su estructura física
		Nivel bajo – Puede causar daños en materiales orgánicos por una desecación excesiva
Temperatura muy estable	Más alta y fluctuante	El incremento de la temperatura acelera todas las alteraciones químicas y favorece la aparición de microorganismos. El efecto principal afecta el contenido de humedad del aire
Entrada limitada de aire	Aire con oxígeno y otros gases ácidos como CO ₂ y SO ₂	Incrementa todas las formas de deterioro, incluyendo las biológicas y las químicas
Ausencia de luz	Presencia de luz	Favorece la acción de microorganismos, flora e insectos en materiales orgánicos. Puede activar los procesos de oxidación
Contención de sales	Sal + RH %	Sales solubles penetran en materiales porosos y descendiende la RH %, cristalizan, ocasionando fracturas, llegando incluso a destruir los objetos. Las sales insolubles pueden formar costras sobre los objetos
Presencia de organismos	Presencia de organismos + temperatura + luz	Se acelera su actividad. Pueden causar ataques ácidos en los objetos

Es clave estudiar las degradaciones susceptibles a cada tipología de material y artefacto separadamente en función de sus particularidades fisicoquímicas, para acercarnos a saber cómo han llegado a la «casi estabilidad»

²⁹⁶ Basado en Leigh, D., 1978, citado en PORTO TENREIRO, Yolanda. *Medidas urgentes de conservación en intervenciones arqueológicas*. Santiago de Compostela (España): Universidad de Santiago de Compostela, 2000, p. 14.

in situ, y saber cuándo las degradaciones serán aceleradas en el momento de la retirada del suelo. Solo así es posible planificar los medios para mitigar los daños, la conservación preventiva y curativa.

3.3. Degradación de materiales orgánicos

Dividiremos el estudio de los materiales orgánicos arqueológicos de los loberos-balleneros de Livingston entre los no manufacturados (más próximos a la materia prima original, también a los especímenes y ecofactos) y los manufacturados (los que pasaron por más alteraciones químicas y físicas para tornarse artefactos). Los no manufacturados son los restos de grasa, hueso, piel, etc. Los manufacturados son los que han sufrido procesos previos de fabricación, como los calzados de cuero o textiles. Los hallazgos no manufacturados tienden a ser más susceptibles a la degradación *in situ*, pues no pasaron por los tratamientos que los harían resistentes y adecuados para su uso.

Los materiales orgánicos, manufacturados o no, son propensos a la oxidación y la descomposición de los polímeros por medio de muchas reacciones con sustancias externas. Tales reacciones pueden ser aceleradas por la luz (radiación) o el calor²⁹⁷, por los contaminantes y por la disponibilidad del oxígeno. Sin embargo, la hidrólisis de los componentes de las células vivas es una de las principales reacciones de degradación de la materia orgánica.

La hidrólisis ocurre cuando las unidades de aminoácidos que la componen se separan entre sí por el rompimiento del enlace peptídico existente entre ellas. Los componentes orgánicos se descomponen en unidades más pequeñas, hasta monómeros, a una velocidad que generalmente aumenta si el pH aumenta o disminuye, como también si se eleva la temperatura. Debido al hecho de que los enlaces intermoleculares de las cadenas de aminoácidos son muy fuertes, no pueden romperse y reaccionar solo con las moléculas de agua, sino que requieren la ayuda de un ácido disuelto, capaz de favorecer la rotura y la hidrólisis. Los ácidos son sustancias moleculares que en solución acuosa se someten a la ionización,

²⁹⁷ CRONYN, Janet Margaret. *Elements of archaeological conservation*, op. cit., p. 243.

suministrando iones H_3O^+ (hidronio)²⁹⁸. Por ejemplo, cuando el ácido clorhídrico (HCl) se disuelve en agua, se disocia para formar iones de hidrógeno (H) e iones de cloruro (Cl⁻). Los iones de hidrógeno reaccionan con las moléculas de agua para formar iones de hidronio (H_3O^+), y el hidronio actúa en los aminoácidos provocando la hidrólisis. Los ácidos más comunes en las reacciones hidrolíticas son el ácido sulfúrico (H_2SO_4) y el ácido clorhídrico (HCl)²⁹⁹.

La presencia de agua en los yacimientos favorece la hidrólisis, sin embargo, muchos de los materiales orgánicos que sobreviven están en yacimientos con presencia de agua asociada a baja presencia de oxígeno y de biodegradación. Tales condiciones se forman generalmente en suelos inundados y con baja capacidad de drenaje³⁰⁰, como en pantanos o lagos. Así, aunque la acción del agua sea perjudicial para los objetos orgánicos, el agua en abundancia favorecerá la preservación si los materiales se mantienen alejados de los efectos del oxígeno y, consecuentemente, también de la degradación biológica. Si el ambiente es anaeróbico, el objeto orgánico estará considerablemente protegido³⁰¹.

La actividad biológica natural juega un papel central en el proceso de descomposición inicial del material orgánico, pues es el momento donde ocurre todo el trabajo de degradación y de descomposición de las células animales y vegetales de los seres muertos. Es también el momento de la liberación de elementos gaseosos solubles y minerales, como el dióxido de carbono, nitratos, fosfatos, etc. Los procesos de saponificación convierten la materia orgánica en jabón, combinando por ejemplo ácidos resultantes de la biodegradación con álcalis del ambiente³⁰². En seguida, ocurre la carbonificación, que es el enriquecimiento de carbono de elementos conservados, a partir de nuevas sustancias orgánicas sintetizadas durante la biodegradación³⁰³.

²⁹⁸ FLORIAN, Mary-Lou E. The mechanisms of deterioration in leather. En: R. THOMSON y M. KITE, eds. *Conservation of leather and related materials*. Londres (Reino Unido): Routledge, 2006, p. 38.

²⁹⁹ HIJAZIN, Carlos Atalla Hidalgo; SIMÕES, Aline Tonial y SILVEIRA, Diogo Rhoden. Hidrólise ácida, alcalina e enzimática. *Revista Atitude*. 2010, vol. 4, n.º 7, p. 90.

³⁰⁰ CRONYN, Janet Margaret. *Elements of archaeological conservation*, op. cit., pp. 26 y 243.

³⁰¹ RENFREW, Colin y BAHN, Paul. *Arqueología: Teorías, Métodos y Prácticas*, op. cit., pp. 62 y 63.

³⁰² FERNÁNDEZ LÓPEZ, Sixto Rafael. *Temas de tafonomía*, op. cit., p. 51.

³⁰³ *Ibid.*, p. 42.

En general, podemos decir que los componentes más minerales de los tejidos orgánicos (quitina, celulosa, lignina, o cutinas) son más resistentes a la descomposición y la biodegradación. Los tejidos orgánicos blandos de vegetales (como los tejidos que constituyen los frutos y hojas) y de animales (como órganos o muslos) son permeables y biodegradables, y se destruyen con mayor facilidad en los yacimientos³⁰⁴. Los lípidos tienden a sobrevivir mejor que las proteínas. Los lípidos y las proteínas (y luego el ADN) pueden absorberse en la estructura de un objeto arqueológico y ser protegidos, por lo que los residuos de lípidos se utilizan a menudo en la caracterización de la materia orgánica asociada³⁰⁵.

Las grasas, los aceites y otros materiales del grupo de los lípidos sufren los mismos problemas de degradación que los tejidos orgánicos. Las resinas y ceras vegetales, entre tanto, como poseen moléculas más grandes son más difíciles de degradar. Las resinas generalmente son preservadas porque se secan y se glasean. Las ceras son menos solubles en agua y pueden conservarse mejor³⁰⁶. El carbón y los objetos orgánicos calcinados (como hueso o madera) tienen menos materia orgánica y son casi completamente resistentes al ataque químico o biológico³⁰⁷.

Si no fueran protegidos de la intemperie, los tejidos blandos de los animales comenzarían a descomponerse y, en unas pocas semanas, pasarían a la fase esquelética, eliminando los últimos vestigios de tejido³⁰⁸. Muchos restos orgánicos y huesos solo sobreviven porque fueron intencionalmente protegidos en tumbas, o porque se enterraron por fenómenos súbitos naturales (como desprendimiento de tierras o fenómenos volcánicos), cubriéndose rápidamente por sedimentos favorables a la preservación. La materia orgánica, al deshacerse, puede dejar coloraciones que indican su presencia en el pasado, lo que puede ser la única fuente de información para los arqueólogos³⁰⁹.

La disposición de sales e iones y la conductividad influyen en la mineralización. La mineralización avanzada y la fosilización ocurren en pocos

³⁰⁴ FERNÁNDEZ LÓPEZ, Sixto Rafael. *Temas de tafonomía*, op. cit.

³⁰⁵ CAMPBELL, Gill; MÖFFETT, Lisa y STRAKER, Vanessa. *Environmental Archaeology: a guide to the theory and practice of methods, from sampling and recovery to post-excavation*, op. cit., pp. 26 y 27.

³⁰⁶ FERNÁNDEZ LÓPEZ, Sixto Rafael. *Temas de tafonomía*, op. cit., p.40.

³⁰⁷ SEASE, Catherine. *Conservation Manual for the field archaeologist*, vol. 4, *Archaeological Research Tools*, op. cit., p. 54.

³⁰⁸ VASS, Arpad A. Y en polvo nos convertiremos. *Investigación y Ciencia*. 2010, n.º 410, pp. 44-47.

³⁰⁹ RENFREW, Colin y BAHN, Paul. *Arqueología: Teorías, Métodos y Prácticas*, op. cit., pp. 51-68.

casos. Primeramente, como hemos dicho, es necesario que la materia orgánica depositada esté protegida rápidamente por algún fenómeno, como el soterramiento de tierra o el depósito en barro con poco oxígeno. Estas protecciones sirven de prevención contra la intemperie y la disminución de la acción de seres consumidores de materia orgánica. Pero, para que el material pase a la fase de la mineralización, debe aún haber difusión de minerales y otras sustancias que permitan cambios mineralógicos en los elementos preservados. La sustitución completa de la forma orgánica por minerales llevará todavía centenares de años³¹⁰.

Los materiales orgánicos no mineralizados y mojados representan muchos problemas de conservación. Hallazgos húmedos o mojados pueden contener casi la totalidad de su volumen en agua. Su apariencia puede ser fresca y sana, o suave y esponjosa, pero no lo es en realidad. Sus moléculas pueden estar muy degradadas y su microestructura puede haber sido intensamente lixiviada. Una vez que se ha extraído del sitio, la pérdida de agua de la superficie externa más degradada comienza pronto. Cuando el objeto se seca, pierde su volumen y, si la evaporación es rápida, la presión osmótica del agua presiona y deforma las frágiles paredes celulares (Figura 16).

(a) Izquierda: fragmento de madera conservada del naufragio del Rapid (1811) después del secado.

(b) Derecha: madera sin tratar después del secado.

El contorno rojo en ambas imágenes muestra la forma de cada pieza antes del secado.



Figura 16. Degradación de material orgánico en el secado³¹¹

La ausencia de aire, baja humedad y bajas temperaturas inhiben la degradación biológica y favorecen la permanencia de los materiales orgánicos en

³¹⁰ FERNÁNDEZ LÓPEZ, Sixto Rafael. *Temas de tafonomía*, op. cit., pp. 48 y 49.

³¹¹ CARPENTER, J.; GODFREY, I. M.; MACLEOD, I. D.; RICHARDS, V. L. *Wet Materials* [en línea]. Western Australian Museum; Western Australian Government [consulta: 20/09/2021]. Disponible en: <https://bit.ly/3v5OG9R>, figura 1 (traducción nuestra).

los yacimientos. La altitud disminuye el suministro de oxígeno y la temperatura, actuando también en el sentido de la preservación. El frío disminuye innumerables reacciones de degradación de la materia orgánica y el hielo paraliza estos procesos. La sequedad también puede producir efectos de permanencia, sin embargo, puede causar contracción y debilitamiento de los materiales orgánicos debido a la pérdida extrema de agua³¹². El pH neutro favorece mucho a todos los materiales orgánicos.

3.3.1. Materiales no manufacturados

Los materiales no manufacturados del yacimiento de Livingston son básicamente de origen animal, y no de origen vegetal. Eso posiblemente es debido al hecho de que la fuente de materia prima de especies vegetales en la Antártica es limitada, y a que la materia prima vegetal fuera igualmente limitada en los recursos traídos desde los buques balleneros.

Los tejidos animales son extremadamente complejos. Se componen de proteínas (como colágeno, quitina, queratina y osteína), lípidos, polisacáridos, etc. El colágeno es la proteína más abundante de los tejidos conjuntivos (como la derme, los huesos, los tendones y otros), mientras la queratina es de los principales componentes de uñas y pelos³¹³.

La piel es una membrana resistente y flexible que envuelve el cuerpo y cumple muchas funciones fisiológicas. Es responsable de la protección del cuerpo, la regulación de la temperatura o de evitar pérdida de agua³¹⁴. Tiene tres capas: la más externa es la epidermis (o cutícula), la intermedia es la dermis (o cutis), que contiene los folículos pilosos y las glándulas sebáceas y sudoríparas, y la tercera, la capa interna, es la hipodermis (o subcutis), que se compone generalmente de grasa³¹⁵. La piel es la base para la conformación de pelos, uñas, cuernos o plumas. La composición aproximada de los componentes de la piel de mamífero es de 32 % de proteína, siendo: 29 % colágeno, 2 % queratina y 1 % albúmina. Los otros

³¹² CRONYN, Janet Margaret. *Elements of archaeological conservation*, op. cit., p. 25.

³¹³ GARCÍA BREIJO, Francisco José. Web docente, UPV. Tema 1. *La Célula Vegetal: Estructura Celular e intercomunicaciones* [asignatura docente]. Biología Vegetal [consulta: 20/09/21]. Disponible en: <https://bit.ly/3mQeolO>.

³¹⁴ GOFFER, Zvi. *Archaeological chemistry*. 2.ª ed. Hoboken (Estados Unidos): John Wiley & Sons, 2006, p. 329.

³¹⁵ *Idem*.

elementos de la piel de los mamíferos son: 2 % de grasa, menos de 1 % de ADN, menos de 1 % de pigmentos, menos de 1 % de sales y 56 % de agua³¹⁶.

La composición del hueso fresco es de 70 % de componente inorgánico (hidroxiapatita carbonatada) y 28 % de componentes orgánicos (colágeno), además de 2 % de grasas e hidratos de carbono³¹⁷. Los huesos son tejidos densos y rígidos. Están formados por una matriz de tejido blando (principalmente de fibras de colágeno mezcladas con menores cantidades de grasas) impregnada con una sustancia bioinorgánica dura que confiere su rigidez (hidroxiapatita carbonatada). Los tejidos óseos se diferencian macroscópicamente entre el tipo compacto y el tipo esponjoso. El tejido compacto es encontrado mayoritariamente en la parte exterior de los huesos largos. El tejido esponjoso es un tejido blando y pulposo que llena los extremos de huesos largos y el interior de los huesos cortos y planos³¹⁸.

Los dientes son estructuras comparables al hueso. Se componen de dos capas de materia compacta que rodean un núcleo de tejido vivo y blando. La capa externa es el esmalte y la interna es la dentina, también llamada marfil. El marfil contiene menos colágeno y es más duro que el hueso. El esmalte tiene aún menos colágeno y menos componentes orgánicos que la dentina, siendo aún más duro³¹⁹.

El hueso enterrado se somete a dos procesos paralelos de alteración (procesos diagenéticos), durante los cuales se alteran sus constituyentes orgánicos e inorgánicos. La materia orgánica se pierde con bastante rapidez (en particular las grasas, consumida por los microorganismos). Los componentes minerales del hueso enterrado se disuelven selectivamente por aguas subterráneas y, aún más, en suelos ácidos³²⁰. Suelos químicamente básicos, por ejemplo los calcáreos, representan condiciones favorables para la preservación de los componentes minerales del hueso. En ellos, los huesos pueden sobrevivir como resultado de una alteración química lenta y completa, donde el hueso (o incluso organismos enteros) se transforma en materia lítica (fosilización)³²¹. Si el hueso está más susceptible a las

³¹⁶ *Ibid.*, p. 328.

³¹⁷ *Ibid.*, p. 380.

³¹⁸ *Ibid.*, p. 381.

³¹⁹ *Ibid.*, 382.

³²⁰ *Ibid.*, pp. 385 y 386.

³²¹ *Idem.*

condiciones ambientales, sufrirá fisuras y desecamiento inmediatamente³²². Los huesos y los dientes son higroscópicos y sufren con variación de temperatura y humedad relativa. Los dientes poseen aún fisiología filamentar anisotrópica. Cuando se dilatan y se contraen repetidas veces tienden a fisurar³²³.

Los tejidos blandos desaparecen con mucha rapidez en los yacimientos, pero pelos, uñas o garras, cascos o cuernos, debido a la queratina, pueden resistir un poco más. Las barbas existentes en algunas ballenas (Mysticeti) son estructuras pendientes de las mandíbulas de las ballenas hechas principalmente de queratina³²⁴. La queratina es una proteína compleja, fibrosa, con presencia de azufre y un poco más resistente que otros componentes orgánicos³²⁵. Sin embargo, la queratina hidroliza rápidamente en presencia de agua y es propensa a descomponerse en condiciones alcalinas, haciendo que la presencia de materiales a base de queratina también sea rara en yacimientos arqueológicos. Se vuelve opaca y comienza a laminarse rápidamente³²⁶.

3.3.2. Materiales manufacturados

Los materiales orgánicos manufacturados encontrados en los yacimientos loberos-balleneros de Livingston son de origen animal y vegetal. Los principales productos manufacturados son el cuero (presente principalmente en los zapatos), las fibras vegetales y animales (presentes principalmente en los fragmentos de prendas textiles y de cuerdas), y la madera (encontrada en forma de artefactos y astillas de madera).

Cueros

El cuero es el material elaborado a partir de pieles de animales mediante el proceso de curtido. El curtido implica una alteración de su composición para hacerla resistente a la descomposición. Podemos decir que el cuero no es más una

³²² FERNÁNDEZ LÓPEZ, Sixto Rafael. *Temas de tafonomía*, op. cit.

³²³ STONE, Tom. Care of Ivory, Bone, Horn, and Antler. *CCI Notes* [en línea]. 2010, vol. 6, n.º 1 [consulta: 10/10/2021]. Disponible en: <https://bit.ly/3mLXcqu>.

³²⁴ INSTITUTO DE CONSERVACIÓN DE BALLENAS. *Barba* [en línea]. Ballenas.org, 28/06/2018 [consulta: 20/09/2021]. Disponible en: <https://ballenas.org.ar/glossary/barba>.

³²⁵ GOFFER, Zvi. *Archaeological chemistry*, op. cit., p. 384.

³²⁶ ENGLISH HERITAGE. *Waterlogged Organic Artefacts: Guidelines on their recovery, analysis and conservation*, op. cit., p. 16.

proteína, sino un derivado de ella, pero que conserva la estructura fibrosa³²⁷. A diferencia de la piel natural, el cuero es muy estable al deterioro físico, químico y biológico³²⁸.

El curtido vegetal es uno de los procesos más antiguos que se conocen, pues se practica desde hace al menos 4000 años. Las pieles limpias y depiladas se sumergen en soluciones de taninos vegetales durante semanas o meses de tratamiento (proceso llamado también de bronceado)³²⁹. Además de la aplicación de sustancias para el curtido, también podemos encontrar resquicios de la aplicación o uso de sustancias de impermeabilización (como sebo y grasas)³³⁰. A menudo, después del curtido vegetal, el cuero se impregna con aceites o grasas naturales para hacerlo flexible e impermeable³³¹. La forma de degradación ácida conocida como «podredumbre roja», que se manifiesta como un color naranja-rojo, es incidente en cueros producidos por esta técnica³³².

Otras técnicas históricas son encontradas en cueros arqueológicos históricos. El curtido con aceite es una de ellas. La técnica implica la incorporación de aceites, grasas u otras sustancias grasosas (como yema de huevo o materia cerebral) en la piel de los animales ya limpia y depilada. Se aceita y expone a la atmósfera durante días o semanas, para que el aceite se oxide al reaccionar con el oxígeno atmosférico. El cuero curtido con aceite es muy flexible y absorbe el agua con facilidad. A menudo, deja inalteradas algunas fibras de colágeno, lo que, en climas templados y cálidos, constituye una fuente de descomposición³³³. El curtido ahumado a menudo se asoció con el curtido con aceite en la tradición histórica. En el proceso de curtido ahumado, las pieles limpias se exponen al humo de la madera quemada, que reacciona con las fibras de colágeno³³⁴.

Existe también un curtido mineral que se produce por medio de la inmersión de la piel en una solución de minerales específicos conocidos como alumbres (compuestos de sulfatos mixtos de aluminio y otros metales). El sulfato de aluminio

³²⁷ GOFFER, Zvi. *Archaeological chemistry, op. cit.*, p. 332.

³²⁸ Gustafson, K. H., 1956; O'Flaherty, F., Roddy, W. T. y Lollar, R. M., 1965, citados en *idem*.

³²⁹ *Ibid.*, p. 333.

³³⁰ THOMSON, Roy y KITE, Marion (eds.). *Conservation of Leather and Related Materials, op. cit.*

³³¹ GOFFER, Zvi. *Archaeological chemistry, op. cit.*, p. 334.

³³² THOMSON, Roy y KITE, Marion (eds.). *Conservation of Leather and Related Materials, op. cit.*, pp. 59 y 60.

³³³ GOFFER, Zvi. *Archaeological chemistry, op. cit.*, p. 335.

³³⁴ *Ibid.*, p. 337.

y de potasio fueron ampliamente utilizados para el curtido mineral en la Antigüedad. Las pieles se sumergen durante un largo período de tiempo en la solución (de días a semanas), hasta que las fibras de colágeno se vuelven completamente impregnadas y reaccionan³³⁵. Sin embargo, el alumbre interactúa solo débilmente con el colágeno, y la sal de aluminio se puede lavar fuera del cuero si se moja; por estas razones, este proceso es llamado *tawing*, para distinguirlo del bronceado³³⁶.

El curtido con taninos vegetales ha sido el más común durante siglos, pero fue reemplazado principalmente por las técnicas de uso de sales de cromo a fines del siglo XIX³³⁷. El cromo produce un tipo de cuero que recibió el nombre de *wet blue* y que se caracteriza por tener gran suavidad y elasticidad³³⁸.

Cuando el cuero arqueológico no está muy degradado, la identificación de la especie animal es un dato importante para determinar las características y la calidad del artefacto de cuero. Los patrones de los granos de la piel son un óptimo medio de identificación de la especie (Figuras 17 a 19). Cada especie tiene un patrón de disposición capilar y una textura distinta en la piel, y produce cueros con distintas características y apariencia.

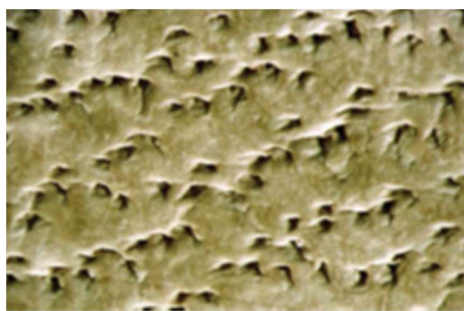


Figura 17. Piel de ganado (ampliación de 25x)³³⁹

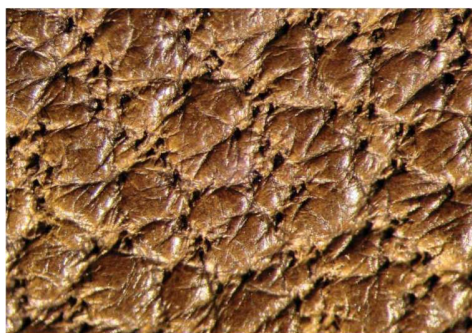
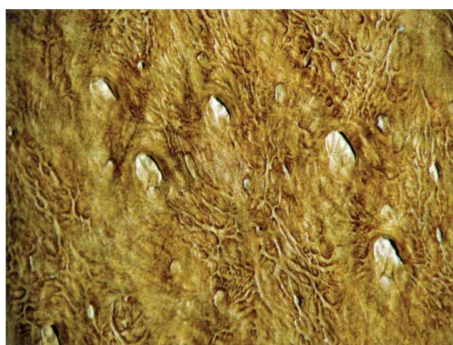
³³⁵ *Ibid.*, p. 336.

³³⁶ THOMSON, Roy y KITE, Marion (eds.). *Conservation of Leather and Related Materials*, op. cit., p. 29.

³³⁷ AMARAL, Luciani Alnato. *Alternativas para o tratamento de resíduos de couro curtido ao cromo: hidrólise enzimática e ação de bactérias* [tesina de fin de máster]. Porto Alegre (Brasil): Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2008, p. 1.

³³⁸ CASTRO, Isabela Alves. *Resíduo de couro Wet Blue após a extração do cromo: Uso como fertilizante nitrogenado em plantações de eucalipto* [trabajo de fin de máster]. Lavras (Brasil): Universidade Federal de Lavras, 2011.

³³⁹ MICHEL, Amanda. *Skin deep: an outline of the structure of different skins and how it influences behaviour in use*. *Why leather*, The material and cultural dimensions of leather. En: S. HARRIS y A. J. VELDMEIJER, eds. *Why Leather?* Leiden (Países Bajos): Sidestone Press, 2014, p. 32, figura 12.

Figura 18. Piel de oveja (ampliación de 25x)³⁴⁰Figura 19. Piel de cerdo (ampliación de 25x)³⁴¹

La morfología de los granos también varía según la edad, el género y la parte del cuerpo. La piel de la misma especie puede variar debido a la edad, alimentación, subespecie, y la piel del mismo individuo también tiene características diferenciadas debido al origen de diferentes partes de su cuerpo³⁴². Las pieles de los individuos más jóvenes son las más flexibles y los cueros producidos tienden a ser también más flexibles. La piel de las hembras suele ser más delgada³⁴³, menos en el área del cuello y los hombros que es más gruesa para defenderse del ataque de los depredadores. En la barriga, la piel es muy delgada y elástica pues el abdomen debe expandirse y contraerse mucho, por ejemplo, cuando el animal come. El área que cubre la espalda hasta la cola del animal, el trasero, tiene la estructura más uniforme y compacta de todas. Es el área más fuerte y duradera de la piel³⁴⁴.

³⁴⁰ *Ibid.*, p. 34, figura 15.

³⁴¹ *Ibid.*, p. 38, figura 20.

³⁴² *Ibid.*

³⁴³ *Ibid.*

³⁴⁴ *Ibid.*

También es posible establecer alguna relación entre la propiedad de los cueros con el empleo dado en fabricación de artefactos. Por ejemplo, el cuero bovino más grueso fue muy utilizado para fabricación de correas de máquinas, zapatos o instrumentos de trabajo, mientras el cuero de oveja o cerdo, más flexible y delgado, fue utilizado para piezas de vestuario o para piezas de calzado más delicadas.

Fibras

Las fibras naturales históricas son de origen natural, vegetal o animal. Las vegetales consisten en los tallos (lino y sisal) o las cáscaras de algunas frutas o semillas (como el algodón). Las fibras animales, en general, corresponden a parte del pelaje de mamíferos (como la lana de oveja), o se saca del hilo de seda, que es la secreción solidificada del gusano de ciertas polillas³⁴⁵.

Toda la fibra animal o vegetal tiene un pH neutro en su estado natural. Durante el procesamiento en el que pasa a componer los hilos, los textiles y después las vestimentas, es cuando empieza a cambiar su pH, haciéndose más reactiva. Las fibras utilizadas para producir textiles son sometidas comúnmente a soluciones ácidas durante la limpieza. En seguida, los hilos y textiles se someten a mordientes para recibir la tinte³⁴⁶. El algodón y las fibras vegetales en condiciones naturales son resistentes a la mayoría de los ácidos orgánicos y a los álcalis, pero no resisten a los ácidos fuertes³⁴⁷. Las fibras animales en condiciones naturales son resistentes a la mayoría de los ácidos orgánicos y a algunos ácidos minerales, pero son dañadas por álcalis y por los blanqueadores³⁴⁸.

El componente principal de todas las fibras de origen vegetal es la celulosa. La fibra de algodón se caracteriza por tener una pared celulósica externa, llamada cutícula. La cutícula es una membrana elástica de pectina, con aceites, ceras y grasas, responsable por la hidrofobicidad del algodón³⁴⁹. El algodón produce una

³⁴⁵ Gohl, C. y Vilensky, M. S., 1987; Adovasio, J., 1970, citados en GOFFER, Zvi. *Archaeological chemistry, op. cit.*, p. 353.

³⁴⁶ CENTRO DE TECNOLOGIA DA INDÚSTRIA QUÍMICA E TÊXTIL. *Introdução às Fibras Têxteis* [material didáctico]. Río de Janeiro (Brasil): SENAI/CETIQT, 2009.

³⁴⁷ *Ibid.*

³⁴⁸ GOFFER, Zvi. *Archaeological chemistry, op. cit.*, p. 354.

³⁴⁹ CENTRO DE TECNOLOGIA DA INDÚSTRIA QUÍMICA E TÊXTIL. *Introdução às Fibras Têxteis, op. cit.*, pp. 5 y 6.

fibra corta en comparación con las de animal o la de lino, y los hilos producidos se rompen con más facilidad durante el uso³⁵⁰.

Los tratamientos previos del tejido de algodón crudo se hacen necesarios para que este pueda ser suavizado y pueda absorber los tintes³⁵¹. Es común el uso de sosa cáustica (hidróxido sódico) para el blanqueo del algodón crudo, lo que se logra mediante la saturación de la fibra de algodón en la solución alcalina. Se desprenden las pectinas y otros materiales no celulósicos y el algodón se suaviza³⁵². Después del procesamiento, el algodón se torna más higroscópico y reactivo³⁵³.

La fibra de lino tiene la misma morfología que la del algodón, sin embargo, su estructura es más cristalina, lo que la hace más fuerte, pero más rígida. El lino no es tan puro como el algodón en términos de contenido de celulosa: tiene un 60-70 % de celulosa³⁵⁴, mientras el algodón tiene cerca del 80-90 %³⁵⁵. El tallo del lino necesita pasar por la fermentación para la retirada de las fibras duras, para separar las fibras que interesan de la parte leñosa³⁵⁶. La resistencia del lino a la pudrición es más alta que la del algodón, especialmente si los tejidos están secos³⁵⁷. Sin embargo, bajo la acción de alta humedad, temperatura o contaminación, el lino es igualmente atacado por hongos y otros microorganismos³⁵⁸.

Las fibras animales están formadas por proteínas poliméricas: queratina para los pelos y fibroína para la seda³⁵⁹. La parte más exterior de la lana es una estructura escamosa típica de los pelos animales identificada como la cutícula. La cutícula posee alto contenido de cistina y células corticales³⁶⁰. Por medio de los mordientes, esta superficie de la lana se modifica para la retirada de la fina capa hidrofóbica que cubre la cutícula y que dificulta el acceso de los tintes. El proceso puede evidentemente dañar la cutícula³⁶¹.

³⁵⁰ *Idem.*

³⁵¹ *Idem.*

³⁵² *Idem.*

³⁵³ *Ibid.*

³⁵⁴ SMOLE, M. Sfiligoj; HRIBERNIK, S.; KLEINSCHEK, Karin Stana y KREŽE, Tatjana. Plant fibres for textile and technical applications. En: S. GRUNDAS y A. STEPNIIEWSKI, eds. *Advances in agrophysical research*. Londres: InTech, 2013, p. 376.

³⁵⁵ *Ibid.*, p. 374.

³⁵⁶ CENTRO DE TECNOLOGIA DA INDÚSTRIA QUÍMICA E TÊXTIL. *Introdução às Fibras Têxteis*, op. cit.

³⁵⁷ *Ibid.*

³⁵⁸ *Ibid.*

³⁵⁹ GOFFER, Zvi. *Archaeological chemistry*, op. cit., p. 355.

³⁶⁰ CENTRO DE TECNOLOGIA DA INDÚSTRIA QUÍMICA E TÊXTIL. *Introdução às Fibras Têxteis*, op. cit., p. 78.

³⁶¹ MENEGAZZO, Maira Amanda Benedet. *Estudo do tingimento de lã com corante natural de camomila (matricaria recutita l.)* [trabajo fin de máster]. Maringá (Brasil): Universidade Estadual de Maringá, 2014, pp. 72 y 73.

De todas las fibras, la lana presenta las mejores cualidades desde el punto de vista textil. Su fina estructura facilita el hilado y la obtención de un hilo continuo. Debido a su excepcional fiabilidad, se puede incluso mezclar con otras fibras. La lana tiene gran elasticidad (del orden del 30 % sin deformación)³⁶² y es un gran aislante térmico³⁶³. Por otra parte, la lana es muy higroscópica³⁶⁴ y absorbe rápidamente el agua, por ello, se debe aislar de la humedad, y se suele utilizar bajo capas de vestimentas como chaquetas de cuero que son impermeables.

La evaluación de los fragmentos de prendas de los loberos-balleneros realizada por Melisa Salerno apunta a la posible presencia o relación de fragmentos de pulóver o *sweater* de lana, ya que este tipo de tejidos son muy económicos y abrigan y aíslaban el cuerpo del frío³⁶⁵:

«Consideramos que el empleo de lana confirió al tejido cualidades de durabilidad, flexibilidad, retención del calor y repelencia al agua. Las mismas pudieron resultar de gran importancia para el abrigo y protección de los operarios que ocuparon y trabajaron en el campamento»³⁶⁶.

El hilo de seda es un filamento secretado por las larvas de varios tipos de polillas de seda para hacer su capullo. La mayor parte de la seda fabricada se deriva de las larvas de la polilla *Bombyx mori*, que se cultivó ampliamente en China durante más de 5000 años³⁶⁷. La seda cruda consiste en un par de filamentos continuos de fibroína, unidos por goma de sericina³⁶⁸. En el tratamiento del hilo de seda, la sericina es retirada por procesos físico-químicos, dando origen a los hilos de seda separados³⁶⁹.

La seda se utiliza para textiles más caros y de lujo, no para textiles populares pues no es una materia prima barata. Tiene hilos continuos y muy resistentes, con

³⁶² CENTRO DE TECNOLOGIA DA INDÚSTRIA QUÍMICA E TÊXTEL. *Introdução às Fibras Têxteis*, op. cit.

³⁶³ *Ibid.*

³⁶⁴ *Ibid.*

³⁶⁵ SALERNO, Melisa Anabella. *Arqueología de la Indumentaria: Prácticas e Identidad en los Confines del Mundo Moderno (Antártica, siglo XIX)*, op. cit., p. 114.

³⁶⁶ *Ibid.*, p. 88.

³⁶⁷ GOFFER, Zvi. *Archaeological chemistry*, op. cit., p. 359.

³⁶⁸ CENTRO DE TECNOLOGIA DA INDÚSTRIA QUÍMICA E TÊXTEL. *Introdução às Fibras Têxteis*, op. cit.

³⁶⁹ *Ibid.*

brillo acentuado, que produce textiles brillantes y de increíble ligereza, que las otras fibras no pueden producir³⁷⁰. Tiene un excelente poder de absorción de teñido pues los tintes y mordientes penetran en ella muy fácilmente³⁷¹. Sin embargo, es muy fotosensible y su color fácilmente puede ser alterado por la exposición a la luz solar³⁷². En general, todas las fibras y tejidos pierden mucha de su resistencia cuando se exponen a la luz solar³⁷³. Los rayos ultravioletas del sol tienden a acentuar la oxidación y la eventual destrucción de las fibras y de los pigmentos. Desafortunadamente, todos los tintes textiles se degradan mucho y fácilmente en los yacimientos. Cuando encontramos fragmentos textiles arqueológicos, estos raramente presentan restos legibles de colores³⁷⁴.

Los textiles loberos-balleneros no son no-tejidos (fibras prensadas y plegadas) sino textiles tejidos llanos (tejidos de trama y urdimbre) y de punto (entrelazado de hilo único en ángulo de más de 90° de inclinación). Las tecnologías de entrelazados de textiles llanos utilizan telares y producen tipos de entrelazado como la sarga, el satén y el tafetán. Las técnicas de producción de textiles de punto producen tejidos de un único hilo, como el *tricot*. Los hallazgos de Livingston se caracterizan por la presencia de mallas y de los dos tipos de textiles llanos: tafetán y sarga³⁷⁵ (Figura 20). Los dos se diferencian en la relación de entrelazamiento entre hilos de la trama y de la urdimbre. El tafetán produce un textil de trama de apariencia perpendicular, mientras que la sarga tiene la apariencia del entrelazamiento transversal y con mayor resistencia a la tracción (presente en los pantalones vaqueros).

³⁷⁰ *Ibid.*

³⁷¹ *Ibid.*

³⁷² *Ibid.*

³⁷³ *Ibid.*

³⁷⁴ CIATTI, Marco y SCARPELLI, Susanna Conti (eds.). *Tessuti archeologici: i frammenti copti Roca-Puig dell'Abbazia di Montserrat: conservazione e restauro*. Florencia (Italia): Edifir, 2014.

³⁷⁵ SALERNO, Melisa Anabella. *Arqueología de la Indumentaria: Prácticas e Identidad en los Confines del Mundo Moderno (Antártica, siglo XIX)*, op. cit.

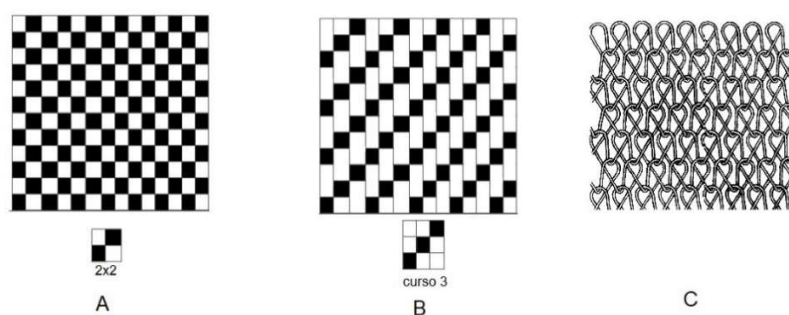


Figura 20. A: tafetán; B: sarga; C: malla³⁷⁶

La dimensión natural de la fibra genera más resistencia al hilo. Hilos con más número de cables y textiles con más número de hilos por cm en la urdimbre y/o en la trama tienen resistencia mecánica aumentada. La tensión aplicada a los hilos en el telar hace los textiles llanos más ligeros. Las fibras finas y suaves (algodón o lana) se utilizan para fabricar textiles, mientras que las fibras más ásperas, gruesas e irregulares (yute, sisal o cáñamo) son más apropiadas para la fabricación de cordeles, cuerdas y certerías (*coarse fibers*)³⁷⁷. Fibras de hojas, como la de sisal, son fibras «duras», ásperas e inflexibles; no se usan para vestimentas, sino para fabricación de papel, alfombras y otros³⁷⁸.

Madera

La celulosa, hemicelulosa y lignina son los principales biopolímeros sintetizados por las plantas presentes en la madera³⁷⁹. La celulosa es el carbohidrato predominante y representa entre el 15 y el 30 % del peso seco³⁸⁰. La celulosa está asociada a la matriz de lignina, que es resistente a la compresión, y a la hemicelulosa, que tiene la función de conectar la celulosa a la lignina³⁸¹. La lignina, diferentemente de los otros dos componentes, no es un carbohidrato³⁸². Es menos

³⁷⁶ A: forma base del tafetán (el negro es el hilo de la trama y el blanco el hilo de la urdimbre); B: forma básica de la sarga (el negro es el hilo de la trama y el blanco el hilo de la urdimbre); C: malla simple.

³⁷⁷ Weber-Partenheim, W., 1971, citado en GOFFER, Zvi. *Archaeological chemistry*, op. cit., pp. 353 y 354.

³⁷⁸ SMOLE, M. Sfiligoj; HRIBERNIK, S.; KLEINSCHKEK, Karin Stana y KREŽE, Tatjana. *Plant fibres for textile and technical applications*, op. cit.

³⁷⁹ GOFFER, Zvi. *Archaeological chemistry*, op. cit., p. 294.

³⁸⁰ GARCÍA BREIJO, Francisco José. Web docente, UPV. Tema 1. *La Célula Vegetal: Estructura Celular e intercomunicaciones*, op. cit.

³⁸¹ *Ibid.*

³⁸² GOFFER, Zvi. *Archaeological chemistry*, op. cit., p. 295.

digerible, inhibiendo la digestibilidad de la pared celular de las plantas por otros seres vivos³⁸³.

La dureza, el color, la presencia de resinas u otras sustancias, el peso o la flexibilidad varían mucho entre las especies. Sin embargo, las especies que componen los dos grupos botánicos se diferencian por producir maderas con características específicas: las angiospermas («maderas duras») y las gimnospermas («maderas blandas»). En las segundas, las células muertas son mucho más alargadas y fibrosas³⁸⁴.

Un árbol aumenta de diámetro por la formación de nuevas capas leñosas. El crecimiento de las capas suele tener ritmos diferenciados, lo que genera la presencia de anillos de crecimiento visibles³⁸⁵, útiles para exámenes de datación dendrocronológicos. Su cambio de coloración y densidad permite apreciar especialmente los ciclos vegetativos de los árboles de climas templados, que poseen los anillos marcados porque el crecimiento del árbol disminuye en el invierno³⁸⁶. Los anillos de crecimiento se presentan desde perspectivas distintas en los artefactos, de acuerdo con el corte dado para el uso de la madera (Figura 21).

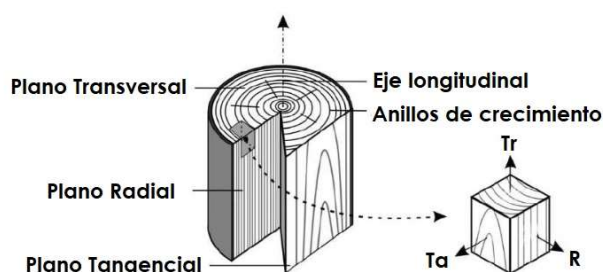


Figura 21. Cortes de la madera y su apariencia: planos: transversal (Tr), tangencial (Ta) y radial (R), así como anillos de crecimiento y el eje longitudinal³⁸⁷

El alborno es la parte más externa de los árboles leñosos y el duramen es la parte más interna. Esta parte más interna va perdiendo la función de conducción

³⁸³ FUKUSHIMA, Romualdo Shigueo; GARIPPO, Geraldo; HABITANTE, Ana Mônica Quinta Barbosa y LACERDA, Roseli Sengling. Extração da lignina e emprego da mesma em curvas de calibração para a mensuração da lignina em produtos vegetais. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 2000, vol. 29, pp. 1302-1311.

³⁸⁴ GOFFER, Zvi. *Archaeological chemistry, op. cit.*, p. 296.

³⁸⁵ KHAN, Muhammad Kamran. *Plant Systematics, Anatomy & Development*. S. I.: Amazon [eBook Kindle], 2020.

³⁸⁶ RENFREW, Colin y BAHN, Paul. *Arqueología: Teorías, Métodos y Prácticas, op. cit.*

³⁸⁷ Basado en Franke y Quenneville, 2011 modificado e citado por FEIJOO FEIJOO, C. E.; ARMIJOS, D. D. R.; Cofrep, D. A. P. Guía para cortes anatómicos de la madera. Universidad Nacional de Loja. Loja, Ecuador. Enero, 2019, Fig. 1, p.10.

de sustancias vivas al árbol, y se va transformando en inactiva y las células mueren³⁸⁸. Cuando el árbol se torna adulto, el duramen está prácticamente muerto. El alborno permanece vivo y funcional (donde quedan los vasos que conducen agua y nutrientes). El duramen es la parte más interesante para la utilización como madera, pues es más estable, tiene menos materia orgánica viva y es menos higroscópica³⁸⁹.

En la parte más externa del alborno está la corteza, también hecha de células muertas como el cerne, y cuya función es la protección del árbol. El corcho, utilizado para fabricar tapones de botella y muchos otros tipos de artefactos, fue hecho en el pasado a menudo con la corteza del alcornoque (*Quercus suber*)³⁹⁰. El principal componente del corcho es la suberina³⁹¹, otro polímero producido por las plantas. Este es un componente ceroso que hace que sea impermeable al agua. Puede sobrevivir muy bien a las condiciones de inundación y a menudo se encuentra en un contexto marino. Pero el corcho que sobrevive será blando y propenso a daños mecánicos después de la excavación³⁹².

La preparación de las maderas para el uso involucra no solamente el corte sino también la protección y el acabado. Los tratamientos más comunes aplicados a la madera son los productos utilizados para mitigar los agentes de degradación: como los insecticidas, fungicidas, aislantes térmicos, aislantes solares o sustancias hidrofóbicas.

La madera en depósitos arqueológicos aireados es fácilmente destruida por bacterias, hongos, insectos y otros organismos del suelo. En yacimientos subacuáticos marinos, la madera es el sustrato para la fijación de varios seres vivos, como el *teredo navalis* que causa huecos complejos en la superficie³⁹³. En ambientes empapados anaeróbicos la madera puede sobrevivir, pero sufre profundos cambios químicos que resultan ser una pérdida significativa de

³⁸⁸ CUTLER, David F.; BOTHA, Ted y STEVENSON, Dennis W. *Anatomia vegetal: uma abordagem aplicada*. Porto Alegre (Brasil): Artmed, 2009.

³⁸⁹ GONZAGA, Armando Luiz. *Madeira: uso e conservação*, op. cit.

³⁹⁰ *Ibid.*, p. 22; ENGLISH HERITAGE. *Waterlogged Organic Artefacts: Guidelines on their recovery, analysis and conservation*, op. cit.

³⁹¹ *Ibid.*, p. 18.

³⁹² *Idem.*

³⁹³ *Ibid.*, p. 61.

resistencia, aun manteniendo la forma general³⁹⁴. Por hidrólisis, la celulosa desintegra las paredes celulares, dejando solo una red de lignina para sostener la madera. Incluso la lignina se desintegrará con el tiempo³⁹⁵. La hidrólisis conduce a un debilitamiento gradual de la estructura de la madera y a un aumento en su contenido de agua. La desintegración de la celulosa produce el aumento los espacios entre las células y la madera se vuelve más porosa y permeable. Los espacios se llenan de agua y productos de descomposición³⁹⁶.

El patrón de deterioro de la madera es anómalo, caracterizado por una fuerte degradación de la capa superficial alrededor de un núcleo. Los artefactos generalmente tienen un núcleo interno bien conservado y una capa externa blanda más deteriorada. Las diferencias en el patrón de descomposición de los artefactos de madera pueden reflejarse en la clasificación establecida originalmente por Christensen, por medio de una fórmula para medir el contenido de humedad (MC)³⁹⁷:

$$\frac{\text{peso mojado} - \text{peso seco}}{\text{peso seco}} \times 100 = \text{MC} \%$$

Las maderas modernas que permanecieron inundadas poseen generalmente un MC de alrededor del 120 %³⁹⁸. La medición propone una descripción simple y comparativa del grado de deterioro físico por medio del pesaje de la pérdida de componentes sólidos³⁹⁹:

- A. Muy suave, poca celulosa.
- B. Zona delgada: poca celulosa, consistencia de la cuerda vieja.
- C. Poco deterioro: no permeable.

³⁹⁴ HAMILTON, Donny L. *Methods of conserving archaeological material from underwater sites*. Texas (Estados Unidos): Texas A&M University, 1999.

³⁹⁵ *Ibid.*

³⁹⁶ ENGLISH HERITAGE. *Waterlogged Organic Artefacts: Guidelines on their recovery, analysis and conservation*, op. cit.; HAMILTON, Donny L. *Methods of conserving archaeological material from underwater sites*, op. cit.

³⁹⁷ RODGERS, Bradley A. *The archaeologist's manual for conservation: a guide to non-toxic, minimal intervention artifact stabilization*. Nueva York (Estados Unidos): Springer, 2004, p. 47.

³⁹⁸ KAYE, Barry. *Conservation of waterlogged archaeological wood*, op. cit., p. 37.

³⁹⁹ RODGERS, Bradley A. *The archaeologist's manual for conservation: a guide to non-toxic, minimal intervention artifact stabilization*, op. cit., p. 41.

Años más tarde, J. de Jong desarrolló la clasificación de Christensen, para la siguiente división del MC⁴⁰⁰:

- I. >400 % MC.
- II. 185–400 % MC.
- III. <185 % MC.

Más tarde fue el turno de David Grattan, del Canadian Conservation Institute (CCI), de desarrollar el análisis de la degradación de la madera arqueológica al sugerir la comparación del peso de las muestras de madera seca y anegada con los valores conocidos para muestras del mismo tamaño de las especies (SG, densidad medida en gramos por centímetro cúbico). El método agregó más precisión para la estimación de la proporción de celulosa perdida⁴⁰¹.

3.4. Degradación de materiales metálicos

Desde el punto de vista de la química, los metales son un grupo de elementos de la tabla periódica que poseen tendencia a agruparse atómicamente en enlaces metálicos. Pueden hallarse en parte de rocas, pigmentos, sustancias naturales o artificiales. Entre tanto, se presentan como materias metálicas solo las que están constituidas esencialmente por lo menos de un tipo de metal.

Es común encontrar en la naturaleza elementos metálicos componiendo mezclas con otros elementos que los hacen químicamente más estables. Es necesario manufacturar el metal desde la forma mineral, para que ganen la forma metálica con la que producimos artefactos. Ellos son manufacturados por medio de aleaciones y mediante procesos metalúrgicos. Presentan características como brillo, dureza, ductilidad, conducción de electricidad, lo que los hace de interés para la fabricación de tales artefactos.

Los materiales metálicos tienden a volver al estado más mineral, pues esta es la forma energéticamente más estable. La corrosión es un proceso de deterioro natural del metal. Ocurre por medio de reacciones electroquímicas y químicas, que

⁴⁰⁰ *Idem.*

⁴⁰¹ *Idem.*

involucran reacciones de oxidación-reducción⁴⁰². La corrosión es también la degradación de más relevancia para el trabajo de conservación de metales en arqueología.

Para que se produzca la corrosión electroquímica es necesario haber los electrodos (un ánodo que oxida y pierde electrones y un cátodo que reduce y gana los electrones), el electrolito, que es el medio conductor (generalmente, una solución acuosa), y la conexión eléctrica entre los electrodos. Las ecuaciones que ocurren en los electrodos son⁴⁰³:

En el ánodo: $M \rightarrow M^n + ne^-$ (oxidación)

En el cátodo: $M^n + ne^- \rightarrow M$ (reducción)

Cuando un metal está en contacto con un electrolito forma entonces un sistema de corrosión (Figura 22). El ánodo es el que cede electrones y se oxida, mientras que el cátodo absorbe electrones y se reduce. El potencial de reducción E^0 (volt) de un material metálico define su susceptibilidad a la reducción. Cuanto más positivo, más noble y resistente será el material, cuanto más negativo, más reactivo a la corrosión y menos noble será el material⁴⁰⁴.

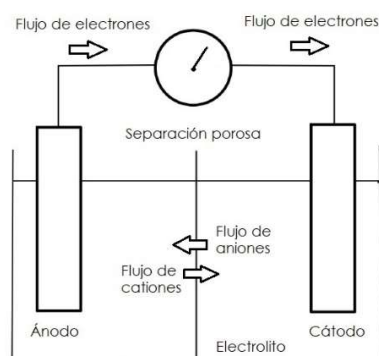


Figura 22. Representación de una célula electroquímica⁴⁰⁵

⁴⁰² SALAZAR-JIMÉNEZ, José Alberto. Introducción al fenómeno de corrosión: tipos, factores que influyen y control para la protección de materiales. *Revista Tecnología en Marcha*. 2015, vol. 28, n.º 3, p. 128.

⁴⁰³ *Ibid.*, p. 129.

⁴⁰⁴ La serie galvánica (o serie electropotencial) determina el grado de nobleza o inercia química de los metales y semimetales.

⁴⁰⁵ Basado en SALAZAR-JIMÉNEZ, José Alberto. Introducción al fenómeno de corrosión: tipos, factores que influyen y control para la protección de materiales, *op. cit.*, p. 129, figura 1.

El diagrama de Pourbaix es una representación gráfica que nos permite ver las fases de equilibrio estable de un sistema electroquímico. Las líneas representan los límites entre las áreas de estabilidad de las diversas especies iónicas de un elemento dado. El diagrama se configura en general por la relación entre el pH (abscisa) y el Eh (potencial de voltaje con respecto al conductor eléctrico estándar de hidrógeno, SHE) (ordenada), y considera condiciones termodinámicas estándar, usualmente el agua como medio conductor y la temperatura de 25°C⁴⁰⁶ (Figura 23).

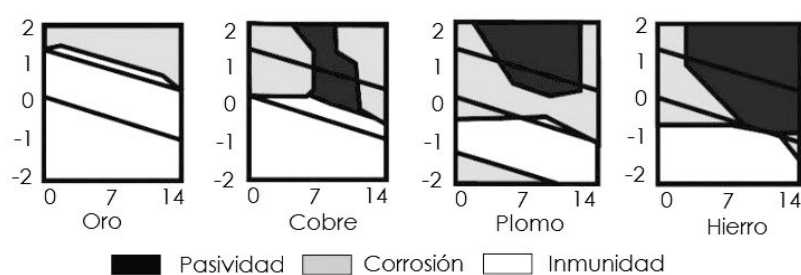


Figura 23. Diagrama de Pourbaix para el oro, cobre, plomo y hierro⁴⁰⁷

El pH, o hidrógeno parcial, es la medida de acidez que conocemos y que se indica con valores del 1 al 14. El Eh es el potencial redox, que es la cantidad de presión de electrones (voltaje) que emiten los artefactos metálicos⁴⁰⁸. Por el diagrama se puede ver, por ejemplo, que la pasivación de estos metales ocurre cerca de la zona en pH básico, y que estos tienen su zona de corrosión bajo pH ácido. Podemos ver también que el hierro, el cobre y el bronce son más atacados por ácidos que el oro, un metal noble, que están mejor conservados en todas las zonas de variación de pH.

Con la presencia de agua como medio conductor del flujo de electrones, casi todos los metales sufren corrosión durante su período de enterramiento, salvo los metales llamados nobles (como el oro o la plata), que son la excepción porque

⁴⁰⁶ MUÑOZ PORTERO, María José. *Características y usos de los diagramas de Pourbaix* [recurso didáctico en línea]. Valencia: Universitat Politècnica de València, 2011 [consulta: 20/09/2021]. Disponible en: <https://bit.ly/3v6huic>.

⁴⁰⁷ Basado en LABORATORIO DE CORROSIÓN Y PROTECCIÓN DE CÁDIZ. *Seminario 2. Procesos Redox. Diagramas de predominancia, Latimer, Frost y Pourbaix* [en línea]. Cádiz: Universidad de Cádiz, s. f. [consulta: 10/10/2021]. Disponible en: https://www.ugr.es/~mota/QIA_SEMINARIO-2.pdf.

⁴⁰⁸ RODGERS, Bradley A. *The archaeologist's manual for conservation: a guide to non-toxic, minimal intervention artifact stabilization, op. cit.*, p. 81.

no tienden a reaccionar químicamente. La transferencia de electrones puede darse incluso en el mismo objeto cuando entra en contacto con una solución acuosa, o sea, puede sufrir la pérdida de electrones de un punto a otro⁴⁰⁹. También puede ocurrir dentro de las aleaciones metálicas, en forma de corrosión selectiva, como, por ejemplo, el estaño en la aleación de bronce, o el zinc en el latón⁴¹⁰.

Después de ser excavados los artefactos arqueológicos metálicos, debemos acondicionarlos sin que se toquen unos a los otros, para evitar la transferencia de electrones, incluso artefactos hechos con el mismo metal y aleación. La corrosión galvánica es el nombre que se da al proceso que ocurre cuando los metales sufren corrosión por entrar en contacto con otros metales electroquímicamente diferentes⁴¹¹. El hierro tiene $E^0(v)$ negativo (-0,44), el estaño y el plomo lo tienen menos negativo que el hierro (-0,14 y -0,13 respectivamente), y el cobre lo tiene positivo (+0,15). Eso significa que el cobre tiende a ser más catódico que los otros tres metales. Si colocamos por ejemplo una placa de cobre y una placa de estaño en contacto, ambas sumergidas en un electrolito neutro, tendremos un circuito eléctrico donde el estaño será el ánodo, oxidando y perdiendo electrones para el cobre, que se reducirá. Los hallazgos que contienen metales distintos son un problema porque crean el par galvánico de corrosión, como los remaches de bronce sobre hierro⁴¹².

La oxidación por medio de presencia de oxígeno u otro gas oxidante es un tipo común de corrosión estrictamente química, pues no existe un electrolito involucrado. Es un proceso que se ve favorecido por la alta presencia de oxígeno y las altas temperaturas. El compuesto oxidado formado puede difundirse al interior del material, fragilizando el material continua y profundamente⁴¹³. Cuando el metal es rescatado del yacimiento arqueológico, la corrosión se vuelve más veloz debido al aumento de la disposición y al contacto con el oxígeno. Es muy común el

⁴⁰⁹ SALAZAR-JIMÉNEZ, José Alberto. Introducción al fenómeno de corrosión: tipos, factores que influyen y control para la protección de materiales, *op. cit.*

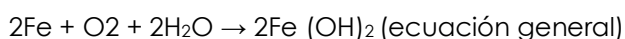
⁴¹⁰ RODGERS, Bradley A. *The archaeologist's manual for conservation: a guide to non-toxic, minimal intervention artifact stabilization*, *op. cit.*, p. 110.

⁴¹¹ SALAZAR-JIMÉNEZ, José Alberto. Introducción al fenómeno de corrosión: tipos, factores que influyen y control para la protección de materiales, *op. cit.*

⁴¹² RODGERS, Bradley A. *The archaeologist's manual for conservation: a guide to non-toxic, minimal intervention artifact stabilization*, *op. cit.*, p. 196.

⁴¹³ SALAZAR-JIMÉNEZ, José Alberto. Introducción al fenómeno de corrosión: tipos, factores que influyen y control para la protección de materiales, *op. cit.*

problema de la corrosión en objetos de hierro expuestos al aire, y a una alta humedad relativa del aire. El hierro pierde electrones fácilmente para el oxígeno en una reacción que involucra la humedad:



La corrosión sufrida por los artefactos metálicos puede estar clasificada en cuanto a su distribución en el artefacto, lo que también caracteriza la existencia o no de pátina de protección. La corrosión uniforme u homogénea es la que posee penetración media y ocurre sobre todo en la superficie del material de forma homogénea⁴¹⁴ (común en la oxidación por el aire). La corrosión por *pitting*, común en metales contaminados por iones, genera puntos aislados en la superficie, pero se propaga hacia el interior del metal. La corrosión por *pitting*, puede formar túneles microscópicos muy profundos⁴¹⁵.

El ion cloruro (Cl-) es considerado especialmente perjudicial para los metales arqueológicos⁴¹⁶, especialmente los de hierro. Forma productos de corrosión inestables, generando problemas tanto en los objetos metálicos que se encuentran en las aguas marinas, como en los artefactos que provienen de excavaciones terrestres. En medios subacuáticos, un factor de protección contra la corrosión son las concreciones calcáreas, que crean una capa de protección⁴¹⁷.

Los productos de corrosión (pátina) del hierro tienen menor densidad que el metal de base y no impiden que los elementos generadores de la corrosión sigan afectando profundamente los artefactos, consumiendo todo el metal. Otros tipos de metales y aleaciones producen capas de corrosión más sólidas y estables que los protegen y los pasivan, como el cobre y el bronce. Los metales llamados «inoxidables» se hallan entre los metales que son pasivados⁴¹⁸.

En total, varios son los factores naturales que influyen en la pérdida de electrones en los metales: el oxígeno, el agua, el pH, los iones, los elementos metálicos y la pasividad de la capa de corrosión formada. Sin embargo, factores

⁴¹⁴ *Ibid.*

⁴¹⁵ *Ibid.*

⁴¹⁶ IBÁÑEZ, Carmelo Fernández. La alteración del hierro por sales: ayer y hoy; problemas y soluciones. *Monte Buciero*. 2003, n.º 9, p. 279.

⁴¹⁷ López Marcos, M. A., 1987; North, N. A. y Pearson, C., 1975, citados en *ibid.*, p. 281.

⁴¹⁸ SALAZAR-JIMÉNEZ, José Alberto. Introducción al fenómeno de corrosión: tipos, factores que influyen y control para la protección de materiales, *op. cit.*

culturales, como la manufactura de las aleaciones y de los instrumentos, también influirán mucho en la velocidad de intercambio de electrones y el tipo de corrosión generada⁴¹⁹.

El tipo de manufactura de los metales, como la forja, laminado, extrusión, estiramiento o soldadura⁴²⁰, caracteriza las superficies en contacto con el aire, con los fluidos, y también la micromorfología del metal. La micromorfología está relacionada por su parte a la capacidad de transferencia de electrones y a las propiedades generales mecánicas. Es determinada por las acciones llevadas a cabo en los procesos de fabricación: fusión, forja, calentamiento, presión y otros⁴²¹.

Las propiedades físicas de los materiales metálicos y la forma de degradación se ven afectadas por la composición de la aleación y por el tamaño y forma de los granos. El grano es la región del metal que tiene una dirección cristalográfica específica⁴²². El tamaño de grano es una característica micromorfológica relacionada a la temperatura a la que fue sometido el metal en su confección⁴²³. De él se derivan defectos y discontinuidades en la estructura cristalina⁴²⁴. Los metales con granos pequeños son más duros y tenaces que aquellos con granos grandes⁴²⁵. La corrosión intragranular es un tipo de degradación que ocurre en los bordes del grano del metal⁴²⁶.

Los artefactos forjados también tienden a sufrir un tipo de corrosión concentrada en las zonas de soldadura. Las zonas de colocación de clavos también sufren corrosión, pues son puntos de transferencia de electrones, no homogéneos, y también zonas de fragilidad (Figura 24). Si los artefactos están compuestos por materiales orgánicos y metálicos, como madera y clavos, la corrosión del metal también debilitará el área de contacto con el material orgánico.

⁴¹⁹ *Ibid.*

⁴²⁰ FIGUEIREDO JUNIOR, João. C. D. *Química aplicada à conservação e restauração de bens culturais: uma introdução*. Belo Horizonte: São Jerônimo, 2012, p. 147.

⁴²¹ CRONYN, Janet Margaret. *Elements of archaeological conservation*, op. cit., p. 160.

⁴²² FIGUEIREDO JUNIOR, João. C. D. *Química aplicada à conservação e restauração de bens culturais: uma introdução*, op. cit., p. 147.

⁴²³ *Idem.*

⁴²⁴ *Ibid.*, p. 148.

⁴²⁵ *Ibid.*, p. 149.

⁴²⁶ GREVEY, A. L.; VIGNAL, V.; KRAWIEC, H.; OZGA, P.; PECHE-QUILICHINI, K.; RIVALAN, A. y MAZIÈRE, F. Microstructure and long-term corrosion of archaeological iron alloy artefacts. *Heritage Science*. 2020, n.º 8, artículo 57, p. 1.

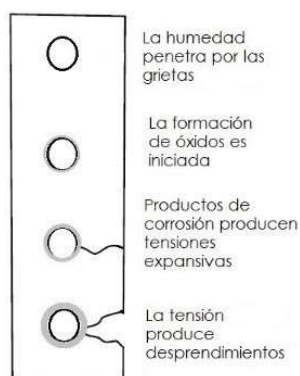


Figura 24. Fragilidad de artefactos con clavos

Llamados los «siete metales de la Antigüedad», son los metales encontrados en yacimientos arqueológicos: oro, plata, cobre, plomo, estaño, hierro y mercurio. Estos metales y sus aleaciones representan casi todo el uso de metales hasta el comienzo de la metalurgia moderna en 1800⁴²⁷. Sin embargo, este estudio proseguirá especificando la corrosión de los metales que se encuentran en el contexto específico de Livingston: hierro, bronce y plomo.

3.4.1. Hierro

Artefactos de hierro son producidos con proporciones de carbón y otros componentes (aproximadamente 0,1 % de carbón)⁴²⁸. Estrictamente hablando, los metales arqueológicos también son aceros, nombre dado entonces a las aleaciones de hierro y carbono. La mayor diferencia entre los aceros antiguos y el de hoy es que el acero moderno pasa por tratamientos especiales y aplicación de tecnologías modernas, como la producción del que se conoce como hierro fundido, el cual contiene un mínimo de 2 % de carbón⁴²⁹.

El hierro adquiere propiedades mecánicas interesantes para la construcción de artefactos cuando se somete a tratamientos térmicos, lo que causa cambios en sus propiedades físicas⁴³⁰. Muchas de las propiedades que caracterizan el hierro (o

⁴²⁷ JOHNSON, A. B. Jr. y FRANCIS, B. Durability of metals from archaeological objects, metal meteorites, and native metals [informe técnico: PNL-3198. UC-70]. Battelle Pacific Northwest Labs., Richland (Estados Unidos), 1980, p. 2.1.

⁴²⁸ SEASE, Catherine. *Conservation Manual for the field archaeologist*, vol. 4, *Archaeological Research Tools*, op. cit., p. 65.

⁴²⁹ *Idem*.

⁴³⁰ GOFFER, Zvi. *Archaeological chemistry*, op. cit., p. 173.

acero) están relacionadas con la cantidad de carbono que contiene. La tenacidad, maleabilidad y ductilidad, por ejemplo, disminuyen al aumentar las proporciones relativas de carbono⁴³¹.

Los objetos de hierro son los que presentan los problemas más serios para la conservación de metales arqueológicos. Estos tienen una gran tendencia a perder electrones, liberando energía y buscando su estado natural de estabilidad. La corrosión del hierro arqueológico es un agente destructivo rápido y poderoso, a diferencia de otros metales; raras veces se forman pátinas protectoras estables y se pasiva de forma natural. Presenta numerosos productos de corrosión (Tabla 5):

Tabla 5. Productos de la corrosión del hierro arqueológico⁴³²

Sustancia	Fórmula	Color
Akaganeita	β -FeOOH	Marrón amarillo, marrón rojizo
Goethita	α -FeOOH	Amarillento a rojizo y a marrón oscuro
Hematite	α -Fe ₂ O ₃	Variedad terrosa: rojo mate a pardo brillante
Hidróxido férrico	Fe(OH) ₃	Verde
Jarosita	KFe ₃ +3(SO ₄) ₂ (OH) ₆	Amarillo ámbar a marrón oscuro
Lepidocrocita	γ -FeOOH	Rojo a marrón rojizo
Limonita	FeO(OH) · nH ₂ O	Amarillo a marrón
Maghemita	γ -Fe ₂ O ₃	Variedad terrosa: rojo mate a pardo brillante
Magnetita	Fe ₃ O ₄	Negro
Vivianita	Fe ₂ +3(PO ₄) · 28H ₂ O	Incoloro, verde muy pálido, con oxidación que se vuelve azul oscuro
Wüstite – forma mineral de óxido de hierro (II)	FeO	Blanco grisáceo a amarillo o marrón

Los artefactos de hierro corroídos pierden mucha resistencia mecánica y los compuestos de corrosión causan deformaciones intensas. La corrosión puede afectar de manera más uniforme o de manera más discontinua a estructuras extremadamente porosas. Esta puede llegar a ocupar mucho más espacio que la materia original⁴³³.

⁴³¹ *Ibid.*, p. 174.

⁴³² Tabla basada en LEYGRAF, Christofer; WALLINDER, Inger Odnevall; TIDBLAD, Johan y GRAEDEL, Thomas. *Atmospheric corrosion*. 2.ª ed., Hoboken (Estados Unidos): John Wiley & Sons, 2016, p. 305; MUSTOE, George y ACOSTA, Marisa. Origin of petrified wood color. *Geosciences*. 2016, vol. 6, n.º 2, artículo 25, p. 25; y ANTHONY, John W.; BIDEAUX, Richard A.; BLADH, Kenneth W. y NICHOLS, Monte C. *Handbook of Mineralogy*. Tucson (Estados Unidos): Mineral Data Publishing, 2003.

⁴³³ CRONYN, Janet Margaret. *Elements of archaeological conservation*, op. cit., p. 182.

Los artefactos de hierro tienden a expandirse y a llegar a la mineralización total, pudiendo desaparecer por completo y dejar solamente una mancha en el suelo (Figura 25). Los hierros recuperados de excavaciones terrestres invariablemente contienen arena, piedra incrustada, óxidos ferrosos y carbonatos ferrosos⁴³⁴. Una corteza gruesa de minerales y corrosión, llamada en inglés *bulky red* o *brown mass*⁴³⁵, aparece en hierros depositados en yacimientos aerodinámicos. Las concreciones pueden contener carbonato de calcio y varios restos. Pueden también extenderse por el sitio, incrustando cualquier otro material en su camino⁴³⁶. Su forma gruesa hace que el hierro sea irreconocible como objeto.



Figura 25. Concreción en el hierro arqueológico⁴³⁷

La goetita, de color marrón o castaño/ocre oscuro, es compacta y resistente. Rodea toda la pieza y actúa como una especie de matriz de materiales exógenos u otros productos de oxidación —como la limonita, que posee color ocre amarillo y tiene aspecto terroso y pulverulento—⁴³⁸. La magnetita es una pátina de color negro brillante que no debe ser retirada del metal en el tratamiento, pues es una de las capas más protectoras del hierro⁴³⁹. Bajo la presencia de fosfatos en el

⁴³⁴ *Ibid.*, p. 179; RODGERS, Bradley A. *The archaeologist's manual for conservation: a guide to non-toxic, minimal intervention artifact stabilization*, op. cit., p. 77.

⁴³⁵ CRONYN, Janet Margaret. *Elements of archaeological conservation*, op. cit., p. 179.

⁴³⁶ *Ibid.*, p. 181.

⁴³⁷ Basado en *ibid.*, p. 182, figura 5.5.

⁴³⁸ LASTRAS PÉREZ, Montserrat. *Proyectos II Conservación y Restauración de escultura y arqueología. Conservación y Restauración de metales* [material didáctico]. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, 2013-2014, p. 63.

⁴³⁹ *Idem.*

yacimiento, los hierros pueden ganar capas protectoras de vivianita⁴⁴⁰. Las protecciones de vivianita se encuentran en zonas con materiales u otros tipos de depósitos donde haya una fuente de fosfato⁴⁴¹. La hematite, de color rojo sangre/rojo oscuro, es también considerada como una capa relativamente protectora y que puede prevenir la corrosión durante un tiempo considerable⁴⁴². Si el hierro se calienta por encima de 200°C, formará la capa de hematite. Así que la presencia de hematite podría indicar un material quemado cerca del hierro antes de ser enterrado⁴⁴³. El sulfato de hierro (II) (FeSO₄) puede aparecer en los depósitos húmedos anaeróbicos, generando un aspecto ennegrecido en los artefactos, que se forma, por ejemplo, por la reducción del sulfato por las bacterias SRB. Esta capa puede ser dura y brillante⁴⁴⁴.

Cuando el hierro arqueológico proviene de yacimientos contaminados con los iones de cloruro (Cl⁻), la oxidación se acelera considerablemente. Los iones de cloruro quedan atrapados en grietas o poros acelerando aún más la corrosión después de que el objeto es desenterrado⁴⁴⁵. Cuando el hierro, con la presencia de iones, tiene contacto con la humedad y el oxígeno, la solución ácida de cloruro de hierro (II) empieza un ciclo de corrosión muy activo, y cuyos síntomas son la reacción llamada *weeping, tears, o sweat*⁴⁴⁶ —aparecimiento de gotas naranjas en la superficie del hierro— (Figura 26), y la formación de partículas alargadas de akaganeita (β-FeOOH), contamina con el Cl. La akaganeita no es común en la naturaleza pero es común en hierros arqueológicos expuestos al aire, siendo muy responsable de la fracturación de los objetos arqueológicos de hierro después de la excavación⁴⁴⁷.

⁴⁴⁰ CRONYN, Janet Margaret. *Elements of archaeological conservation*, op. cit., pp. 14 y 181.

⁴⁴¹ *Ibid.*, pp. 180 y 181.

⁴⁴² *Idem.*

⁴⁴³ *Ibid.*, p. 180.

⁴⁴⁴ *Idem.*

⁴⁴⁵ SELWYN, Lyndsie S.; SIROIS, P. I. y ARGYROPOULOS, Vasilike. The corrosion of excavated archaeological iron with details on weeping and akaganeite. *Studies in Conservation*. 1999, vol. 44, n.º 4, p. 217.

⁴⁴⁶ *Ibid.*, p. 221.

⁴⁴⁷ *Ibid.* p.220-221



Figura 26. Presencia de cloruros en hierro arqueológico (20x)⁴⁴⁸

Las degradaciones provocadas por los cloruros después del rescate son muy dañinas para los hierros pues son muy activas y veloces. Pueden desarrollarse en ambientes con bajos niveles de humedad como el 20 % de RH % en metales muy contaminados. Es aún más peligroso si la humedad pasa del 60 %⁴⁴⁹. Desafortunadamente, hierros contaminados con cloruros son frecuentes en yacimientos arqueológicos y son difíciles de tratar y conservar. Podemos decir que un hallazgo de hierro rescatado está realmente en buenas condiciones en caso de que haya sido protegido por una capa eficaz de pasivación, si el agua estuvo ausente⁴⁵⁰ y, principalmente, donde no haya habido iones contaminantes.

3.4.2. Bronce

Posiblemente el bronce es la aleación más antigua fabricada a gran escala en la historia⁴⁵¹. El término 'bronce' no representa una aleación específica, con una sola proporción, sino que representa una clase de aleaciones de cobre y estaño y, a veces, otros metales⁴⁵².

El cobre arsénico, el bronce y el latón son tres aleaciones de cobre ampliamente utilizadas en la Antigüedad⁴⁵³. El arsénico o antimonio son elementos que confieren más dureza al cobre. Pero el arsénico a menudo se presenta como una impureza en el cobre y solamente cuando supera a el 2 %, por sus efectos

⁴⁴⁸ Fuente: Heuvath Alquimin, laboratorio (LEACH), 2016.

⁴⁴⁹ SELWYN, L. S.; SIROIS, P. J.; ARGYROPOULOS, V. 1999 citado en IBÁÑEZ, Carmelo Fernández. La alteración del hierro por sales: ayer y hoy; problemas y soluciones, *op. cit.*, p. 282.

⁴⁵⁰ CRONYN, Janet Margaret. *Elements of archaeological conservation*, *op. cit.*, p. 14.

⁴⁵¹ GOFFER, Zvi. *Archaeological chemistry*, *op. cit.*, p. 169.

⁴⁵² *Idem.*

⁴⁵³ *Ibid.*, pp. 155 y 156 (traducción nuestra).

notables en la aleación, puede ser considerado de fabricación intencional⁴⁵⁴. El bronce está compuesto frecuentemente de cobre (80 o 95 %) y estaño (5 o 20 %) y, a menudo, en más pequeñas proporciones, por otros metales como zinc y plomo⁴⁵⁵. El estaño no se ve afectado al aire o al agua a temperaturas naturales, por lo que se ha utilizado para proteger objetos hechos de metales y aleaciones menos estables⁴⁵⁶. El latón es una aleación amarilla de cobre y zinc, considerada dúctil y maleable (generalmente es más maleable y dúctil que el cobre puro), compuesto del 60 al 85 % de cobre y del 15 al 40 % de zinc y, ocasionalmente, por pequeñas cantidades de otros metales⁴⁵⁷.

El bronce fue ampliamente utilizado en la forma fundida y modelada⁴⁵⁸, porque se derrite a temperaturas más bajas que el cobre, y es más adecuado para operaciones de fundición⁴⁵⁹. Es también más duro y tiene mayor resistencia a la tracción que el cobre, pero es menos maleable. El punto de fusión, el color y las propiedades mecánicas varían también según la cantidad de estaño presente en la aleación⁴⁶⁰.

Expuestos al medio ambiente, los objetos de bronce crean una pátina de carácter estable⁴⁶¹. El cobre expuesto a la intemperie —metal principal del bronce— solo será corroído mientras la superficie se limpia de la pátina, esto es, debido a algún desgaste físico o climático, por ejemplo. Sin embargo, en el suelo los productos de corrosión del cobre suelen ser más complejos, pues sufren procesos de corrosión diferentes, que involucran la combinación con otros elementos (Tabla 6).

⁴⁵⁴ *Ibid.*, p. 171.

⁴⁵⁵ *Ibid.*, p. 170.

⁴⁵⁶ *Ibid.*, p. 184.

⁴⁵⁷ *Idem.*

⁴⁵⁸ *Ibid.*, p. 169.

⁴⁵⁹ *Ibid.*, p. 170.

⁴⁶⁰ *Idem.*

⁴⁶¹ *Ibid.*, p. 169.

Tabla 6. Productos de la corrosión del cobre arqueológico⁴⁶²

Nombre	Fórmula	Color
Antlerita	$\text{Cu}_3(\text{OH})_4\text{SO}_4$	Verdoso
Atacamita	$\text{CuCl}_2 \cdot 3\text{Cu}(\text{OH})_2$	Verdoso
Azurita	$\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$	Verdoso
Brocantita	$\text{Cu}_4(\text{OH})_6\text{SO}_4$	Verdoso
Carbonato de cobre	CuCO_3	Verdoso
Calcocita	Cu_2S	Negro
Chalcocianita	CuSO_4	Azulado
Cloruro de cobre (II)	CuCl_2	Verdoso
Covelita	CuS	Negro
Cuprita	Cu_2O	Marrones
Malaquita	$\text{Cu}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2$	Verdoso
Natoquita	CuCl	Verdoso
Posnjaquita	$\text{Cu}_4(\text{OH})_6\text{SO}_4\text{H}_2\text{O}$	Verdoso
Paratacamita	$\text{Cu}_3(\text{Cu,Zn})(\text{HO})_6\text{Cl}_2$	Verdoso
Tenorita	CuO	Negro

La corrosión del cobre arqueológico está compuesta usualmente de una costra que varía en su color entre tonos verdes a azules, compuesta principalmente por carbonatos de cobre, azurita y malaquita⁴⁶³. El latón podría generar porciones blancas resultantes de la corrosión del zinc, pero esto es raro, una vez que este producto de corrosión tiende a disolverse en los yacimientos⁴⁶⁴. Sin embargo, los bronce con alto contenido de plomo pueden presentar puntos de concentración de carbonato de plomo blanco⁴⁶⁵.

Las pátinas estables del cobre y sus aleaciones son generalmente adherentes y lisas. Cuando un bronce permanece largo tiempo enterrado en suelos húmedos la capa de óxido formada se va espesando. En presencia del oxígeno y la humedad, el cobre expuesto se oxida formando una película negra de tenorita y luego cuprita⁴⁶⁶ (que es marrón rojiza). El proceso de corrosión del cobre sigue con la formación de otras capas de cuprita extruidas, en combinación con carbonatos y otros componentes en la superficie más externa⁴⁶⁷. No es raro que la

⁴⁶² Tabla basada en MENNUCCI, Marina Martins. *Estudo da corrosão do cobre em meios de sulfato e de cloreto com auxílio do microeletrodo com cavidade e de uma microcélula* [tesis doctoral]. París (Francia): Université Pierre et Marie Curie-Paris, 2011, (Leygraf e Graedel, 2000; Hernández, 2009) p. 28, tabla 2.2; y en ANTHONY, John W.; BIDEAUX, Richard A.; BLADH, Kenneth W. y NICHOLS, Monte C. *Handbook of Mineralogy*, op. cit.

⁴⁶³ LOGAN, Judy. Identifying Archaeological Metal. *CCI Notes* [en línea]. 2007, vol. 4, n.º 1 [consulta: 10/10/2021]. Disponible en: <https://bit.ly/3iQbjdm>, p. 2.

⁴⁶⁴ *Ibid.*

⁴⁶⁵ *Ibid.*

⁴⁶⁶ RODGERS, Bradley A. *The archaeologist's manual for conservation: a guide to non-toxic, minimal intervention artifact stabilization*, op. cit., p. 109.

⁴⁶⁷ CRONYN, Janet Margaret. *Elements of archaeological conservation*, op. cit., pp. 217 y 218.

superficie original del objeto se mantenga dentro de la capa de cuprita de los depósitos internos y los extruidos. Donde la extrusión de cobre ocurre lentamente, se desarrolla una pátina compacta, pero donde es más rápida, se forma una costra que, a veces, produce «verrugas» en la superficie y, en seguida, la pérdida de la superficie original dentro de la verruga⁴⁶⁸ (Figura 27).

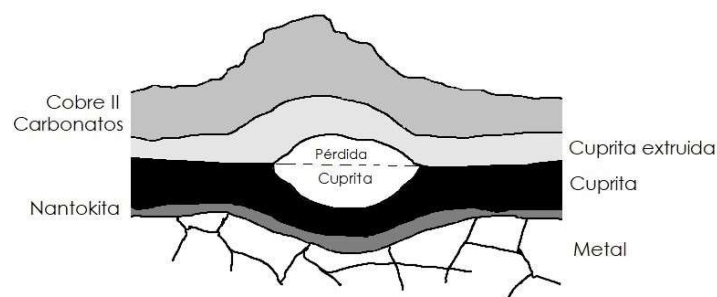


Figura 27. Degradación de aleación del cobre⁴⁶⁹

Cuando el bronce se contamina por sales higroscópicas, como los cloruros del suelo o de ambientes marinos, se forma una capa acuosa agresiva que promueve la aceleración del proceso de corrosión activa grave, así como en el hierro contaminado⁴⁷⁰. Además de los cloruros, esto ocurre si el bronce está afectado por nitratos⁴⁷¹. La corrosión activa del cobre y sus aleaciones puede ser diagnosticada por la presencia de un polvo verde luminoso con una textura en erupción y/o manchas y la presencia de cloruros de cobre (como la nantokita, atacamita o paratacamita). En presencia de oxígeno los cloruros generan cloruros cuprosos y estos se convierten en ácido clorhídrico y óxido de cobre en presencia de humedad⁴⁷². Esto genera imperfecciones a las cuales se denomina «enfermedad del bronce» (Figura 28).

⁴⁶⁸ *Ibid.*, pp. 218 y 219.

⁴⁶⁹ Leidheiser, H., 1971, citado en *ibid.*, p. 219, figura 5.9.

⁴⁷⁰ LEYGRAF, Christofer; WALLINDER, Inger Odnevall; TIDBLAD, Johan y GRAEDEL, Thomas. *Atmospheric corrosion*, op. cit., p. 96.

⁴⁷¹ Angelucci, S., 1978, citado en ESPAÑA, Tomás; MONTIEL, Vicente; LÓPEZ-SEGURA, Marcelo y ALDAZ, Antonio. *Limpieza y restauración electroquímica de objetos arqueológicos metálicos*. *Lucentum*. 1985, n.º 4, p. 187.

⁴⁷² ZUPAN DE SALDÍAS, Vladimira. *Manual de conservación preventiva de material arqueológico in situ*. Lima (Perú): Instituto Nacional de Cultura; Centro Nacional de Información Cultural, 2005, p. 10.

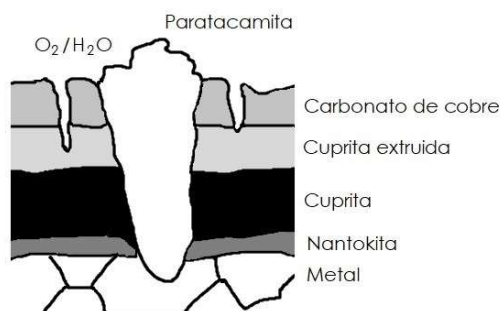


Figura 28. Enfermedad del bronce⁴⁷³

Al igual que con el hierro, cuando la RH % es alta después de la excavación, la corrosión de objetos contaminados con cloruros es activada. El artefacto puede rápidamente desarrollar la «enfermedad del bronce». Las aleaciones con pátinas pasivas y en buenas condiciones generales se pueden mantener estables a un acondicionamiento inferior al 50-55 % de RH⁴⁷⁴.

3.4.3. Plomo

El plomo es un metal gris, blando y dúctil. No se encuentra en la naturaleza en forma metálica, pero la fundición se hace muy fácilmente en hornos sencillos, de leña o carbón vegetal y con un suministro de aire⁴⁷⁵. El plomo es muy venenoso, pero sus propiedades tóxicas probablemente no eran desconocidas para los antiguos, que lo utilizaban ostensivamente por su fácil fabricación.

La aleación de plomo ha sido compuesta a menudo con un porcentaje de estaño (hasta el 30 %) para producir principalmente aleación de soldadura⁴⁷⁶. El peltre es una aleación de plomo con un alto contenido de estaño, y el peltre de Britania es una aleación con alto contenido de estaño, antimonio y cobre⁴⁷⁷.

Debido principalmente a su facilidad de fundición, el plomo fue ampliamente utilizado para la construcción, para hacer tuberías y tejados, y en la

⁴⁷³ Basado en CRONYN, Janet Margaret. *Elements of archaeological conservation*, op. cit., p. 227, figura 5.11.

⁴⁷⁴ LEYGRAF, Christofer; WALLINDER, Inger Odnevall; TIDBLAD, Johan y GRAEDEL, Thomas. *Atmospheric corrosion*, op. cit., p. 96.

⁴⁷⁵ GOFFER, Zvi. *Archaeological chemistry*, op. cit., p. 181.

⁴⁷⁶ *Ibid.*

⁴⁷⁷ LOGAN, Judy. *Identifying Archaeological Metal*, op. cit., p. 2.

construcción naval⁴⁷⁸. Se utilizó para producir munición, juegos de dados y pesas de redes de pesca, entre otros artículos⁴⁷⁹. El revestimiento de plomo también se utilizó para combatir el *hull foul* del casco en barcos de madera⁴⁸⁰, que es el resultado de la acumulación de crecimiento biológico marino en el casco.

El plomo recién fundido tiene un aspecto plateado brillante que, al exponerse a la atmósfera, se combina con el oxígeno y dióxido de carbono formando una capa gris oscura y estable (protectora) de mezcla de óxido y carbonato de plomo básico⁴⁸¹. Como resultado de la corrosión, en el plomo arqueológico es común encontrarnos una capa blanca suave de carácter protector, hecha de cerusita, carbonato de plomo y/o hidrocerusita (Tabla 7)⁴⁸²:

Tabla 7. Productos de la corrosión del plomo arqueológico⁴⁸³

Nombre	Fórmula	Color
Anglesita	PbSO ₄	Incoloro a blanco
Cerusita	PbCO ₃	Incoloro, blanco, amarillo pálido
Cotunita	PbCl ₂	Incoloro a blanco, verde pálido, amarillo pálido
Fosgenita	Pb ₂ (CO ₃)Cl ₂	Amarillo pálido a marrón amarillento
Galena	PbS	Gris plomo
Hidrocerusita	Pb ₃ (CO ₃) ₂ (OH) ₂	Incoloro a blanco, gris
Litargirio	PbO	Rojo; rojo a rojo anaranjado en luz transmitida

El contacto con el aire, el agua y ácidos orgánicos corroe el plomo rápidamente y los productos primarios de esta corrosión son solubles, mientras otros productos de corrosión del plomo son, al contrario, bastantes insolubles y causan incrustaciones⁴⁸⁴.

En aguas blandas y ácidas, cuando no se forman capas protectoras, la corrosión es también rápida. Mientras tanto, el plomo es muy resistente a la corrosión por el agua del mar, y en suelos calcáreos se mantiene protegido bajo

⁴⁷⁸ GOFFER, Zvi. *Archaeological chemistry, op. cit.*, p. 182 (traducción nuestra).

⁴⁷⁹ RODGERS, Bradley A. *The archaeologist's manual for conservation: a guide to non-toxic, minimal intervention artifact stabilization, op. cit.*, p. 127.

⁴⁸⁰ *Ibid.*

⁴⁸¹ GOFFER, Zvi. *Archaeological chemistry, op. cit.*, p. 182.

⁴⁸² CRONYN, Janet Margaret. *Elements of archaeological conservation, op. cit.*, pp. 202-204.

⁴⁸³ Basado en ANTHONY, John W.; BIDEAUX, Richard A.; BLADH, Kenneth W. y NICHOLS, Monte C. *Handbook of Mineralogy, op. cit.*

⁴⁸⁴ CRONYN, Janet Margaret. *Elements of archaeological conservation, op. cit.*, p. 202-210.

una capa de corrosión. Sin embargo, a veces la corteza se distorsiona y pica el metal, alterando mucho los detalles originales⁴⁸⁵.

La capa que se forma en el plomo en el mar puede incluir los sulfatos de plomo blanco, anglesita y leadhillita, y ser contaminada con fosgenita y otros cloruros del mar⁴⁸⁶. En situación aeróbica el plomo se corroerá menos que en situación anaeróbica. «La corrosión aeróbica del plomo forma una capa externa eléctricamente pasiva de sulfato de plomo (PbSO₄, anglesita). El plomo anaeróbico se corroe más rápido que el plomo aeróbico y la versión mineralizada está dominada por el ion sulfuro (PbS, galena)»⁴⁸⁷.

La estabilización de los artefactos de plomo después de la excavación ha de realizarse, igualmente a los otros metales arqueológicos, por la estabilización de la RH %. Otros cuidados de conservación mayores para los plomos excavados son en relación a los objetos contaminados con impurezas de cloruro y azufre, que se presentan muy reactivos. Es importante el control ambiental del local y de su acondicionamiento para evitar su contacto con ácidos orgánicos disueltos en el aire que reaccionarían rápidamente con él⁴⁸⁸. Debe evitarse papel cartón, maderas y otros elementos de acondicionamiento que son fuentes de ácidos orgánicos en forma de vapores, como el ácido fórmico o el formaldehído⁴⁸⁹.

3.5. Degradación de materiales silíceos

Los minerales que componen los artefactos de sílice se encuentran en los suelos y en las rocas. En realidad, además de los grupos de artefactos cuya materia prima sea el sílice (es el dióxido de silicio, SiO₂), este grupo también contempla algunos artefactos y materiales basados en carbonatos (la calcita, CaCO₃) y sulfatos (como el *gypsum*, CaSO₄·2H₂O)⁴⁹⁰.

En comparación con otros materiales silíceos, los artefactos de piedra suelen estar en muy buenas condiciones después de la excavación. Son densos, inertes y

⁴⁸⁵ *Idem*.

⁴⁸⁶ *Ibid.*, pp. 202-204.

⁴⁸⁷ RODGERS, Bradley A. *The archaeologist's manual for conservation: a guide to non-toxic, minimal intervention artifact stabilization*, *op. cit.*, p. 127 (traducción nuestra).

⁴⁸⁸ CRONYN, Janet Margaret. *Elements of archaeological conservation*, *op. cit.*, p. 208.

⁴⁸⁹ *Idem*.

⁴⁹⁰ *Ibid.*, p. 102.

químicamente estables. Pero, aun así, dependiendo de la constitución mineralógica, la textura y estructura pueden haber pasado por algunos procesos de degradación irreversibles. Los monumentos y estructuras constructivas de piedra se deterioran cuando son expuestas a condiciones de intemperie donde hay contaminación ambiental, como dióxido de azufre que reacciona con el mármol⁴⁹¹. Las rocas sedimentarias porosas son relativamente aun más inestables, pues son más atacadas por el pH bajo. La piedra sedimentaria puede oxidarse en depósitos oxigenados húmedos si el pH baja. Tienen los carbonatos, óxidos de hierro y el feldespato lixiviados en bajo pH. Las calizas también son atacadas por altos niveles de dióxido de carbono. La presencia de cualquier objeto ferroso en el artefacto hecho de roca sedimentaria causará fracturas en las áreas vecinas⁴⁹².

Aunque las rocas son la base de los campamentos loberos-balleneros de Livingston, no son un grupo importante entre los artefactos del grupo silíceos rescatados. Los que más nos interesan en esta investigación son los vidrios y los materiales cerámicos. Estos materiales se caracterizan por tener una estructura inorgánica, ser cristalinos, rígidos, variando la composición, manufactura, textura, apariencia y porosidad⁴⁹³. Los vidrios y los materiales cerámicos son susceptibles a las degradaciones, los problemas generados por la presencia de agua y sales solubles, especialmente los materiales más porosos, como algunas cerámicas, o por las roturas.

Diversas son las fuentes de la contaminación con sales de los materiales arqueológicos: polución ambiental, composición del suelos, corrientes de agua, el viento, o los materiales constructivos⁴⁹⁴. Así, las sales solubles pueden venir del propio yacimiento o bien venir a contaminar los objetos después de la excavación, por medio del viento marinos, o locales de concentración de COV (compuestos orgánicos volátiles). Si bien este problema ocurre con todos los objetos contaminados con sales, es en los morteros que componen estructuras de

⁴⁹¹ GOFFER, Zvi. Physical studies of archaeological materials. *Reports on Progress in Physics*. 1983, vol. 46, n.º 10, p. 1223.

⁴⁹² CRONYN, Janet Margaret. *Elements of archaeological conservation*, op. cit., p. 108.

⁴⁹³ *Ibid.*, p. 102.

⁴⁹⁴ LORENZO MORA, Francisca y CARRASCOSA MOLINER, Begoña. Influencia de los aditivos orgánicos naturales en la resistencia a la cristalización de sales en morteros tradicionales de cal con distinto árido. Análisis del caso: sitio arqueológico La Blanca, Petén, Guatemala. *Devenir-Revista de estudios sobre patrimonio edificado*. 2019, vol. 6, n.º 12, p. 16.

edificaciones y en los objetos cerámicos en los que el patrón de degradación por sales es más predominante.

Cuando el entorno de estos materiales silíceos porosos contaminado por sales se seca, retienen las sales en su interior. Cuando la solución concentrada de sal en los poros se cristaliza, ejerce una presión dañina y eruptiva sobre la pared de los poros de los materiales⁴⁹⁵. Si la humedad en el entorno de este objeto vuelve a subir, las sales se hidratan otra vez y llevan el agua a su estructura cristalina, aumentando la presión interna. Si la humedad relativa cae ligeramente, el agua que desprenden los cristales también sigue causando daños por presión⁴⁹⁶:

«Este aumento de volumen produce presiones de cientos, si no miles, de atmósferas. Tal daño puede ser muy rápido, por ejemplo, el Na_2SO_4 se hidrata a $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ en veinte minutos, necesitando solo un ligero aumento de la humedad relativa»⁴⁹⁷.

La acumulación de sales y las degradaciones resultantes tienden a ocurrir más en la superficie de los materiales, pues cuando seca el aire las sales son arrastradas hacia la superficie por fuerza de la capilaridad (Figura 29). Estas sales, al cristalizar, pueden aún generar daños irreversibles en sus decoraciones de engobes, esmaltes y pinturas. Los daños son aún más evidentes en superficies de objetos con pintura o barniz. Bajo estas capas se acumulan concentraciones de sal extremadamente altas⁴⁹⁸.

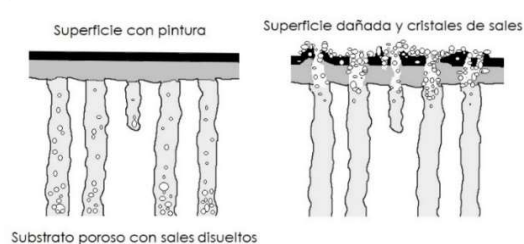


Figura 29. Daños hechos por la salida de la sal⁴⁹⁹

⁴⁹⁵ CRONYN, Janet Margaret. *Elements of archaeological conservation*, op. cit., p. 103.

⁴⁹⁶ *Idem*.

⁴⁹⁷ *Idem*. (traducción nuestra).

⁴⁹⁸ *Idem*. (traducción nuestra).

⁴⁹⁹ Basado en JOHNSON, Jessica S. Soluble salts and deterioration of archaeological materials. *Conserve O Gram*. 1998, vol. 6, n.º 5, p. 1, figuras 1 y 2.

Lorenzo y Carrascosa (2019)⁵⁰⁰, en el estudio acerca de la cristalización de sales en morteros tradicionales de cal para construcciones prehistóricas de la cultura maya en Guatemala, explican acerca de las diferencias involucradas en la formación y los problemas de las eflorescencias en las superficies y en las subsuperficies:

«Las eflorescencias tienen lugar en ambientes con temperatura moderada, alta humedad y viento suave, que favorece una evaporación lenta y gradual, lo que permite que la solución salina salga al exterior y se cristalice sobre la superficie. Por el contrario, si el ambiente es muy cálido, seco y con fuertes vientos, favorecerá una evaporación rápida y la cristalización interna de las sales⁵⁰¹. [...] Las subeflorescencias de aquellas sales susceptibles de varios estados de hidratación son las más peligrosas, ya que, al aumentar la humedad, el crecimiento de volumen ejercerá una fuerte presión sobre las paredes de los capilares, llevando a su rotura. Este proceso cíclico producirá la arenización del material bajo una costra dura superficial que terminará por desprenderse»⁵⁰².

Un daño similar es provocado por la presión interna causada por los efectos de la expansión del agua al congelarse en los poros de los materiales arqueológicos. El daño es creciente cuando la expansión es recurrente, como en un clima de congelación/deshielo como el polar⁵⁰³.

Igual que el daño puede suceder en el entierro, es mucho más probable que ocurra después de la excavación debido a las fluctuaciones bruscas de RH⁵⁰⁴. Si los materiales silíceos rescatados en yacimientos están descompuestos y húmedos, es posible que el agua los mantenga unidos y, cuando sequen, vengán a presentar

⁵⁰⁰ LORENZO MORA, Francisca y CARRASCOSA MOLINER, Begoña. Influencia de los aditivos orgánicos naturales en la resistencia a la cristalización de sales en morteros tradicionales de cal con distinto árido. Análisis del caso: sitio arqueológico La Blanca, Petén, Guatemala, *op. cit.*, p. 16.

⁵⁰¹ Torraca, 2009, citado en *ibid.*, p. 16.

⁵⁰² Mas-Guindal et al., 1999, citado en *ibid.*, p. 16.

⁵⁰³ CRONYN, Janet Margaret. *Elements of archaeological conservation*, *op. cit.*, p. 104.

⁵⁰⁴ *Ibid.*, p. 103.

problemas de degradación y descomposición física no únicamente relacionados con la acción de la presencia de sales en los poros. El secado después de la excavación puede pulverizar y desmoronar materiales. La descomposición química de los silicatos ocurrida en el yacimiento en presencia de agua suele ser lenta, pero es reforzada por las condiciones alcalinas. El carbonato de calcio, por su parte, se disuelve lentamente en bajo pH y niveles elevados de dióxido de carbono⁵⁰⁵.

La fragmentación de los utensilios de vidrio y cerámica en la manipulación después del rescate es también un factor importante de degradación del grupo de los materiales silíceos. Sin embargo, las roturas pueden ser resultado de la acción que sucede *in situ*, y no necesariamente un evento que provocó su abandono. Los utensilios como vasos, platos, ánforas, pipas y otros contenedores que presentan una forma cóncava o cilíndrica pueden romperse ante la presión provocada por los movimientos de tierra o por el peso y la acumulación de esta sobre ellos. Los envases vacíos que se encuentran bajo un estrés considerable, cuando se rompen lo hacen de forma que los fragmentos se reparten por el espacio. O bien, después del rescate, los impactos generados por inadecuados sistemas de acondicionamiento, manejo y transporte, provocan fisuras, rotura, abrasión y la pérdida de pintura o esmalte⁵⁰⁶.

3.5.1. Vidrio

El vidrio se obtiene básicamente de la fusión de la arena de sílice (SiO_2) con otros elementos, como el carbonato de sodio (Na_2CO_3) y caliza (CaCO_3) y, en menor cantidad, MgO , Fe_2O_3 y SO_3 —generados por las impurezas existentes—⁵⁰⁷. Las impurezas suelen representar menos del 5 % de la masa total del vidrio⁵⁰⁸. Algunas de las propiedades de los vidrios, como el color y la temperatura de fusión, están determinadas por componentes minoritarios agregados en la composición⁵⁰⁹.

⁵⁰⁵ *Ibid.*, p. 105.

⁵⁰⁶ *Ibid.*, p. 150.

⁵⁰⁷ KOČÁRKOVÁ, Helena. *Stability of glass foams: experiments at the bubble scale and on vertical film* [tesis doctoral]. París (Francia): Université Paris Est, 2011.

⁵⁰⁸ GOFFER, Zvi. *Archaeological chemistry*, op. cit., p. 120.

⁵⁰⁹ *Idem.*

La arena de sílice requiere una temperatura por encima de 1700°C para fundirse y transformarse en vidrio. El vidrio de soda es un tipo muy común que agrega en su formulación materiales fundentes, como soda y potasa, para reducir la temperatura de fusión de la arena de sílice a menos de 1000°C —una temperatura más fácil de alcanzar con las tecnologías de los siglos anteriores—⁵¹⁰. La soda (compuesta de óxido de sodio) y potasa (compuesta de óxido de potasio)⁵¹¹ es relativamente fácil de obtener y manipular. No ocurre naturalmente, pero se prepara fácilmente quemando algunas plantas⁵¹².

El *sodalime glass*, o vidrio de cal y soda, es un tipo más estable. Hasta el siglo XIX la mayor parte de los vidrios producidos fueron de soda⁵¹³. La cal es un estabilizador de la mezcla y hace el vidrio resistente al deterioro⁵¹⁴. Un vidrio de cal antiguo suele contener en su formulación cerca del 60-75 % de sílice, 15-30 % de soda y 8-15 % de cal, y entre 10% hasta menos del 1 % de óxidos de hierro (agregados involuntariamente)⁵¹⁵.

En el siglo XIX las botellas de vidrio eran hechas tradicionalmente en Europa por medio de tubo soplador de forma cilíndrica (*blowpipe*)⁵¹⁶. La forma de los hombros, cuello y boca de las botellas eran hechas manualmente, mientras el resto era soplado dentro de un molde⁵¹⁷. Había algunos problemas con estas técnicas manuales, como la falta de simetría de los cuerpos de las botellas en la forma y también en la espesura, lo que generaba una fragilidad mayor en cuanto a la posibilidad de ruptura⁵¹⁸. Todavía en esta época las bebidas eran también almacenadas en barriles y toneles, y no exactamente en botellas⁵¹⁹.

El vidrio con plomo es un tipo que lleva óxido de plomo, un modificador que genera baja temperatura de fusión, alta densidad y brillo característico⁵²⁰. El vidrio

⁵¹⁰ *Ibid.*, p. 115.

⁵¹¹ *Ibid.*, p. 117 (en inglés, *soda y potash*).

⁵¹² *Idem*.

⁵¹³ Plenderleith, 1971; Singley, 1988, citados en RODGERS, Bradley A. *The archaeologist's manual for conservation: a guide to non-toxic, minimal intervention artifact stabilization*, op. cit., p. 147.

⁵¹⁴ GOFFER, Zvi. *Archaeological chemistry*, op. cit., p. 118.

⁵¹⁵ *Ibid.*, p. 119.

⁵¹⁶ SIQUEIRA, André. *Histórias embriagadas: uma análise diferenciada sobre garrafas de sítios foqueiros na Antártica nos séculos XVIII e XIX* [trabajo fin de grado]. Belo Horizonte (Brasil): Universidade General de Minas Gerais, 2014, p. 12.

⁵¹⁷ *Ibid.*, p. 14.

⁵¹⁸ *Ibid.*, p. 12.

⁵¹⁹ *Ibid.*, p. 16.

⁵²⁰ CRONYN, Janet Margaret. *Elements of archaeological conservation*, op. cit., p. 120.

resultante exhibe un índice de refracción más alto que otros vidrios, por lo que es llamado «cristal»⁵²¹. El punto de trabajo de un vidrio con alto contenido de plomo se reduce a aproximadamente 850°C y suele utilizar a menudo el litarge también como materia prima⁵²².

El color del vidrio generalmente se debe a la presencia, sea intencional o no, de cantidades pequeñas de óxidos metálicos. El óxido de hierro, por ejemplo, es un agente colorante común en los vidrios antiguos y modernos y que produce el vidrio verdoso. Menos del 1 % de óxido de hierro es generalmente suficiente para dar al vidrio verde su color característico⁵²³. La garrafa inglesa, popular en el contexto lobero-ballenero, era de color verde oscuro, casi negro⁵²⁴.

Al igual que la degradación del vidrio arqueológico no está totalmente comprendida por los estudiosos, los conservadores aceptan que el deterioro se acelera por la hidrólisis de modificadores y estabilizadores del vidrio⁵²⁵. Los yacimientos húmedos, alcalinos y el agua del mar son particularmente agresivos para los vidrios. En estos ambientes los objetos pueden sufrir el pulido por la erosión y la abrasión sistemática en su estructura y bordes. También puede ser patinado en ambientes alcalinos, con la formación de costras, residuos pulverulentos, amorfos y opacos, alterando la estabilidad estructural del objeto. Las incrustaciones de sales solubles pueden también causar un depósito blanquecino dentro de las capas deterioradas⁵²⁶.

El agua corriente en los yacimientos conduce a la desintegración de vidrios de soda y de potasio, pues estos elementos son muy solubles⁵²⁷. Vidrierías ricas en calcio y potasio también son sensibles al ataque del dióxido de azufre generado por contaminante. En estas situaciones los sulfatos de calcio y potasio que se forman son lixiviados por el agua de lluvia⁵²⁸.

⁵²¹ SCHOENUNG, Julie M. Lead Compounds. En: J. F. SHACKELFORD y R. H. DOREMUS, eds. *Ceramic and glass materials: structure, properties and processing*. Boston: Springer, 2008, p. 156.

⁵²² *Ibid.*

⁵²³ GOFFER, Zvi. *Archaeological chemistry*, op. cit., p. 120.

⁵²⁴ SIQUEIRA, André. *Histórias embriagadas: uma análise diferenciada sobre garrafas de sítios foqueiros na Antártica nos séculos XVIII e XIX*, op. cit., p. 13.

⁵²⁵ RODGERS, Bradley A. *The archaeologist's manual for conservation: a guide to non-toxic, minimal intervention artifact stabilization*, op. cit., p. 147.

⁵²⁶ CRONYN, Janet Margaret. *Elements of archaeological conservation*, op. cit., p. 134.

⁵²⁷ GOFFER, Zvi. *Archaeological chemistry*, op. cit., p. 117.

⁵²⁸ Ferrazzini, 1978, citado en GOFFER, Zvi. *Physical studies of archaeological materials. Reports on Progress in Physics*. 1983, vol. 46, n.º 10, p. 1225.

Los procesos llamados de *layering*⁵²⁹ o *devitrification*⁵³⁰ son cambios estéticos que surgen en vidrios deteriorados. Los iones de metales alcalinos (R +) se lixiviaron lentamente para ser reemplazados por protones (H +) del agua. La capa superficial pierde su naturaleza vítrea y el índice de refracción característico y, por lo tanto, parece opaco o iridiscente. Sin embargo, si se introduce agua en la estructura de este vidrio erosionado, las imperfecciones del índice de refracción se borran y la desintegración no es más visible⁵³¹. Si el vidrio está mojado, su verdadero estado de degradación puede estar enmascarado por el agua⁵³². La laminación de las capas de sílice del vidrio provoca a menudo la iridiscencia que se ve con frecuencia en la superficie del vidrio antiguo⁵³³ arqueológico.

Otras variantes de ataques hidrolífticos del vidrio asociados a cambios estéticos son el *weeping glass* y el *crizzling*. El primer tipo ocurre independientemente del vidrio que sea y/o de que provenga de yacimientos arqueológicos, siendo propio de vidrios fabricados con álcalis, particularmente el potasio. En condiciones de alta humedad, las gotas de la solución alcalina producida aparecen en la superficie del objeto⁵³⁴. Se pueden formar gotas en la superficie si hay una humedad relativa alta (por encima del 55 %) o baja (por debajo del 40 %) ⁵³⁵. El *crizzling*, por su parte, es la transparencia disminuida debido al agrietamiento superficial que resulta del ataque químico del agua sobre vidrios (como en vidrios deficientes en *lime*, o cal, entre los *soda-lime glass*)⁵³⁶.

Después del rescate, caso de los vidrios entre muy deteriorados y mojados, es necesario controlar el secado para no provocar fragmentación y pérdidas. La estabilidad de la humedad relativa del ambiente de almacenamiento es necesaria para evitar las alteraciones estéticas de los artefactos de vidrio degradados.

⁵²⁹ CRONYN, Janet Margaret. *Elements of archaeological conservation*, op. cit., p. 133.

⁵³⁰ HAMILTON, Donny L. *Methods of conserving archaeological material from underwater sites*, op. cit.

⁵³¹ CRONYN, Janet Margaret. *Elements of archaeological conservation*, op. cit., p. 131.

⁵³² *Idem*.

⁵³³ GOFFER, Zvi. *Physical studies of archaeological materials*, op. cit., p. 1225.

⁵³⁴ *Ibid.*, pp. 1224 y 1225.

⁵³⁵ CORNING MUSEUM OF GLASS. *The Stages of Crizzling* [en línea]. Nueva York: The Corning Museum of Glass, 8/12/2011 [consulta: 13/05/2021]. Disponible en: <https://www.cmog.org/article/crizzling>.

⁵³⁶ GOFFER, Zvi. *Physical studies of archaeological materials*, op. cit., pp. 1224 y 1225.

3.5.2. Materiales cerámicos

Como materiales cerámicos llamaremos a los objetos hechos por medio del modelado y quema de la arcilla. Químicamente, las arcillas están compuestas por óxidos de silicio, aluminio e hidrógeno (dióxido de silicio, trióxido de aluminio y agua), en una proporción de peso que puede expresarse mediante la fórmula general: $Al_2O_3 \cdot SiO_2 \cdot 2H_2O$ ⁵³⁷. Todos los materiales cerámicos producidos son refractarios, resisten altas temperaturas, son rígidos y resistentes a la intemperie y a los productos químicos, pero sufren fractura fácilmente.

La arcilla es el componente esencial de los diversos materiales cerámicos que conocemos, aunque no es el único. El *pottery* (alfarería) es uno de los primeros tipos de materiales cerámicos hechos por el hombre. Combina los cuatro elementos básicos: tierra (arcilla), agua, aire y fuego⁵³⁸. Cuando la pasta de arcilla se moldea en la forma deseada, luego se seca y finalmente se calienta a alta temperatura para consolidarse (por encima de 600°C)⁵³⁹.

Las pastas cerámicas son una mezcla de materias hidratadas acrecidas a la arcilla, para darle mejor plasticidad, tenacidad, resistencia, entre otras⁵⁴⁰. Algunos rellenos, como la arena y la piedra ígnea triturada, son estables al calor y no se alteran durante la cocción. Otros, sin embargo, sufren cambios radicales cuando se calientan a altas temperaturas, como la materia orgánica, que se oxida⁵⁴¹. Las propiedades físicas que caracterizan el producto final de las pastas cerámicas son la porosidad, resistencia, color y opacidad.

Podemos clasificar los materiales cerámicos en cuatro tipos básicos de composición: terracota, loza, gres y porcelana. La terracota se genera con una cocción a menos de 900°C, la porosidad es mayor del 25 % y la apariencia es opaca. La loza se hornea con una temperatura superior a 950°C, la porosidad es hasta del 10 % y la apariencia es opaca. El gres se consigue con una cocción entre 1100 y 1300°C, la porosidad es de hasta el 5 % y la apariencia es opaca. La

⁵³⁷ GOFFER, Zvi. *Archaeological chemistry, op. cit.*, p. 232.

⁵³⁸ *Ibid.*, p. 237.

⁵³⁹ *Idem.*

⁵⁴⁰ *Ibid.*, p. 240.

⁵⁴¹ *Idem.*

porcelana se quema entre 1300 y 1450°C, la porosidad es menor del 2 % y la apariencia es translúcida⁵⁴².

La nomenclatura para determinar la composición de los materiales cerámicos no llega a un consenso, pero es posible hablar de algunos elementos en su composición que dan la diferencia entre los diversos tipos. Por ejemplo, la composición clásica de una porcelana contiene 25 % de cuarzo, 25 % de feldespato y 50 % de caolín (% en peso), mientras el gres y las cerámicas semivítreas tienen en su composición proporción mayor de contenido de cuarzo⁵⁴³.

Los principales objetos de materia cerámica que encontramos en Livingston son las pipas rotas de pasta de caolín y los fragmentos de utensilios de gres (esmaltado, o *glazes*). El caolín es un silicato de aluminio⁵⁴⁴, un material fino muy presente en las pastas cerámicas de porcelana. Imparte a los objetos el color blanco, la opacidad, plasticidad, resistencia a la cocción, capacidad de refracción, baja o cero absorción de agua y control en el encogimiento o contracción⁵⁴⁵. El gres es un material cerámico muy utilizado para vajillas, está compuesto con granos finos y produce materiales cerámicos de baja porosidad y color gris. El gres es resistente al frío, posee alta resistencia y durabilidad⁵⁴⁶.

Conocer el grado de porosidad de los diferentes tipos de materiales cerámicos es importante para los conservadores, pues la porosidad determina el grado de absorción de agua, sales y otros solutos, lo que influye mucho en el estado de degradación de los materiales cerámicos arqueológicos. La porosidad está definida en gran medida por la materia prima utilizada y el grado de vitrificación generado en la cocción⁵⁴⁷. Cuanto menor sea la porosidad, mayor también es la calidad de un material cerámico, pues tiende a presentar mayor vitrificación, menos porosidad y, consecuentemente, más translucidez. Puede ser también más

⁵⁴² *Ibid.*, p. 246.

⁵⁴³ BRAGANÇA, S. R.; ZIMMER, A. y PEDRASSANI, J. Uma revisão sobre a terminologia e classificação das cerâmicas brancas. *Cerâmica*. 2019, vol. 65, n.º 375, p. 486.

⁵⁴⁴ GOFFER, Zvi. *Archaeological chemistry*, op. cit., p. 67.

⁵⁴⁵ Murray, H., 2007, citado en VENEGAS, Patricia N. Olvera y HERNÁNDEZ CRUZ, Leticia E. El Caolín y sus aplicaciones industriales. *PÁDI Boletín Científico Ciencias Básicas e Ing. del ICBI* [en línea]. 2014, vol. 1, n.º 2. Doi: <https://doi.org/10.29057/icbi.v1i2.503>.

⁵⁴⁶ URBONAITĖ-UBĖ, Miglė. Stoneware from the 14th to the 17th centuries found in archaeological excavations in Vilnius. *Archaeologia Baltica*. 2018, vol. 25, pp. 191-202.

⁵⁴⁷ GOFFER, Zvi. *Archaeological chemistry*, op. cit., p. 246.

resistente a los choques mecánicos y térmicos⁵⁴⁸, si bien el formato del objeto cerámico también influye en la resistencia frente a los choques.

Los acabados de los materiales cerámicos no son únicamente decorativos, sino que les confieren impermeabilidad:

«La cerámica cocida es porosa, absorbe la humedad fácilmente y tiene superficie áspera. El acristalamiento, la aplicación de un revestimiento vítreo sobre la cerámica, a menudo es utilizado para dar protección contra la absorción de humedad, para ocultar superficies rugosas y con fines decorativos. En el pasado se utilizó un número limitado de óxidos para formar esmaltes: óxidos alcalinos (aplicados como carbonato de sodio, salitre o ceniza de perla) y óxido de plomo (como litargirio, blanco de plomo o galena) fueron los más utilizados. Otros incluyen óxido de magnesio y óxido de zinc. La cerámica de diferentes períodos a menudo se puede caracterizar por la composición del esmalte»⁵⁴⁹.

El alineamiento de las moléculas de arcillas en la superficie puede dejarla más compacta y brillante después de la cocción⁵⁵⁰. El color puede ser añadido por medio de la adición de grafito, hematites o polvo de mica (generan el color negro, negro/rojo o dorado, respectivamente)⁵⁵¹. Algunos de los modificadores de los esmaltes son el sodio, el potasio, el calcio y el plomo⁵⁵². Dado que el plomo se volatilizará a 1130°C, su presencia en un esmalte indica la temperatura máxima utilizada para la cocción de los objetos⁵⁵³.

En suelos húmedos el material cerámico mal cocido (*underfired earthenware*)⁵⁵⁴ se rehidrata gradualmente hasta convertirse en arcilla y se deshace. La degradación puede agravarse en aguas subterráneas ácidas o blandas por la pérdida de relleno de calcita o calcio⁵⁵⁵. Los suelos ácidos húmedos

⁵⁴⁸ *Idem.*

⁵⁴⁹ GOFFER, Zvi. *Physical studies of archaeological materials, op. cit.*, p. 1210 (traducción nuestra).

⁵⁵⁰ CRONYN, Janet Margaret. *Elements of archaeological conservation, op. cit.*, p. 144.

⁵⁵¹ *Idem.*

⁵⁵² *Idem.*

⁵⁵³ *Ibid.*, p. 145.

⁵⁵⁴ *Idem.*

⁵⁵⁵ *Idem.*

en general pueden deteriorar más fácilmente las superficies y los objetos hechos de arcilla porosa o los sometidos a una cocción deficiente⁵⁵⁶. La descomposición química de los silicatos generalmente es lenta, pero reforzada por condiciones alcalinas. La disolución del carbonato de calcio, por otra parte, se refuerza por un pH bajo o altos niveles de dióxido de carbono⁵⁵⁷.

Todos los materiales cerámicos muy porosos son muy susceptibles al deterioro por hielo o sales solubles. Los depósitos de sales insolubles se forman fácilmente en la cerámica porosa, particularmente en ambientes marinos donde las capas incrustadas consisten principalmente en carbonato de calcio y exoesqueletos de organismos⁵⁵⁸. El secado rápido después del rescate puede provocar la pulverización y la desintegración de las superficies cerámicas arqueológicas del mar. El control del secado y la desalinización de cerámicas contaminadas con sales son medidas clave para evitar daños irreversibles.

⁵⁵⁶ RENFREW, Colin y BAHN, Paul. *Arqueología: Teorías, Métodos y Prácticas*, op. cit., pp. 51-68.

⁵⁵⁷ CRONYN, Janet Margaret. *Elements of archaeological conservation*, op. cit., p. 105.

⁵⁵⁸ *Ibid.*, p. 146.



CAPÍTULO 4

Capítulo 4. Estudio de los tratamientos de conservación

4.1. Tratamientos de conservación en arqueología

El capítulo expone los principales tratamientos de conservación en arqueología mediante siete categorías de actuación: actividades interdisciplinarias, consolidación, extracción especial, acondicionamiento, limpieza, secado y pasivación de metales. Muchas veces los tratamientos *in situ* (pretratamientos) son en realidad una etapa de los tratamientos aplicados en el laboratorio (postratamiento), no siendo posible comprenderlos sin la comprensión de todo el proceso. En consonancia con esta conectividad, en este capítulo el postratamiento también será abordado.

Es clave decir que las actividades desarrolladas en esta tesis no contemplan los tratamientos de restauración. Aunque algunos tratamientos curativos generen resultados interesantes para presentaciones estéticas relacionadas con la restauración, como la consolidación, la restauración en el LEACH es un reto muy eventual. Como se indica en el capítulo 1, los métodos de conservación preventiva y curativa son el objetivo principal del tratamiento de la colección del laboratorio, tanto por las características de los materiales arqueológicos —fragmentados, muy frágiles y con muchos restos orgánicos—, como por los objetivos investigativos que la conservación apoya. La restauración y la musealización no han sido el enfoque del proyecto del LEACH hasta el momento.

Fue un desafío agrupar los tipos de tratamientos de conservación para exponerlos en esta tesis. Se hizo necesario, primero, encontrar una manera lógica de presentarlos, sin que la exposición de un método de tratamiento se repitiera como parte de otro. Esto sucede principalmente porque muchos tratamientos de conservación pueden ser aplicados complementariamente a otros tratamientos, siendo difícil comentarlos separadamente, como es el caso de la limpieza asociada a la consolidación por inmersión. La segunda dificultad para agrupar los tipos de tratamientos de conservación se produjo porque las fuentes bibliográficas revisadas frecuentemente discuten los tratamientos por materiales y no por objetivos. Sin embargo, seguir esta lógica de presentarlos por materiales y no por objetivos no resultaría eficaz para la escritura y presentación en esta tesis, pues

resultaría en una exposición de métodos demasiado repetitiva al paso que se presenta cada material.

4.1.1. Actividades interdisciplinarias

La conservación en campo es esencial para garantizar la calidad del trabajo de interpretación del material recuperado⁵⁵⁹. Como todas las prácticas arqueológicas, ya sea la documentación de campo, el muestreo o los análisis, el objetivo final de la conservación es dar soporte a la lectura del material arqueológico. Al mismo tiempo, preservar los hallazgos requiere de la cooperación de todos⁵⁶⁰. Durante el período de pre y posexcavación es primordial establecer una estrecha relación de colaboración entre conservadores y arqueólogos⁵⁶¹, pues el diálogo maximiza los resultados de la conservación y consecuentemente del análisis.

Antes de empezar la excavación debe haber un proyecto que evalúe las demandas necesarias para lograr el correcto registro de datos, los tratamientos de conservación, los exámenes fisicoquímicos necesarios y la correcta incorporación de los nuevos hallazgos en las reservas técnicas⁵⁶². Tanto el conservador como el arqueólogo son responsables de definir los organigramas de trabajo y efectuar los preparativos necesarios para el trabajo de campo —elegir equipamientos y materiales, número de personas, tiempo de trabajo, logística en general y otros—. En conjunto, se debaten los costes, los equipos, la logística del transporte, los espacios de trabajo, etc.

Las actividades de campo empiezan con la configuración de un espacio de trabajo adaptado a la realidad del campo⁵⁶³. En este lugar se desarrollan muchas de las actividades de conservación que garantizarán la estabilidad de los hallazgos durante su viaje al laboratorio⁵⁶⁴. La concepción conjunta de un proyecto para la

⁵⁵⁹ *Ibid.*, p. 11.

⁵⁶⁰ *Ibid.*, p. 10; CARRASCOSA MOLINER, Begoña. *Iniciación a la conservación y restauración de objetos cerámicos*. Valencia (España): Universitat Politècnica de València, 2006, p. 10.

⁵⁶¹ CRONYN, Janet Margaret. *Elements of archaeological conservation*, *op. cit.*, p. 11.

⁵⁶² *Ibid.*, p. 4; RODGERS, Bradley A. *The archaeologist's manual for conservation: a guide to non-toxic, minimal intervention artifact stabilization*, *op. cit.*, p. 8.

⁵⁶³ PROUST, Clotilde. *Intervention du conservateur-restaurateur sur une fouille préventive* [en línea]. En: *Actes des XXIIIèmes Journées des restaurateurs en archéologie, novembre 2007* [consulta: 21/09/2021]. Disponible en: http://www.art-conservation.fr/colloques/2007/04_PROUST.pdf, p. 2.

⁵⁶⁴ *Ibid.*, p. 7.

instalación de un laboratorio de campo es muy importante en el caso de la Antártica, ya que todos los miembros de campo deben prestar el soporte necesario al montaje de este espacio.

Una buena práctica del grupo de trabajo del LEACH es negociar con los responsables de la Marina de Brasil las condiciones logísticas durante las expediciones antárticas. Es clave negociar las mejores fechas de instalación y finalización de los trabajos de campo, buscando programar un plan de excavación ejecutable. También es necesario saber todos los detalles de la estructura de transporte disponible por la Marina para transportar los equipos, las sustancias químicas, verificando también la legislación vigente acerca del transporte y entrada de sustancias tóxicas e inflamables por medio de aeropuertos u otras instituciones fronterizas que se atraviesan durante las expediciones.

Es recomendable el uso de Globally Harmonized System of Classification and Labeling of Chemicals (GHS), un sistema de pictogramas desarrollado por las Naciones Unidas con etiquetas de clasificación de clases de peligros, que puede utilizarse para indicar sustancias químicas llevadas a campo. El sistema fue como una forma de poner de acuerdo las regulaciones y estándares químicos de diferentes países⁵⁶⁵. También es recomendable investigar las documentaciones que los arqueólogos necesitan portar para que sean autorizados a transportar material arqueológico entre las fronteras de cada uno de los países que se cruzarán. No solamente el material arqueológico, sino el transporte de tierra, sedimento, tejidos vegetales y animales entre fronteras sin autorización previa puede estar prohibido. Las retenciones fronterizas de materiales arqueológicos y de los productos para los tratamientos de conservación pueden impedir el desarrollo de las actividades arqueológicas, y perjudicar la preservación del material rescatado.

Documentación de campo

La disociación de información puede ser comprendida como un factor de depreciación de los hallazgos. Para evitarlo debe haber una documentación

⁵⁶⁵ GHS SYSTEM. *GHS Classification* [en línea]. S. f. [consulta: 21/09/2021]. Disponible en: https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/ghs/#_ha.

exhaustiva durante todo el trabajo de excavación y rescate⁵⁶⁶. El trabajo básico del registro arqueológico en campo consiste en:

- La delimitación del sitio y el área a ser excavada (cuadrícula).
- El registro del sitio antes de la excavación (fotos, bocetos, mediciones de la estación total (Estación Total), *scanner* 3D).
- El decapado de la superficie.
- La eliminación de los niveles de tierra arqueológicos de manera sistematizada.
- El registro georreferencial de los vestigios con la Estación Total, GPS o *scanner* 3D (Figuras 30 y 31).
- El etiquetaje con número de los datos de extracción.
- Las actividades de la conservación *in situ*.



Figura 30. Uso de scanner 3D, Byers, 2017⁵⁶⁷



Figura 31. Uso de Estación Total, Punta Elefante, 2014⁵⁶⁸

Cada hallazgo rescatado debe tener un número de registro de campo y debe ser fotografiado *in situ*, preferencialmente con la escala, el número de

⁵⁶⁶ GUIDI, Alessandro. *I metodi della ricerca archeologica*. Bari (Italia): Laterza, 1999.

⁵⁶⁷ Fuente: LEACH, isla Livingston, Antártica, 2014.

⁵⁶⁸ Fuente: LEACH, península Punta Elefantes, Antártica, 2017.

campo, las informaciones georreferenciales, la fecha de excavación y las informaciones del yacimiento —el nombre de la cuadrícula y la profundidad (Figura 32)—.



Figura 32. Fotografía de hallazgos *in situ*, Byers, 2011⁵⁶⁹

Cuando se retira el hallazgo del suelo este es inmediatamente etiquetado con el número del registro de campo. Este número es simultáneamente registrado junto a los datos georreferenciales del objeto en el Estación Total y/o el *scanner* 3D. Las etiquetas son introducidas dentro de las bolsas de plástico y/o de las cajas de acondicionamiento de los hallazgos (Figura 33). Por seguridad, las informaciones pueden ser transcritas en el exterior de las bolsas y cajas, para garantizar que al menos uno de los registros pueda ser leído en caso de que otros sean apagados por problemas de humedad. Es recomendable el uso de etiquetas impermeables y marcadores permanentes⁵⁷⁰. Las máquinas etiquetadoras también son una buena opción para campo. Otra medida de seguridad es poner las etiquetas en pequeñas bolsas plásticas antes de meterlas en las bolsas con los hallazgos, evitando que se manchen o mojen⁵⁷¹. A los objetos grandes y resistentes, cuando sea posible, se les puede fijar las etiquetas en su superficie con la ayuda de clavos de acero inoxidable, evitando que estas se pierdan.

⁵⁶⁹ Fuente: LEACH, isla Livingston, Antártica, 2011.

⁵⁷⁰ CRONYN, Janet Margaret. *Elements of archaeological conservation*, op. cit., p. 57.

⁵⁷¹ COLES, John M. (ed.). *Waterlogged wood: guidelines on the recording, sampling, conservation, and curation of structural wood*. Swindon (Reino Unido): English Heritage Publishing, 1990; ENGLISH HERITAGE. *Waterlogged Organic Artefacts: Guidelines on their recovery, analysis and conservation*, op. cit., p. 9.



Figura 33. Numeración de hallazgo, yacimiento PX-1, 2014⁵⁷²

En los cuadernos de registro de hallazgos se registran los números de colecta de campo y las informaciones básicas de cada colecta (material, cuadrícula, estrato arqueológico, etc.) (Figura 34). Es posible el uso de dispositivos móviles y algún programa digital de banco de datos —como Access® y Tablet® (Figura 35)— como cuaderno de registro de hallazgos. Sin embargo, si el registro de la colecta de hallazgos se hace por medios digitales, es muy recomendable que sean hechos diariamente *backups*.

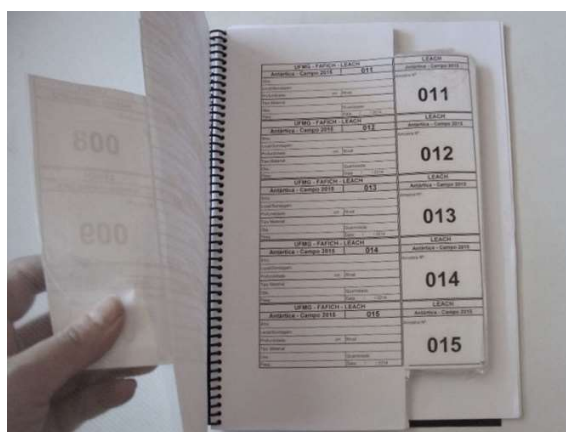


Figura 34. Cuaderno de campo⁵⁷³

⁵⁷² Fuente: Gerusa de A. Radicchi, península Punta Elefante, 2014.

⁵⁷³ Fuente: Gerusa de A. Radicchi, 2014.

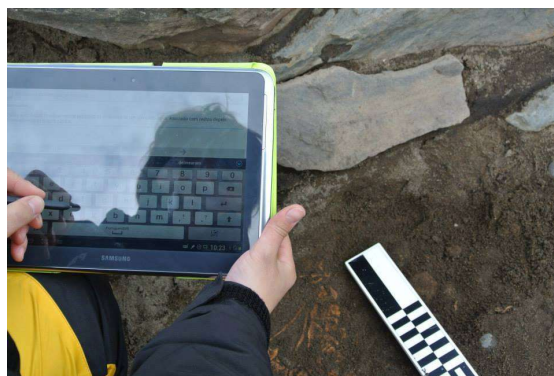


Figura 35. Uso de cuaderno de campo electrónico, Punta Elefante, 2014⁵⁷⁴

El proceso de documentación también incluye la descripción, bocetos y fotografías de los hallazgos. En conservación, las fotos de objetos en procesos de tratamiento deben incluir el número de identificación del hallazgo y una escala. Cuanto más completa es la documentación, más se evita la disociación entre información y objeto.

Muestreos

Los exámenes son los medios por los cuales se desarrolla la investigación que ayuda en la toma de decisión en conservación y en la investigación arqueológica. Muchos de los exámenes son no-intervencionistas y ni siquiera necesitan muestreo, pues el artefacto es analizado en su totalidad y sin intervención. Los exámenes organolépticos pueden ser ubicados en el grupo de los no-intervencionistas. Por medio de los exámenes organolépticos se reconocen los elementos materiales, las características de construcción y las señales de degradación.

Los detalles sutiles en los objetos pueden perderse fácilmente durante la manipulación, en los tratamientos, o por descomposición. Por ello se utilizan herramientas que potencializan los cuidados en el manoseo y que aumentan la precisión de las limpiezas. Los instrumentos de aumento (lupa, microscopio y estereoscopio) pueden ser llevados para el trabajo de campo para ayudar en el diagnóstico y la precisión de las actividades. Las lupas de aumento de, aproximadamente, $\times 3$ y el microscopio binocular de $\times 6$ ⁵⁷⁵ son de gran ayuda en campo.

⁵⁷⁴ Fuente: LEACH, península Punta Elefante, Antártica, 2014.

⁵⁷⁵ CRONYN, Janet Margaret. *Elements of archaeological conservation*, op. cit., p. 58.

Otras técnicas de análisis ocurren por medio de la producción de muestreos *in situ* o no, y por ensayos químicos intervencionistas y destructivos que son propios del campo de acción de la arqueometría. La arqueometría está relacionada con la prospección y la búsqueda de estructuras y características ocultas de los hallazgos que no es posible apreciar solamente por los exámenes organolépticos. Durante las últimas décadas la arqueología ha experimentado el desarrollo de nuevas posibilidades de exámenes fisicoquímicos:

«Aunque el término 'arqueometría' no está definido en ningún diccionario, se usa ampliamente para referirse a la aplicación e interpretación de datos científicos en estudios arqueológicos. Ni física pura ni arqueología, la arqueometría se basa en las habilidades acumuladas de las dos tradiciones diferentes de financiamiento e investigación»⁵⁷⁶.

La determinación de la edad de los hallazgos por datación por radiocarbono (técnica de datación absoluta en arqueología) es solo una de las varias posibilidades dentro de las técnicas analíticas⁵⁷⁷. Para evaluar la estructura física, identificar materiales de construcción y determinar el grado de descomposición, se utiliza la microscopía electrónica de barrido (SEM)⁵⁷⁸, los rayos X o la fluorescencia UV, la espectrometría, la cromatografía⁵⁷⁹, entre otros⁵⁸⁰. Algunos de los principales análisis en arqueología se presentan en la Tabla 8:

⁵⁷⁶ Hedges, R. M., 1980 y Olin 1982 citado en GOFFER, Zvi. *Physical studies of archaeological materials*, op. cit., p. 1195.

⁵⁷⁷ GOFFER, Zvi. *Physical studies of archaeological materials*, op. cit., p. 1195.

⁵⁷⁸ CRONYN, Janet Margaret. *Elements of archaeological conservation*, op. cit., p. 68.

⁵⁷⁹ *Idem*.

⁵⁸⁰ *Ibid.*, pp. 58-60.

Tabla 8. Objetivos y tipologías de análisis fisicoquímicos⁵⁸¹

Objetivo del análisis		Tipo de análisis
Identificar estructura y materiales		Microscopía (óptica y luz transmitida). Microscopía electrónica de barrido (SEM). Espectroscopía de infrarrojos por transformada de Fourier (FTIR). Espectroscopía de infrarrojo cercano con transformada de Fourier (FTNIR)
Identificar la composición de los recubrimientos y depósitos	Pigmentos	Análisis de difracción de radiografía X (XRD)
	Residuos orgánicos	Espectroscopía de infrarrojos por transformada de Fourier (FTIR). Espectroscopía de infrarrojo cercano con transformada de Fourier (FTNIR)
	Residuos no orgánicos	Análisis de fluorescencia de radiografía X (XRF). Análisis de difracción de radiografía X (XRD)
Identificar tintes		Espectrofotometría de absorción. Cromatografía de capa fina (TLC). Cromatografía líquida de alta resolución (HPLC)
Identificar construcciones, marcas de herramientas, desgaste y daño		Microscopía. Microscopía electrónica de barrido (SEM). Radiografía (rayos X). Escaneo láser. Mapeo de texturas polinomiales (PTM)
Evaluar condición		Microscopía. Radiografía (rayos X). Microscopía electrónica de barrido (SEM). Espectroscopía de infrarrojos por transformada de Fourier (FTIR). Espectroscopía de infrarrojo cercano con transformada de Fourier (FTNIR)
Citas científicas		Dendrocronología. Datación por radiocarbono

Muchas muestras deben recogerse en campo siguiendo protocolos de colecta y de conservación que puedan mitigar la contaminación y la deterioración del material recolectado, garantizando la producción de información correcta y representativa. Es esencial establecer previamente objetivos y estrategias para la retirada de muestras *in situ*. Por ejemplo, para la definición de los puntos de recolecta de muestras de suelo y microbiológicas en el yacimiento debe tenerse en cuenta el hecho de que muchos microvestigios de los que se busca analizar no se hallan a simple vista, como también debe tenerse en cuenta el hecho de que los hallazgos no se distribuyen de manera homogénea a través de un depósito. La mejor forma de obtener buenos resultados del muestreo del suelo es realizar la recolecta en varias áreas dentro de un yacimiento⁵⁸².

⁵⁸¹ Basado en ENGLISH HERITAGE. *Waterlogged Organic Artefacts: Guidelines on their recovery, analysis and conservation*, op. cit., p. 32, tabla 5.

⁵⁸² CAMPBELL, Gill; MOFFETT, Lisa y STRAKER, Vanessa. *Environmental Archaeology: a guide to the theory and practice of methods, from sampling and recovery to post-excavation*, op. cit., p. 9.

4.1.2. Consolidación

En principio puede parecer obvio cuál es el objetivo de la consolidación de los objetos arqueológicos, pero cuando empezamos a considerar la amplia gama de consolidantes y las múltiples maneras de empleo, vemos que estas definiciones no son tan sencillas como imaginamos. La consolidación es uno de los primeros tratamientos de conservación aplicados *in situ* y uno de los más recurrentes tratamientos en el laboratorio. En ambas situaciones, los consolidantes no son siempre elegidos y aplicados de la misma forma y con el mismo objetivo.

De manera muy generalista, podemos decir que los consolidantes son polímeros orgánicos, formados por agrupamientos de moléculas pequeñas, denominadas monómeros⁵⁸³. También simplificadaamente, podríamos decir que los consolidantes son los productos utilizados para hacer que los bienes culturales tengan más resistencia, adhesión y cohesión. Sin embargo, tratándose de materiales arqueológicos, hay muchos matices en la aplicación de los consolidantes que precisan ser discutidos, como: aumentar la flexibilidad, evitar el desecamiento, evitar la deformación y fragmentación después del secado. Es común, por ejemplo, el uso de consolidantes en materiales orgánicos arqueológicos rescatados mojados con la función de reemplazar el agua y mantener el volumen (plastificante y relleno).

E. Peacock (2011) cita el uso de sustancias con función plastificante y lubricante para la consolidación de textiles arqueológicos. La autora identifica tres grupos diferentes de sustancias: los *bulking agents*, usados para lubricar y evitar el encogimiento en el secado; los «impregnantes», usados para sustituir el agua evaporada; y, propiamente, los «consolidantes», usados para mantener la estructura cohesiva y evitar el desprendimiento⁵⁸⁴. Otras referencias bibliográficas nombran métodos de aplicación de consolidantes como «plastinación» o *plastination* (en inglés), refiriéndose a una técnica de aplicación de consolidantes con acción plastificante en materiales arqueológicos⁵⁸⁵.

⁵⁸³ CRONYN, Janet Margaret. *Elements of archaeological conservation, op. cit.*, p. 85.

⁵⁸⁴ PEACOCK, Elizabeth E. Drying archaeological textiles. En: M. BROOKS y D. EASTOP, eds. *Changing Views of Textile Conservation*. Los Ángeles (Estados Unidos): Getty Conservation Institute, 2011, pp. 359-369.

⁵⁸⁵ WAYNE SMITH, Chris. *Archaeological Conservation Using Polymers: Practical Applications for Organic Artifact Stabilization*. College Station (Estados Unidos): Texas A&M University Anthropology, 2003 [eBook Kindle], pp. 66 y 67.

Una de las sustancias con función plastificante más empleada por los laboratorios de conservación en arqueología actualmente es el PEG (polietilenoglicol). En las últimas décadas, esta y otras sustancias han sido testadas como consolidantes de materiales arqueológicos orgánicos mojados asociadas a las técnicas de control del secado. El tema se abordará más adelante, en el apartado 4.1.6 («Secado») de este mismo capítulo.

En todos los casos, hay una singularidad en los consolidantes aplicados en la conservación en arqueología: son productos sintéticos, ya que los naturales están sujetos al biodeterioro. Para los tipos sintéticos «(...) los lotes son más uniformes y las propiedades pueden adaptarse a los requisitos»⁵⁸⁶. La Tabla 9 es una síntesis de los consolidantes sintéticos recurrentemente encontrados en la bibliografía revisada en esta tesis.

Tabla 9. Consolidantes en arqueología

Consolidante	Empleo	Material
Aceite de silicona ⁵⁸⁷	Plastificante	Orgánicos
Acetato de polivinilo ⁵⁸⁸	Multifuncional	Preferencialmente orgánicos porosos (mojados o no) y silíceos porosos (mojados o no)
Acrilato y vinilacetato en dispersiones, como el Primal AC33® ⁵⁸⁹ y los Mowilith® y Mowital® ⁵⁹⁰	Multifuncional	Preferencialmente orgánicos porosos (mojados o no) y silíceos porosos (mojados o no)
Ciclododecano ⁵⁹¹	Protecciones temporales; aislante de la humedad; para unir partes y/o objetos temporalmente (sufre sublimación)	Múltiples
Glicerol	Suavizante y humectante de superficies; para conferir flexibilidad	Preferencialmente orgánicos porosos y silíceos porosos
Klucel®: E, G y M (éter de celulosa)	Multifuncional	Preferencialmente orgánicos e inorgánicos porosos

⁵⁸⁶ CRONYN, Janet Margaret. *Elements of archaeological conservation*, op. cit., p. 89 (traducción nuestra).

⁵⁸⁷ WAYNE SMITH, Chris. *Archaeological Conservation Using Polymers: Practical Applications for Organic Artifact Stabilization*, op. cit.

⁵⁸⁸ HAMILTON, Donny L. *Methods of conserving archaeological material from underwater sites*, op. cit.

⁵⁸⁹ CTS. *Catálogo General* [en línea]. 2018 [consulta: 18/09/21]. Disponible en: <https://bit.ly/2YTujki>, p. 17.

⁵⁹⁰ *Ibid.*, p. 24.

⁵⁹¹ *Ibid.*, p. 48.

Paraloid® (resina acrílica)	Multifuncional	Múltiples
PEG (polietilenoglicol): pesos moleculares 4000, 600, 400, 200 o 1500 ⁵⁹²	Plastificante	Principalmente orgánicos fragilizados
Resinas epoxídicas (Araldite®) ⁵⁹³	Plegar partes; rellenar lagunas; estructurar piezas en el montaje	Silíceos y metálicos
Resinas de alcohol polivinílico ⁵⁹⁴	Multifuncional	Preferencialmente orgánicos porosos (mojados o no) y silíceos porosos (mojados o no)
Resinas de cianoacrilato (como Superbond® o Three Bond®) ⁵⁹⁵	Plegar partes	Silíceos y metálicos
Resina de melanina (Kauramin® 800) ⁵⁹⁶	Plastificante	Principalmente orgánicos arqueológicos fragilizados y sobre todo madera
Sacarosa ⁵⁹⁷	Plastificante	Principalmente orgánicos arqueológicos fragilizados y sobre todo madera
Siloxanos (combinación de grupos alquilo y arilo y oxígeno) y silanos (hidruros de silíceos): asociación con <i>cross-linkers</i>) ⁵⁹⁸	Plastificante	Principalmente orgánicos fragilizados, como también se aplica a arqueológicos silíceos

Además de tener en cuenta el objetivo del tratamiento, a la hora de elegir el consolidante deben ser considerados muchos otros puntos. Primeramente, la aplicación de los consolidantes no debe realizarse de forma indiscriminada pues el tratamiento implica siempre un cambio fisicoquímico en el material original. El uso del disolvente en muchas situaciones también ofrece riesgo a la salud humana. Elegir el disolvente, la proporción de la disolución y la manera de aplicación es una tarea de negociación entre muchas variables.

⁵⁹² WAYNE SMITH, Chris. *Archaeological Conservation Using Polymers: Practical Applications for Organic Artifact Stabilization*, op. cit.

⁵⁹³ CTS. *Catálogo General*, op. cit., pp. 20 y 21.

⁵⁹⁴ *Ibid.*, p. 24.

⁵⁹⁵ GRUPO ESPAÑOL DE CONSERVACIÓN. *Cianoacrilato* [en línea]. GE-IIC, s. f. [consulta: 18/09/21]. Disponible en: https://www.ge-iic.com/fichas_tecnicas/adhesivos/cianoacrilato.

⁵⁹⁶ SIERRA MÉNDEZ, Juan Luis. La conservación de la madera en arqueología subacuática: Museo y Centro Nacional de Investigación Arqueológicas Submarinas. *Monte Buciero*. 2003, n.º 9, pp. 246 y 247.

⁵⁹⁷ *Ibid.*, p. 251.

⁵⁹⁸ WAYNE SMITH, Chris. *Archaeological Conservation Using Polymers: Practical Applications for Organic Artifact Stabilization*, op. cit.

El disolvente

Si bien los disolventes orgánicos se utilizan ampliamente en la conservación, se debe ponderar su uso pues, en general, son tóxicos e inflamables⁵⁹⁹. Reducir el tiempo de contacto y de exposición de los conservadores-restauradores al disolvente es una estrategia idónea para disminuir los riesgos causados a la salud. Abolir el uso de disolventes con alto grado de toxicidad —tremetina, benceno, nitro aromático, tetracloruro de carbono, hidrocarburos clorados, cloroformo, aminas alifáticas y pirinas⁶⁰⁰— también es una estrategia a ser considerada. Las agencias gubernamentales de cada país recomiendan los límites de tolerancia para el contacto con disolventes durante la jornada laboral e instrucciones de seguridad, como el uso de EPI (Equipo de Protección Personal), EPC (Equipo de Protección Colectiva) y los sistemas de escape de gases y descarte de restos tóxicos en laboratorios.

Usaremos el cálculo del porcentaje de título de volumen por volumen (v/v) para la preparación de tales disoluciones⁶⁰¹. Los consolidantes que se aplican en solución en agua son preferibles; sin embargo, el agua y el alcohol, de los medios menos tóxicos de disolución de consolidantes, no son miscibles con muchas sustancias debido a su polaridad⁶⁰². Las fuerzas de solvatación⁶⁰³ entre soluto y disolvente deben ser compatibles para que este último pueda disolver los consolidantes. La solubilidad de los consolidantes orgánicos en disolventes polares aumenta con la presencia de grupos funcionales polares, también con la capacidad de crear puentes de hidrógeno con el disolvente y con la disminución de la longitud de su cadena hidrocarbonada.

Los disolventes pueden ser clasificados como polares (ligaciones dipolo), polares débiles (tipo *wan der waals*) y polares fuertes (puente de hidrógeno, como el agua). De acuerdo con Masschelein-kleiner⁶⁰⁴, cuanto más fuerte son las interacciones intermoleculares del disolvente más débil es la volatilidad (Tabla 10).

⁵⁹⁹ CRONYN, Janet Margaret. *Elements of archaeological conservation*, op. cit., p. 85.

⁶⁰⁰ FIGUEIREDO JUNIOR, João. C. D. *Química aplicada à conservação e restauração de bens culturais: uma introdução*, op. cit., p. 114.

⁶⁰¹ Título v/v % = volumen de soluto / volumen de solución x 100.

⁶⁰² TÍMÁR-BALÁZSY, Ágnes y EASTOP, Dinah. *Chemical principles of textile conservation. Part 2, Ceaning*. Londres: Routledge, 1998, pp. 163-174.

⁶⁰³ Interacciones entre moléculas de un disolvente con moléculas o iones de un soluto.

⁶⁰⁴ MASSSCHELEIN-KLEINER, Liliane. *Les solvantes*. Santiago de Chile (Chile): Centro Nacional de Conservación y Restauración, 2004.

La categoría II de Masschelein, la de los solventes medios (penetración y retención media), es la más ampliamente utilizada por los conservadores⁶⁰⁵.

Tabla 10. Clasificación de los solventes por Masschelein-kleiner de acuerdo con el poder de penetración-retención⁶⁰⁶

Categorías	Disolventes
Categoría I. «Decapantes»	Muy penetrantes. Retención elevada y larga. Trementina, THF, glicoles, diacetonaalcohol, formamida, DMS, butilamina-t-butilamina DMF, ácido fórmico, ácido acético
Categoría II. Solventes «medios»	Penetrantes medios. Retención media. Cetonas, alcoholes, esteres, agua
Categoría III. Solventes «móviles»	Muy penetrantes. Retención débil y corta. Derivados halogenados, aromáticos
Categoría IV. Solventes «volátiles»	Poco penetrantes. Retención débil y corta. Hidrocarburos saturados, éter

En los poros de los objetos arqueológicos, la penetración ocurre a través de la capilaridad. Un solvente penetrará por difusión en una capa pasando a través de sus grietas, fracturas y secciones capilares por difusión. La penetración dependerá del tamaño del poro, la viscosidad del solvente y de la solución⁶⁰⁷. El porcentaje de consolidante en la solución y el tipo de disolvente utilizado dependen de la cantidad de penetración requerida.

Cuanto mayor sea la penetración del disolvente y más baja la viscosidad de la solución, mayor será la profundidad de penetración del consolidante en el objeto arqueológico. En caso de que las moléculas del consolidante sean demasiado grandes, la dilución de la sustancia tiende a ser menor y el consolidante no podrá penetrar más allá de la capa exterior del material, quedando más próximo del punto inicial de aplicación. Las capas de la superficie caerán del núcleo friable no consolidado del artefacto cuando se maneja⁶⁰⁸. Una mejor penetración se logra al disolver los consolidantes en menores proporciones en un disolvente orgánico de baja tensión superficial, lo que produce un líquido de aplicación de baja viscosidad⁶⁰⁹.

⁶⁰⁵ *Ibid.*, pp. 122 y 123.

⁶⁰⁶ *Idem.*

⁶⁰⁷ FIGUEIREDO JUNIOR, João. C. D. *Química aplicada à conservação e restauração de bens culturais: uma introdução*, op. cit., pp. 102 y 103.

⁶⁰⁸ CRONYN, Janet Margaret. *Elements of archaeological conservation*, op. cit., p. 86.

⁶⁰⁹ *Idem.*

Sin embargo, los solventes orgánicos evaporan muy rápidamente y pueden arrastrar consigo el consolidante hacia fuera del centro del material arqueológico. Si el solvente evapora muy pronto o si la solución es concentrada y viscosa, el efecto del consolidante será más superficial. Debemos dominar bien todas estas variables para no sorprendernos con resultados finales no deseados, pues el resultado esperado solo aparece después de que el solvente se haya evaporado y permanece el soluto.

Es indicado el uso de disoluciones de baja concentración, o mezclas de alta concentración, hasta las proporciones de 50 % de solvente y 50 % para el uso como adhesivo. Una disolución del 5 % de consolidantes vinílicos o acrílicos es apropiada para muchos usos de consolidación superficial, mientras la dilución del 10 % es apropiada para muchas situaciones de adhesión⁶¹⁰ (cohesión y adhesión). Para las aplicaciones con efecto tópico con mayores concentraciones, debemos tener en cuenta que pueden generar cambio de brillo o el oscurecimiento de las áreas altamente impregnadas. Ello está causado por el índice de refracción entre la resina y el material original.

El tipo de penetración que deseamos es también determinado por la elección de los medios de aplicación: goteo, inyección, inmersión, impregnación, spray, sentado con tejido y otros medios. Si la consolidación busca attingir mayor profundidad, podemos aplicar el consolidante por medio de inmersiones, lo que asegura el mejor resultado de la penetración. Cámaras de vacío pueden ser utilizadas para aumentar la penetración capilar. Pero, en todos los casos, hay que observar la reversibilidad de los tratamientos. El uso tópico del consolidante es más fácil de revertir que los baños de consolidación que alcanzaron mayor penetración y profundidad.

Características fisicoquímicas de los consolidantes

Cada consolidante posee características fisicoquímicas particulares, como la facilidad de aplicación, la condición de reversibilidad, la estabilidad al paso del

⁶¹⁰ CARRASCOSA MOLINER, Begoña y LASTRAS PÉREZ, Montserrat. Tratamientos de extracción *in situ* de materiales óseos Mayas. En: J. P. LAPORTE, B. ARROYO y H. MEJÍA, eds. *XXII Simposio de Investigaciones Arqueológicas en Guatemala, 2008: Museo Nacional de Arqueología y Etnología*. Ciudad de Guatemala (Guatemala): Ministerio de Cultura y Deportes; Instituto de Antropología e Historia; Asociación Tikal, 2009, pp. 830-841.

tiempo y las reacciones con las cuales el consolidante llega a su estado final. Los consolidantes, a largo plazo, no solamente amarillean, sino que cambian de pH o pueden fraguarse. La inestabilidad del consolidante puede hacer que encoja, colapsando toda la estructura interna del artefacto⁶¹¹. Debemos tener en cuenta incluso la capacidad del consolidante de no interferir en los análisis arqueológicos programados para cada objeto⁶¹².

Los tipos de consolidantes termoplásticos se conocen como los que se ablandan mediante calor y que, después de secos, generalmente pueden ser removidos de los objetos por medio de la aplicación de disolventes. Un ejemplo de un tipo termoplástico es el Paraloid®. Los consolidantes llamados «de reacción» son tipos irreversibles, cuyo resultado final es provocado por la reacción de dos sustancias de especies moleculares distintas⁶¹³, y no la dilución y evaporación del disolvente como en los demás casos. Este es el caso de las resinas epoxílicas. Los consolidantes de reacción son muy utilizados por su gran poder de cohesión, pero además de la irreversibilidad, tienen una tendencia al amarillo.

Otros consolidantes no se encuadran exactamente en los grupos de los termoplásticos o de los «de reacción» pues no sufren reacciones, son estables antes, durante y después de su aplicación. Los PEG son el mejor ejemplo de este grupo de consolidantes. Su aplicación ocurre por la impregnación del objeto por medio de baño en disolución del PEG en agua. El tratamiento suele ser prácticamente 100 % reversible, una vez que el PEG sigue siendo soluble en agua después de impregnar el objeto.

El objeto y el objetivo como un factor determinante

Las características y degradaciones de los objetos arqueológicos determinan la «palabra final» para la elección del consolidante. Algunos materiales arqueológicos tienen alta capilaridad y más capacidad de absorción de las soluciones consolidantes (como huesos o textiles, por ejemplo). Los materiales más

⁶¹¹ CRONYN, Janet Margaret. *Elements of archaeological conservation, op. cit.*, p. 86.

⁶¹² BERNADET, Renaud y MILLET, Émilie. Un laboratoire mobile pour l'archéologie préventive. Retour d'expérience spécialiste d'un archéologue spécialiste du mobilier métallique. *Les Nouvelles de l'archéologie*. 2020, n.º 162, p. 14.

⁶¹³ CRONYN, Janet Margaret. *Elements of archaeological conservation, op. cit.*, p. 85.

porosos y leves admiten consolidantes más plásticos y más suaves, pues ejercerán su función fácilmente adaptándose bien a las superficies. La estabilización física de la superficie de casi todos los artefactos más delicados cuando están secos se puede lograr con Paraloid® B-72. Estos acrílicos son interesantes por ser un grupo muy plástico, adhesivo y estable al envejecimiento⁶¹⁴.

Debemos tener en cuenta el contenido de agua del objeto arqueológico rescatado antes de elegir el consolidante⁶¹⁵. Los consolidantes acrílicos no son indicados para objetos mojados, pues son repelidos. A diferencia de los vinílicos, no pueden disolverse en medios polares fuertes como el agua. Una solución, por ejemplo, de Paraloid® B-72 en acetona aplicada a un material arqueológico orgánico húmedo no será capaz de penetrar en el hallazgo y quedará en la superficie, generando una película opaca blanquecina⁶¹⁶. Para estos hallazgos orgánicos húmedos es indicada entonces la utilización de emulsiones acuosas, como el Mowilith® o el PVA.

Las emulsiones y las dispersiones acuosas son coloides, es decir, suspensiones de partículas del consolidante soluble en agua, con la diferencia de que las dispersiones tienen partículas de menor tamaño⁶¹⁷. Sin embargo, en todos los casos de aplicación de consolidantes, para que haga el efecto esperado, debemos asegurarnos de que el disolvente haya evaporado, respetando así los tiempos de secado para la retirada del yacimiento y la manipulación segura del objeto.

Aquellos artefactos delicados y frágiles, y que están perdiendo detalles de la superficie, deben someterse a los tratamientos de consolidación ya en el yacimiento. La aplicación *in situ* de consolidantes puede ser provisional o definitiva. Para materiales muy débiles, debemos usar la preconsolidación desde el momento del hallazgo en el yacimiento, antes de la retirada del suelo. Hecho que se puede lograr aún mejor en conjunto con las técnicas de extracción especiales, las cuales se exponen en el apartado 4.1.3.

La aplicación del consolidante superficialmente en objetos silíceos con peligro de fragmentación y roturas es la práctica más frecuente de consolidación

⁶¹⁴ *Ibid.*, p. 89.

⁶¹⁵ *Ibid.*, pp. 86-89.

⁶¹⁶ *Ibid.*, p. 88.

⁶¹⁷ *Ibid.*, p. 86.

in situ de acuerdo con la bibliografía revisada. Se realiza principalmente para garantizar la cohesión, unión de piezas, y la consolidación de la capa externa frágil. Se pueden utilizar los consolidantes de PVA o el Paraloid® B-72⁶¹⁸; debemos tener en cuenta los problemas que los bloqueos de los poros de la superficie de las cerámicas pueden causar a las cerámicas contaminadas con sales.

En caso de que los objetos consolidados sean pesados y poco porosos, los consolidantes utilizados deben ser suficientemente fuertes para lograr la conexión de las partes, como lo son las colas de cianoacrilato y resinas epoxi. Sin embargo, hay que tener cuidado pues los consolidantes fuertes en piezas rígidas pueden causar daños y rupturas a los bordes entonces conectados (Figura 36). Además, la reversibilidad de estos consolidantes es complicada, siendo mejor que su aplicación ocurra en laboratorio, en piezas que están pasando por montaje definitivo.

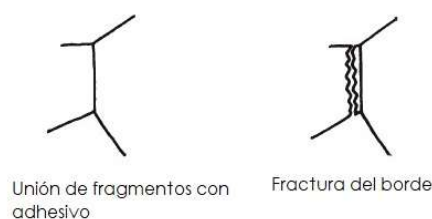


Figura 36. Daño generado por el uso de adhesivo fuerte inadecuadamente⁶¹⁹

El montaje definitivo es indicado realizarlo siempre en laboratorio, valiéndose de la correcta metodología de montaje: un set adecuado para apoyo de las piezas y el uso de la reconstrucción previa (Figura 37). El premontaje nos permite comprender las dimensiones y volumen del objeto y analizar las piezas faltantes. Utilizamos materiales reversibles como cintas adhesivas, y en caso de piezas grandes. La cola caliente aplicada con pistola eléctrica también puede ser utilizada en el premontaje⁶²⁰.

⁶¹⁸ HAMILTON, Donny L. *Methods of conserving archaeological material from underwater sites*, op. cit.

⁶¹⁹ Basado en CRONYN, Janet Margaret. *Elements of archaeological conservation*, op. cit., p. 154, figura 4.6.

⁶²⁰ CARRASCOSA MOLINER, Begoña. *Investigación sobre tratamientos de conservación y restauración de piezas cerámicas y arqueológicas* [tesis doctoral]. Valencia (España): Universitat Politècnica de València, 1996, pp. 87 y 88; LASTRAS PÉREZ, Montserrat; MARTÍNEZ BAZÁN, María Luisa; MARTÍNEZ CABEZUELO, Esther y SIMÓN CORTÉS, José Manuel. Estudio de reintegrantes pictóricos aplicados en la restauración de azulejería expuesta al exterior. *Arché*. 2011, n.º 6, pp. 221-228.

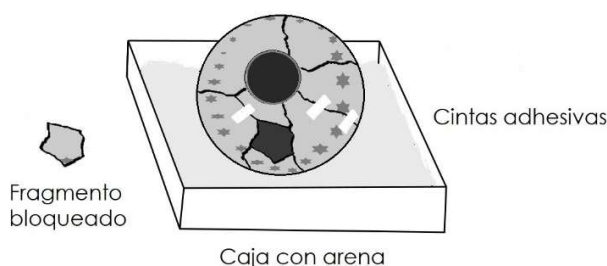


Figura 37. Set up para reconstrucción de objetos⁶²¹

Para los objetos silíceos y metálicos, algunas veces los consolidantes pueden ser utilizados a la vez para la cohesión y también para la reintegración de piezas faltantes. Esto ocurre cuando se utiliza el consolidante para adherir partes y rellenar los espacios dejados por las piezas ausentes. El método es recomendable principalmente en situaciones donde esta sea la única manera para lograr el montaje requerido del objeto.

4.1.3. Extracción especial

Por su extrema fragilidad y complejidad, muchas veces es necesario inmovilizar físicamente los hallazgos en los yacimientos antes de recolectarlos. Esto puede ser realizado por medio de las técnicas de extracción especial, que se refieren a los métodos de levantamiento de los hallazgos del yacimiento por medio de etapas preparatorias de estabilización, para mantener la conexión y cohesión entre objetos y/o partes⁶²². Según Renaud Bernadet y Émilie Millet (2020), los sistemas de extracción involucran técnicas de dar soporte a los hallazgos que presentan fragilidades mecánicas y sufrirán daños en la manipulación y levantamiento. Ellos ocurren, por ejemplo, por intervenciones de consolidación (para poder levantarlos en una sola pieza y mantener las conexiones) o por el corte y levantamiento del objeto con la tierra alrededor del objeto para moverlo completamente y sin tensión mecánica⁶²³.

⁶²¹ Basado en CRONYN, Janet Margaret. *Elements of archaeological conservation*, op. cit., p. 158, figura 4.7.

⁶²² BERNADET, Renaud y MILLET, Émilie. Un laboratoire mobile pour l'archéologie préventive. Retour d'expérience spécialiste d'un archéologue spécialiste du mobilier métallique, op. cit., p. 14.

⁶²³ *ibid.* p. 14.

La estabilización puede ser individual, en conjunto, o junto al bloque de tierra donde el hallazgo está insertado⁶²⁴. Los hallazgos frágiles en los depósitos arqueológicos —por ejemplo, los restos de alimento, las tumbas, los huesos o los textiles— se benefician mucho de estas técnicas de inmovilización. En estos contextos, puede ser incluso crucial la extracción de forma completa y compacta de toda la información alrededor de estos registros⁶²⁵.

De acuerdo con la bibliografía revisada, encontramos denominaciones principalmente en inglés para algunos de los métodos de extracción especial: *lifting*, *block lifting*, *backing* y *bandaging*⁶²⁶. El *lifting* es el nombre dado genéricamente al proceso en sí de reforzar los objetos con soportes rígidos, cintas y/o consolidantes antes de extraerlos del yacimiento. Puede darse en el *lifting* la aplicación directa del consolidante en la(s) pieza(s) *in situ*. En este caso, se elimina la tierra y se procede a la consolidación con un pincel en la superficie del objeto. La baja concentración del consolidante (sobre el 5 %) permite que el producto penetre bien en la pieza⁶²⁷.

Un procedimiento muy simple y eficaz de refuerzo para la extracción especial consiste en la extracción mediante la protección con film de polietileno transparente y cinta de refuerzo. El sistema consiste básicamente en envolver la pieza limpia en un film de polietileno y después reforzarla con cintas adhesivas (Figura 38). Así, la pieza adquiere mayor cohesión y su extracción y traslado son más seguros⁶²⁸.

⁶²⁴ *Ibid.*, p. 143.

⁶²⁵ *Idem.*

⁶²⁶ SEASE, Catherine. *Conservation Manual for the field archaeologist*, vol. 4, *Archaeological Research Tools*, *op. cit.*, pp. 21-27.

⁶²⁷ CARRASCOSA MOLINER, María Begoña; ÁNGEL PERIS, Ana Isabel y FLORS URENA, Enric. La extracción de materiales arqueológicos *in situ*. Yacimientos de Torre la Sal y Costamar, Cabanes (Castellón). *Arché*. 2010, n.ºs 4-5, p. 54, figura 5.

⁶²⁸ *Ibid.*



Figura 38. Protección con film de polietileno⁶²⁹

Algunas piezas planas, pesadas, grandes y/o frágiles, y que no pueden soportar su propio peso, son beneficiadas simplemente por ser depositadas en tabloncillos rígidos resistentes en el momento de su elevación del suelo. El soporte rígido se desliza debajo del hallazgo, tan pronto como este se retira de la tierra (Figura 39). El soporte puede ser una placa de plástico, madera, metal u otro⁶³⁰. Si la tierra está mojada, el material del soporte debe ser resistente al agua. El soporte proporciona un apoyo estable horizontal incluso para un artefacto frágil consolidado.



Figura 39. Uso de soporte rígido⁶³¹

La técnica llamada *backing* consiste en la estabilización del objeto en la cara expuesta con consolidante, seguida de la aplicación de apoyo por medio de soporte rígido en el momento del descubrimiento del hallazgo del suelo. Después de la consolidación de la cara expuesta del objeto, la cara inferior se desprende y

⁶²⁹ *Ibid.*, p. 55.

⁶³⁰ PROUST, Clotilde. *Intervention du conservateur-restaurateur sur une fouille préventive*, op. cit., p. 4.

⁶³¹ Basado en ENGLISH HERITAGE. *Waterlogged Organic Artefacts: Guidelines on their recovery, analysis and conservation*, op. cit., p. 20, figura 31.

se gira para arriba, apoyando la cara consolidada sobre el soporte (Figura 40). Deben ser consideradas así las dimensiones de los objetos arqueológicos, pues es arriesgado girar los objetos grandes frágiles. También debemos considerar que es necesario saber cuál es la dimensión exacta de los objetos antes de girarlos, para no provocar fracturas.

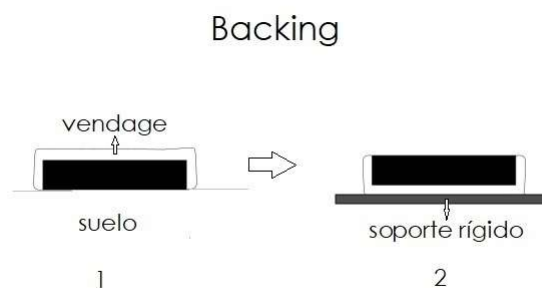


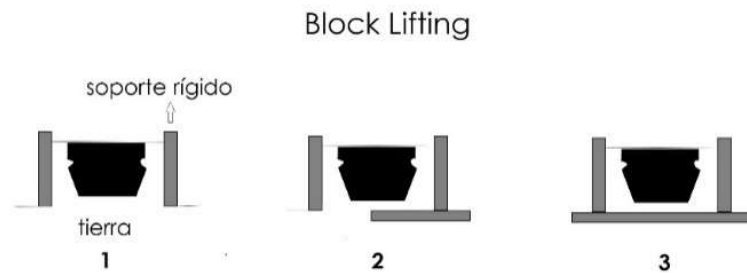
Figura 40. *Backing*⁶³²

Block lifting es el nombre dado a la técnica de extracción especial por medio de cuadro de protección (uso de planchas de soporte rígido para encerrar el objeto en una caja) y con la permanencia de la tierra del yacimiento alrededor de los objetos. En el *block lifting*, placas rígidas verticales son posicionadas, delimitando así la franja de tierra a ser alzada junto al objeto (Figura 41). Dejar un margen de 2 a 3 cm de distancia del margen del objeto es una medida prudente e importante para protegerlo⁶³³. Al final, las placas horizontales inferior y superior son introducidas y el objeto puede ser retirado. Las partes de esta caja son cerradas con clavos y cintas adhesivas. Es necesario poner al exterior de la caja la flecha de indicación de la dirección en que el objeto debe ser transportado. La técnica del *block lifting* es más fácil de manejar donde el depósito no es muy duro ni muy pedregoso⁶³⁴, donde se torna más fácil insertar la placa rígida. La técnica se puede aplicar con el uso de consolidante para fortalecimiento del bloque de tierra, como también se puede utilizar el refuerzo con vendas de yeso u otro medio.

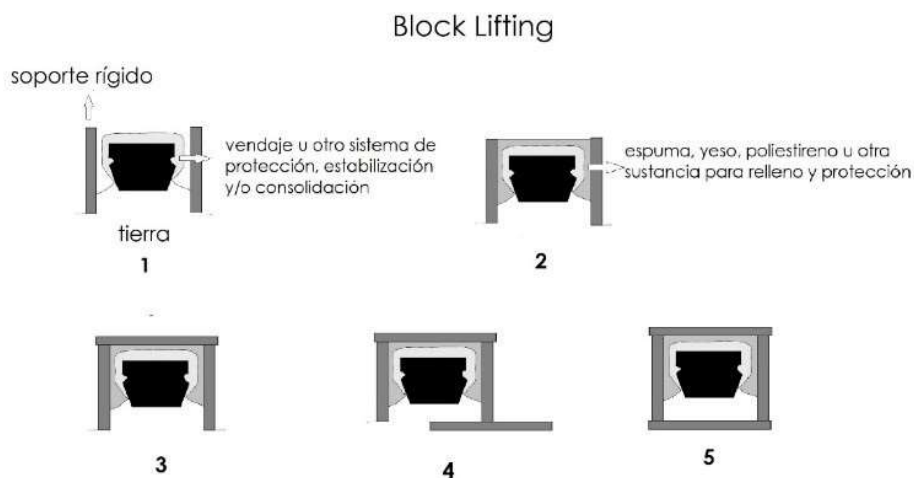
⁶³² Basado en SEASE, Catherine. *Conservation Manual for the field archaeologist*, vol. 4, *Archaeological Research Tools*, op. cit., p. 24, figura 4.7.

⁶³³ LOREDO, Wanda M. *Manual de conservação em arqueologia de campo*. Río de Janeiro (Brasil): Instituto Brasileiro do Patrimônio Cultural, 1994, p. 70.

⁶³⁴ CRONYN, Janet Margaret. *Elements of archaeological conservation*, op. cit., p. 45.

Figura 41. *Block lifting*⁶³⁵

Entre las variables del *block lifting*, una de las posibilidades más eficaces utilizadas para estabilizar un objeto pesado es retirar la tierra a la vez que se pone material de relleno antes del levantamiento, como yeso, silicona, espuma de poliuretano, etc. (Figura 42). Es recomendable proteger los hallazgos del contacto directo con el material de relleno, como, por ejemplo, por medio de una capa de film de polietileno y papel de aluminio.

Figura 42. *Block lifting* con aplicación de sustancia de relleno⁶³⁶

⁶³⁵ Basado en SEASE, Catherine. *Conservation Manual for the field archaeologist*, vol. 4, *Archaeological Research Tools*, op. cit., p. 24, figura 4.8.

⁶³⁶ Basado en *ibid.*, p. 25, figura 4.9.

La técnica de extracción especial denominada como *bandaging* se logra con el refuerzo de los objetos por medio de ataduras y consolidantes antes de sacarlos del suelo. Estas confieren el refuerzo y la estabilidad necesaria para que el objeto se mueva con seguridad del yacimiento. De acuerdo con la bibliografía revisada, este método de extracción es adecuado para piezas de gran peso y volumen, una vez que la ejecución y secado no implican demasiado tiempo⁶³⁷.

Las ataduras del *bandaging* envuelven los objetos al paso que se los excava (Figura 43). Después de haber limpiado bien la superficie, se aplican sucesivas capas de venda con consolidante de manera entramada, hasta que tengamos su cobertura total. Es necesario alterar las direcciones de la atadura para garantizar el refuerzo del objeto. Después de estar secas y endurecidas las vendas, se introduce la espátula por abajo y se procede a la extracción⁶³⁸. Es posible también aplicar el *bandaging* junto a otras técnicas de *lifting*, por ejemplo, asociado al uso del cuadro de protección.

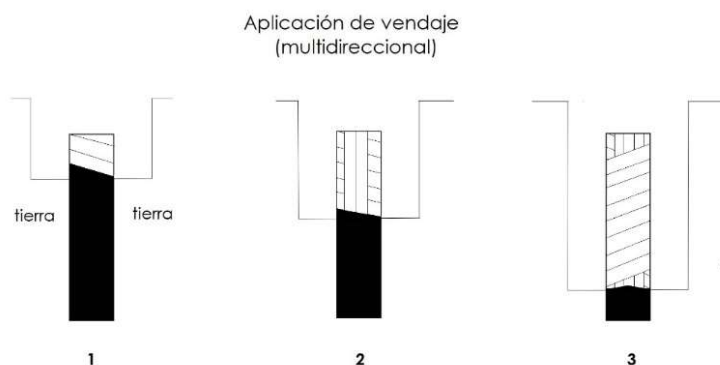


Figura 43. Aplicación de atadura (*bandaging*)⁶³⁹

La resina de poliuretano, sustancia muy utilizada como material protector contra impacto, vibración y como relleno de cajas de acondicionamiento, tiene la ventaja de generar una espuma muy ligera y rígida, y que rápidamente personaliza el formato exacto del objeto arqueológico. Esta resulta de la reacción química de la mezcla a partes iguales del líquido de la resina con el líquido catalizador. En

⁶³⁷ CARRASCOSA MOLINER, María Begoña; ÁNGEL PERIS, Ana Isabel y FLORS URENA, Enric. La extracción de materiales arqueológicos *in situ*. Yacimientos de Torre la Sal y Costamar, Cabanes (Castellón), *op. cit.*

⁶³⁸ *Ibid.*

⁶³⁹ Basado en SEASE, Catherine. *Conservation Manual for the field archaeologist*, vol. 4, *Archaeological Research Tools*, *op. cit.*, p. 23, figura 4.5.

aproximadamente 5 minutos la mezcla de la resina de poliuretano comienza a endurecerse. La mezcla puede expandirse cerca de 20 veces más que el volumen inicial. En climas fríos, la expansión se reduce un poco⁶⁴⁰. Con poca cantidad podemos, entonces, generar mucha espuma amortiguadora para los traslados del material arqueológico en campo. Sin embargo, siempre es necesario proteger los objetos arqueológicos del contacto con estas sustancias, principalmente en el momento de su aplicación. Una de las opciones de protección es el uso de hojas de aluminio⁶⁴¹. La espuma de poliuretano es químicamente inestable a largo plazo, no sirviendo de material de acondicionamiento permanente.

El ciclododecano es un hidrocarburo con apariencia de cera usado para la estabilización física y amortiguamiento de objetos *in situ* durante retirada e transporte. Tal sustancia puede ser aplicada de manera asociada en varios sistemas de extracción especial. La aplicación del ciclododecano es muy interesante porque se sublima completa y rápidamente, sin interferir en análisis futuros en laboratorio. La velocidad de la sublimación es de 0,08 mm durante 24 horas y puede reducirse si el objeto se mantiene en un compartimento cerrado. Puede ser aplicado cuando se calienta a cerca de 60°C⁶⁴². Es recomendable el uso de gasas de algodón para dar firmeza y conexión a las piezas durante la suspensión del objeto⁶⁴³.

Para todas las técnicas de extracción especial mencionadas es necesario hacer previamente la observación del vestigio, para que el objeto sea registrado *in situ* en detalle antes del alzamiento del suelo. Todos los procedimientos de levantamiento especial empiezan delimitando el área de la retirada minuciosamente. Debemos evaluar primeramente las dimensiones del objeto que se va a extraer y la viabilidad de la extracción. Es notablemente más difícil aplicar cualquier sistema de consolidación o extracción especial en sitios húmedos, pues el consolidante necesita estar seco para ejercer su función de sustentación.

⁶⁴⁰ CRONYN, Janet Margaret. *Elements of archaeological conservation*, op. cit., p. 47.

⁶⁴¹ *Ibid.*, p. 49.

⁶⁴² BERNADET, Renaud y MILLET, Émilie. Un laboratoire mobile pour l'archéologie préventive. Retour d'expérience spécialiste d'un archéologue spécialiste du mobilier métallique, op. cit., p. 14.

⁶⁴³ *Ibid.*, p. 15.

4.1.4. Acondicionamiento

El acondicionamiento es una de las principales medidas preventivas de conservación *in situ*. El enfoque del acondicionamiento de campo es la elección de los materiales y la producción de embalajes adecuados, como también es la elección de las buenas condiciones de almacenaje de las cajas de transporte con el material arqueológico. El reto principal general del acondicionamiento es: proporcionar a los objetos condiciones estables de temperatura, humedad, iluminación y ventilación; funcionar como barreras contra contaminación del aire o ambiental; funcionar como protección mecánica contra choques, presión y vibración; facilitar el control de la identificación de los objetos acondicionados.

Los embalajes de acondicionamiento pueden ser divididos en dos grupos: las bolsas y cajas de acondicionamiento individual de hallazgos y las cajas rígidas y resistentes. En ambos solemos utilizar la adición de espumas y material de relleno para estabilizar y amortiguar la vibración, también las planchas y pequeñas cajas rígidas para aumentar la protección contra choques.

Los materiales plásticos con pH básico o neutro son preferibles para componer cajas y bolsas de acondicionamiento (Tabla 11). Se recomienda que tengan poco plastificante, ya que pueden generar reacciones y migraciones a los objetos arqueológicos. Si los materiales son exponencialmente reactivos, como las tablas de madera, o si la estabilidad del material de acondicionamiento tiene una fecha de caducidad, como es el caso del poliuretano, deben únicamente formar parte de los embalajes temporales, y luego ser reemplazados por otros más estables.

Tabla 11. Materiales y pH de acondicionamiento⁶⁴⁴

Preferencia de pH por materiales				
Material	pH 6-7	pH 7	pH 7-8	No sensible
Aluminio		X		
Fibras animales	X			
Cerámica				X
Aleaciones de cobre	X			
Vidrio				X
Aleaciones de hierro			X	
Plomo		X		
Cuero	X			
Mármol		X		
Concha			X	
Roca				X
Madera	X			
Fibras vegetales			X	
Zinc		X		

Son muy útiles los filmes de polietileno y de cloruro de polivinilo (PVC), el papel de aluminio, las bolsas tipo Ziploc y el plástico bolla. Los yesos, la espuma de poliuretano y la silicona forman parte de los materiales amortiguadores que tienen mucha eficacia en campo. Sin embargo, como se ha comentado, los productos de poliestireno, poliuretano y también el cloruro de polivinilo (PVC) generalmente no son muy estables, y su uso para acondicionamiento temporal apenas es recomendado. Cajas, plásticos y espumas de polietileno y el acrilán (manta acrílica) son buenas opciones de materiales amortiguadores estables para llevar a campo arqueológico.

Hay muchos materiales de embalaje interesantes en la actualidad utilizados por los conservadores-restauradores que han sido originalmente orientados a la aplicación en otras áreas, como la arquitectura o la industria alimenticia. Algunas marcas en especial, como Nylonnet®, Marvelseal®, Mylar®, Tyvek® y Dumond®, disponen de papeles, plásticos y textiles con varias características interesantes para el acondicionamiento en conservación. Sus productos son inertes, aislantes

⁶⁴⁴ Table of Materials and Preferred Environments, original de 1998, actualizado en 2017, citado en CARPENTER, J.; GODFREY, I. M.; MACLEOD, I. D. y RICHARDS, V. L. *Packing for Storage* [en línea]. Western Australian Museum [consulta: 21/09/2021]. Disponible en: <https://manual.museum.wa.gov.au/book/export/html/147>.

térmicos, resistentes al ataque de microorganismos, no abrasivos, filtrantes de la luz, de UV o de contaminantes.

La Sontara®⁶⁴⁵, por ejemplo, es una manta inerte, resistente a proliferación de microorganismos, de fácil manejo, libre de ácido, químicamente inerte y muy suave. Puede ser empleada para el almacenamiento de objetos frágiles⁶⁴⁶. Es interesante utilizarla en el acondicionamiento de objetos mojados pues puede retener un aporte de agua a casi el 90 % de su volumen, evitando que los materiales dentro de las bolsas de acondicionamiento se sequen. Los textiles Tyvek®, además de presentar muchas propiedades similares a la Sontara®, son extremadamente suaves, ideales para proteger materiales arqueológicos muy débiles y que corren riesgo de abrasión. El Marvelseal 360®, otro material con propiedades muy interesantes para los conservadores-restauradores, se trata de un film de polietileno metalizado que impide la entrada de aire, luz y humedad. Su capa externa de aluminio actúa como una barrera para el paso del aire, luz, partículas, y bloquea las variaciones de temperatura y humedad. El Marvelseal 360® tiene mucha estabilidad y su impermeabilidad es total. Es fácil de sellar usando una selladora térmica doméstica, pues la capa de polietileno se funde y sella rápidamente (Figura 44)⁶⁴⁷.



Figura 44. Sobre hecho de Marvelseal 360®⁶⁴⁸

Las bolsas plásticas para conservación de alimentos son también una opción útil para acondicionar objetos arqueológicos. Cerradas herméticamente,

⁶⁴⁵ DuPont® vendió a Jacob Holm Group en 2014.

⁶⁴⁶ Ver JACOB HOLM AND SONS. *Sontara®* [en línea]. Jacob Holm, s. f. [consulta: 21/09/2021]. Disponible en: <https://www.jacob-holm.com/emea/en-us/our-brands/sontara/>.

⁶⁴⁷ Ver CONSERVATION SUPPORT SYSTEMS. *Marvelseal 360®* [en línea]. S. f. [consulta: 21/09/2021]. Disponible en: <https://bit.ly/3aBKSn3>.

⁶⁴⁸ Fuente: Gerusa de A. Radicchi, 2007.

bloquean la entrada de aire y humedad con el ambiente externo. Una selladora doméstica es suficiente para hacer el cierre de las bolsas plásticas o de Marvelseal 360®. Por medio de la función de vacío de las selladoras, el aire puede ser considerablemente retirado de las bolsas plásticas antes de ser cerradas. Los aparatos de uso doméstico no proporcionan una succión muy potente, además de ser posible interrumpirla. En general, no ofrecen riesgo de presión hacia los objetos si son bien manejadas.

El problema de los materiales sofisticados de acondicionamiento es el alto coste, lo que va en contra de la realidad económica de muchos laboratorios de arqueología. Dado que el embalaje personalizado y especializado de cualquier objeto implica una importante inversión de tiempo y dinero, debemos evaluar el uso de materiales más caros de manera más relevante: para el mayor número de piezas posible y entre las más significativas⁶⁴⁹.

Es mejor separar los hallazgos grandes y pesados de los volúmenes con muchos objetos pequeños en cajas distintas para los traslados de campo al laboratorio. Muchos objetos pequeños no pueden soportar peso hacia ellos, siendo aplastados si se apilan. Mover objetos arqueológicos grandes y pesados de un local a otro también puede ser una actividad muy arriesgada, que se debe reducir al mínimo necesario. El planteamiento acerca de la mejor manera de hacer el movimiento, como el uso de bandeja, cajas, espumas y soportes rígidos, la ayuda de muchas personas, o el uso de carritos, reduce el posible riesgo de caer y rotura.

Para los hallazgos planos, como textiles, cuerdas y cueros, estén secos o mojados, se recomienda inmovilizarlos sobre un tejido tipo tul suave, que no se enganche con las fibras (Figura 45)⁶⁵⁰. Si fueran objetos tridimensionales, como zapatos o cesterías, el relleno con espumas o, por ejemplo, mantas acrílicas, puede ayudar a los objetos a empezar a recobrar la forma original.

⁶⁴⁹ CARPENTER, J.; GODFREY, I. M.; MACLEOD, I. D. y RICHARDS, V. L. *Packing for Storage*, op. cit.

⁶⁵⁰ *Ibid.*



Figura 45. Sobre de tul en vestigio de cuero⁶⁵¹

Muchas veces es necesario distribuir las cajas con el material arqueológico recolectado en condiciones ambientales diferentes. Aquellos materiales arqueológicos que requieren un estricto control y monitoreo de las condiciones ambientales deben estar juntos en las mismas cajas, facilitando así la coordinación del transporte de objetos que necesitan cuidados específicos. Las categorías más resistentes generalmente son los silíceos, mientras que las categorías más susceptibles a las fluctuaciones climáticas suelen ser los materiales orgánicos. El uso de termohigrómetros con marcadores *dataloggers* dentro de las cajas ayuda a registrar las variantes de RH % y T°C incidentes sobre los objetos durante el transporte al laboratorio, dándonos algunos datos para el diagnóstico sobre las variaciones ambientales incidentes en ese momento (Figura 46).



Figura 46. Termohigrómetro con registro *datalogger*⁶⁵²

⁶⁵¹ Fuente: Gerusa de A. Radicchi, UPV, 2018.

⁶⁵² Fuente: Gerusa de A. Radicchi, 2014.

Muchas colecciones arqueológicas son muy numerosas y un buen control de la organización de las cajas con un inventario detallado facilita el acceso a los objetos y reduce la necesidad de manipulación⁶⁵³. La identificación de las cajas y del material dentro de las cajas en lista de inventario es crucial para controlar la organización, transporte y llegada de cada artefacto recolectado⁶⁵⁴. Es también necesario introducir los códigos internacionales de seguridad en las cajas para comunicar a los transportistas las especificidades y fragilidades del material arqueológico que están manejando. Muchos países adoptan la normativa ASTM D5445-15 Standard Practice for Pictorial Markings for Handling of Goods de Naciones Unidas (Figura 47).



Figura 47. GHS, hazard symbols y ASTM, packaging symbols⁶⁵⁵

Como hemos dicho anteriormente, debemos tener en cuenta que la mayoría de los países no permitirá la importación de suelos y materiales vegetales. La documentación para el permiso de excavación y de entrada de material arqueológico en el país también debe estar aceptada y actualizada. Si el material arqueológico es requisado o tiene que guardar cuarentena, esto puede comprometer su preservación de manera irreversible.

⁶⁵³ NEWTON, Charlotte y COOK, Clifford. *Caring for archaeological collections*, op. cit.

⁶⁵⁴ CRONYN, Janet Margaret. *Elements of archaeological conservation*, op. cit., p. 99.

⁶⁵⁵ Fuente: dominio público.

Acondicionamientos especiales mojados

Como se ha planteado en el capítulo 3, los materiales arqueológicos orgánicos y algunos objetos silíceos son sensibles a las fluctuaciones de la RH % que ocurren después de la excavación, por eso, deben ser almacenados en bolsas selladas, que eviten las fluctuaciones de humedad. Las técnicas de embalaje en mojado se aplican a cualquier hallazgo húmedo, o mismamente a cualquier material de excavación que no sea de un ambiente extremadamente seco⁶⁵⁶.

Para el grupo de los orgánicos mojados se recomiendan tres tipos de cuidados en el acondicionamiento: mantenerlos mojados, mantenerlos en oscuro y mantenerlos en frío⁶⁵⁷. Esto obstaculizará el crecimiento microbiológico y ralentizará las degradaciones químicas. La humedad asociada al posible aumento de temperatura y de oxígeno después del rescate será responsable del aumento considerable del crecimiento de la mayoría de los microorganismos aeróbicos, siendo necesario mitigarlo con la disminución de la luz y el control artificial de la temperatura de almacenaje.

El promedio del 40 % de RH para el acondicionamiento seguro contra el crecimiento de microorganismos es imposible de alcanzar en bolsas con objetos mojados. Con más del 65 % de RH los microorganismos comienzan a crecer considerablemente⁶⁵⁸. La creación de atmósferas anoxias es por motivos logísticos obvios imposible. Por otra parte, la bibliografía recomienda evitar al máximo agregar biocidas a los objetos o en la solución de almacenamiento por la imposibilidad de prever reacciones colaterales, principalmente si al objeto se le va a realizar algún tipo de análisis posterior⁶⁵⁹.

A temperatura cercana a 4°C el ataque químico y biológico sobre los hallazgos es considerablemente retrasado, pudiendo ser una buena opción mantener la colección en refrigeradores, tanto después del rescate como durante su almacenaje en el laboratorio⁶⁶⁰. Adquirir neveras portátiles o cámaras de

⁶⁵⁶ *Ibid.*, p. 71.

⁶⁵⁷ ENGLISH HERITAGE. *Waterlogged Organic Artefacts: Guidelines on their recovery, analysis and conservation*, op. cit., p. 25.

⁶⁵⁸ CRONYN, Janet Margaret. *Elements of archaeological conservation*, op. cit., p. 72.

⁶⁵⁹ CARPENTER, J.; GODFREY, I. M.; MACLEOD, I. D. y RICHARDS, V. L. *Packing for Storage*, op. cit.

⁶⁶⁰ CRONYN, Janet Margaret. *Elements of archaeological conservation*, op. cit., p. 76.

refrigeración son estrategias eficaces para la conservación de colecciones de materiales orgánicos mojados en los laboratorios:

«Lo que constituye el almacenamiento temporal y a largo plazo depende de varios factores, incluido el tipo de material, la condición, el entorno de almacenamiento e incluso la estacionalidad (dependiendo de si el objeto se puede colocar en un refrigerador o no). Si un artefacto está en buenas condiciones y se guarda en un refrigerador, seis meses podrían constituir un almacenamiento temporal. En el caso de un artefacto muy degradado en condiciones menos que ideales, una semana puede ser temporal, por ejemplo, si no cabe en un frigorífico o cámara frigorífica y debe conservarse en una habitación fresca. La cuestión clave es que deben existir procedimientos tanto para monitorear rutinariamente el estado de los artefactos como para responder adecuadamente si los artefactos comienzan a deteriorarse activamente»⁶⁶¹.

Congelar a -16°C es la única forma de garantizar realmente preservación con relación a los ataques biológicos, pero esto introduce el problema de la expansión del agua al 9 % en objetos porosos⁶⁶², lo cual es ciertamente dañino para piezas frágiles empapadas y que no fueron halladas congeladas.

Las muestras de suelo y las microbiológicas deben mantenerse siempre frescas, sin luz ni aire y deben ser enviadas para ser procesadas en los laboratorios de análisis lo antes posible. Al igual que los hallazgos orgánicos húmedos, las muestras húmedas de suelo deben estar bien selladas para evitar la sequedad. No es recomendable la congelación, ya que esto puede destruir u oscurecer la estructura original del sedimento. Sin embargo, la congelación es preferible al almacenamiento de muestras con muchas huellas orgánicas bajo influencia de climas calientes durante un largo período de tiempo⁶⁶³.

⁶⁶¹ ENGLISH HERITAGE. *Waterlogged Organic Artefacts: Guidelines on their recovery, analysis and conservation*, op. cit., p. 24 (traducción nuestra).

⁶⁶² CRONYN, Janet Margaret. *Elements of archaeological conservation*, op. cit., p. 76.

⁶⁶³ CAMPBELL, Gill; MÖFFETT, Lisa y STRAKER, Vanessa. *Environmental Archaeology: a guide to the theory and practice of methods, from sampling and recovery to post-excavation*, op. cit., pp. 14 y 15.

Los cuidados de acondicionamiento de las muestras de tierra y las biológicas también evitarán considerablemente el crecimiento de bacterias y algas, que pueden provocar la pérdida de calidad de los resultados del análisis. La luz fomenta el crecimiento de algas y organismos vivos fotosintéticos que incorporan carbono en las muestras, afectando, por ejemplo, la precisión de la datación por radiocarbono⁶⁶⁴. Las condiciones de oscuridad pueden, entre tanto, favorecer el crecimiento de hongos, que puede conducir a la redistribución del carbono por medio del crecimiento de las hifas⁶⁶⁵. En todos los casos, la principal acción de conservación para evitar la degradación de la muestra es no mantenerla almacenada un largo período, enviándola inmediatamente a los especialistas. Un flujo de trabajo rápido es beneficioso tanto para el control del presupuesto como también para la supervivencia del material⁶⁶⁶:

«Con demasiada frecuencia, el almacenamiento temporal de materiales orgánicos anegados se convierte en almacenamiento a largo plazo por diversas razones. Esto puede conducir al deterioro del material y puede resultar en que los artefactos dejen de ser aptos para la conservación o el estudio. Esto, a su vez, no solo impedirá el progreso general de un proyecto, sino que puede aumentar los costos o presentar un peligro para la salud si se forma moho»⁶⁶⁷.

Para mitigar el crecimiento biológico de los materiales orgánicos es también una opción idónea el transporte en sumersión en agua —en bolsas selladas o cajas—. Esta opción disminuye la cantidad de oxígeno en contacto con el objeto, como también disminuye los daños causados por choque, siendo recomendable igualmente para los metales y para los cerámicos contaminados con muchas sales. Sin embargo, el acondicionamiento en inmersión es un sistema que genera mucho peso y mucho volumen para cargar y almacenar. Para laboratorios que tengan un

⁶⁶⁴ *Idem.*

⁶⁶⁵ *Idem.*

⁶⁶⁶ ENGLISH HERITAGE. *Waterlogged Organic Artefacts: Guidelines on their recovery, analysis and conservation*, op. cit., p. 24.

⁶⁶⁷ *Idem.* (traducción nuestra).

espacio limitado en las reservas técnicas, o para situaciones de restricción de manejo de cargamento de campo (situación en OPERANTARes), este tipo de acondicionamientos suelen ser una decisión problemática.

También queda siempre la duda de si es idóneo o no sumergir objetos orgánicos húmedos frágiles que estuvieron por tanto tiempo en un yacimiento de tierra, y no exactamente bajo agua. Para los objetos que proceden de yacimientos lacustres o marítimos, no hay dudas, el acondicionamiento por sumersión debe ser la primera opción. Se utiliza la misma agua del lugar de donde han sido extraídos.

Para metales y cerámicas también puede ser ideal el acondicionamiento en inmersión para inhibir la corrosión por el oxígeno (para el primero) y el secado y migración de sales (para el segundo). Los protocolos recomiendan el uso de agua desmineralizada en el acondicionamiento, no obstante, el agua desmineralizada sin carga alcalina puede no ser ideal para el uso como solución de almacenamiento para artefactos metálicos. Siendo ligeramente ácida es también ligeramente corrosiva⁶⁶⁸. Es necesario acrecentar algún inhibidor alcalino, tal como será presentado en el apartado 4.1.7 de este capítulo.

Acondicionamientos especiales secos

El aumento de oxígeno asociado a la humedad después de la excavación es el elemento responsable del aumento considerable de las reacciones de corrosión de los metales; para evitarlo, la bibliografía analizada menciona, además del uso de acondicionamiento por inmersión y de bolsas plásticas selladas al vacío, el uso de gel de sílice para acondicionamiento⁶⁶⁹. Cada objeto y fragmento de metal debe aún embalarse por separado, para que la diferencia de electronegatividad entre ellos no favorezca la corrosión

Los removedores oxígeno, para disminuir el oxígeno en su interior, también pueden ser agregados en las bolsas selladas (Figura 48). Para tales sistemas secos de acondicionamiento los metales deben ser antes desecados y, a lo mejor, por medio de los baños en disolventes desecantes, métodos que abordaremos más adelante en el apartado 4.1.6.

⁶⁶⁸ HAMILTON, Donny L. *Methods of conserving archaeological material from underwater sites*, op. cit.

⁶⁶⁹ CRONYN, Janet Margaret. *Elements of archaeological conservation*, op. cit., pp. 75 y 76.



Figura 48. Embalaje con OxySorb (izq.) y gel de sílice (der.)⁶⁷⁰

Aunque los deshumidificadores son dispositivos efectivos, hay situaciones de trabajo, como excavaciones arqueológicas, donde el control de la humedad en edificios y otras estructuras de almacenamiento por completos es muy difícil de lograr. El gel de sílice se utiliza entonces como medio para desecar y/o estabilizar la humedad dentro de recipientes o bolsas de plástico, ya que tiene la propiedad de absorber humedad hasta un punto de equilibrio de RH % con el entorno. Debe emplearse en cantidades suficientes y el área a secar debe estar completamente cerrada. Si el recipiente elegido es una caja de almacenamiento bien sellada y el cálculo de sílice fue adecuado, eso debe ser capaz de mantener la RH % en torno al 10 % por tiempo considerable⁶⁷¹. Según Cliff Cook (2019), el cálculo de la cantidad del gel se hace de la siguiente manera ⁶⁷²:

«El volumen interior de una caja cuadrada o rectangular se calcula multiplicando el largo por el ancho por la altura ($L \times An \times Al$). Para recipientes cilíndricos, la fórmula es la altura multiplicada por el radio (la mitad del diámetro) al cuadrado, multiplicado por π (pi), que es ($Al \times r^2 \times 3,14$). Usar valores métricos y medir sus longitudes en centímetros facilitará los cálculos porque puede dividir el volumen calculado por 1000 para obtener la cantidad de litros.

⁶⁷⁰ Fuente: Gerusa de A. Radicchi, isla Livingston, Antártica, 2018.

⁶⁷¹ CRONYN, Janet Margaret. *Elements of archaeological conservation*, op. cit., p. 75.

⁶⁷²COOK, Cliff. *Preparing Silica Gel for Contained Storage of Metal Objects*. Ottawa (Canadá): Canadian Conservation Institute; Government of Canada, 2019.

Para simplificar el cálculo, el volumen de los objetos y el volumen del gel de sílice puede ser ignorado. Un ejemplo de cálculo para una caja de almacenamiento podría ser: un recipiente de L = 30 cm, An = 20 cm y Al = 10 cm tendría un volumen de 6000 cm³. Para convertir a litros, 6000 cm³ × 1 litro/1000 cm³ = 6 litros. Si empleamos 50 g/litro de gel de sílice, entonces 6 litros × 50 g/litro = 300 g de gel de sílice de densidad regular⁶⁷³.

El gel de sílice puede reutilizarse muchas veces si se seca nuevamente. Esto generalmente se hace calentándolo en un horno a una temperatura de 60°C de 6 a 7 horas, o a 120°C durante 1 o 2 horas⁶⁷⁴. Puede tener agregados indicadores de RH %. Los indicadores de cobalto, muy usado en las décadas precedentes, ya no son muy recomendables, desde que la Comunidad Económica Europea (CEE) clasificó el cloruro de cobalto en la categoría 2 entre los productos cancerígenos⁶⁷⁵. Otros indicadores no nocivos pasaron entonces a sustituir el cobalto en esta función de indicación de la RH %, como la violeta de genciana⁶⁷⁶. Para gel de sílice sin indicadores, el monitoreo de RH % puede hacerse empleando un higrómetro, o por medio de cintas indicadoras de humedad.

Los absorbedores de oxígeno disponibles en el mercado generalmente contienen una mezcla de ciertos componentes, como carbón activado, polvo de hierro, sal de sodio y diatomeas de tierra. La mezcla sufre una reacción química que consume el oxígeno del interior del recipiente. Para la aplicación de los sobres de absorción de oxígeno, como la marca OxySorb®, se recomienda que el espacio libre dentro del volumen a desecar sea un pequeño porcentaje del volumen total y que el envase esté cerrado herméticamente. Por ejemplo, en un paquete con una capacidad total de 1 litros, el objeto a embalar puede ocupar 0,9 litros, dejando solo 0,1 litro (100 cm³) de aire. Luego tenemos que calcular la cantidad

⁶⁷³ COOK, Cliff. *Preparing Silica Gel for Contained Storage of Metal Objects*. Ottawa (Canadá): Canadian Conservation Institute; Government of Canada, 2019. (Traducción nuestra).

⁶⁷⁴ COOK, Cliff. *Preparing Silica Gel for Contained Storage of Metal Objects*. Ottawa (Canadá): Canadian Conservation Institute; Government of Canada, 2019.

⁶⁷⁵ GRUPO HAIYANG YINHAI ESPAÑA. *Gel de sílice con indicador de color naranja (WG-2)*. Gel de sílice [en línea], s. f. [consulta: 23/09/2121]. Disponible en: <https://bit.ly/3oSed55>.

⁶⁷⁶ SLICA GEL-DESECANTES INDUSTRIALES DEL NORTE. *Gel de Sílice con Indicador de color Naranja* [en línea]. S. f. [consulta: 23/09/2121]. Disponible en: https://silicagel.com.mx/gel_de_silice_indicador_saturacion_naranja.aspx.

de oxígeno dentro del espacio existente en el interior del contenedor⁶⁷⁷, o de la bolsa, para luego calcular la cantidad de absorbedor que debemos introducir en función de su capacidad de absorción (y que se establece por centímetros cúbicos de aire⁶⁷⁸).

El uso de absorbedores de oxígeno no es una opción barata, siendo una técnica inviable para su uso en grandes volúmenes, o para la aplicación en un gran número de bolsas de objetos arqueológicos. No es posible reciclar los absorbedores como el gel de sílice y, una vez que se abre un paquete con varias bolsitas, está recomendado utilizar todo el contenido pues el material puede perder su utilidad si es guardado en contacto mínimo con el aire⁶⁷⁹.

Control biológico con biocida

Los problemas de degradación biológica de los objetos arqueológicos después de la excavación, prácticamente no incluyen insectos y otros animales, sino que tienen como grandes enemigos los microorganismos, en especial hongos y bacterias. Los materiales silíceos y los metales no sufrirán problemas con relación a insectos y pocas veces surgirán problemas con microorganismos. Los artefactos orgánicos arqueológicos también raras veces son de interés para los insectos⁶⁸⁰, pero sí son de mucho interés para los microorganismos.

Debido a su toxicidad y por el hecho de adicionar sustancias con una potente acción residual en los objetos arqueológicos, los biocidas son siempre una segunda opción en los protocolos de tratamiento⁶⁸¹. Solamente cuando las técnicas pasivas de control del acondicionamiento han fallado, la adición de biocidas puede ser la solución.

Algunos de los biocidas encontrados en la bibliografía de conservación en arqueología se muestran en la Tabla 12. Para proceder al uso estos productos, la

⁶⁷⁷ largo x alto x ancho (cm) - peso neto (en g) x 21% (cantidad de oxígeno en el aire).

⁶⁷⁸ QUIMIDROL. *Absorbedores de oxígeno* [en línea]. Quimidrol, s.f. [consulta: 23/09/2121]. Disponible en: https://www.quimidrol.com.br/media/blfa_files/Absorvedor_de_Oxigenio_1.pdf.

⁶⁷⁹ Ejemplo: en un paquete con una capacidad total de 10 litros, el objeto a embalar debe ocupar 9 litros, dejando solo 1 litro de aire. Sin embargo, el volumen de oxígeno a absorber corresponde en realidad solo al 20 % del volumen de aire, es decir, 200 ml en este ejemplo. En otro ejemplo, un paquete con una capacidad total de 10 litros, donde el alimento a envasar ocupa 9 litros, dejando solo 1 litro (1000 cm³) de aire, tendremos 210 cm³ de oxígeno, por lo que se recomienda usar 1 bolsa de 3,5 g.

⁶⁸⁰ CRONYN, Janet Margaret. *Elements of archaeological conservation*, op. cit., p. 84.

⁶⁸¹ ENGLISH HERITAGE. *Waterlogged Organic Artefacts: Guidelines on their recovery, analysis and conservation*, op. cit., p. 23.

bibliografía revisada recomienda la consulta de las instrucciones de uso proporcionadas por los fabricantes de los productos. En general, la recomendación de disolución gira en torno a una proporción del 1 a 0,5 %⁶⁸². Algunos son poco solubles en agua, como los biocidas de orthophenylphenol, lo que implica limitaciones en su aplicación.

Tabla 12. Biocidas utilizados en conservación en arqueología

Sustancia biocida	Uso
Biotin	El Biotin es un biocida originalmente empleado para la conservación de materiales de albañilería como materiales pétreos, morteros, ladrillos. El principio activo del Biotin T posee es octil-isotiazol (OIT) y sales de amonio cuaternario. El principio activo del Biotin R posee es octil-isotiazol (OIT) y carbamato, y tiene la diferencia de que se utiliza en soluciones con disolventes orgánicos ⁶⁸³
Etanol	El etanol utilizado a 70 % en agua puede ser un buen fungicida. El etanol elimina hongos por deshidratación y degradación de las proteínas ⁶⁸⁴
Eugenol	Componente natural existente en abundancia en la esencia de clavos y que se utiliza originalmente para asegurar la estabilidad de alimentos frente al ataque de microorganismos ⁶⁸⁵
Orthophenylphenol	Los orthophenylphenol (Dowaside 1, Topane S) tienen baja toxicidad y un buen poder antifúngico. Son opciones poco solubles en agua, pero solubles en solventes orgánicos. El Dowaside, en especial, se ha utilizado mucho para controlar el crecimiento de bacterias y moho en adhesivos, cuero, papel y textiles ⁶⁸⁶
Preventol® RI50	El Preventol® RI50 es un concentrado de sales de amonio cuaternario utilizado en la prevención contra el crecimiento de microorganismos. Se emplea en la desinfección de materiales pétreos, madera y cerámica ⁶⁸⁷
Sodio Orthophenylphenate	Los sodios orthophenylphenate (Dowaside A, Topane WS) son biocidas poco volátiles, suelen generar acción residual en los objetos, pero son menos tóxicos. A bajas proporciones y disueltos en etanol son utilizados para inhibir el crecimiento de líquenes en piedra y para dar una fuerte protección contra hongos en madera ⁶⁸⁸

⁶⁸² CARPENTER, J.; GODFREY, I. M.; MACLEOD, I. D.; RICHARDS, V. L. *Wet Materials*. op. cit.

⁶⁸³ CTS. *Catálogo General*, op. cit., p. 74.

⁶⁸⁴ STRANG, Thomas J. K. y DAWSON, John E. *Controlling museum fungal problems. Le contrôle des moisissures dans les musées*. Ottawa (Canadá): Canadian Conservation Institute, 1991, p. 4.

⁶⁸⁵ DENTEGO. *Eugénol. définition et posologie* [en línea]. S. f. [consulta: 18/09/21]. Disponible en: <https://bit.ly/3mPOKbJ>.

⁶⁸⁶ STRANG, Thomas J. K. y DAWSON, John E. *Controlling museum fungal problems. Le contrôle des moisissures dans les musées*, op. cit., p. 4.

⁶⁸⁷ CTS. *Catálogo General*, op. cit., p. 74.

⁶⁸⁸ STRANG, Thomas J. K. y DAWSON, John E. *Controlling museum fungal problems. Le contrôle des moisissures dans les musées*, op. cit., pp. 4 y 5.

Timol	Fungicida presente en los aceites del tomillo o del orégano. Eficaz solo con cierta clase de esporas. En algunos casos ha mostrado influir positivamente en el crecimiento de algunas especies de hongos ⁶⁸⁹
-------	---

Existen muchos criterios para elegir un biocida, no solamente la concentración de la dilución. Debemos priorizar el uso de productos que no representen un riesgo para las personas, que no generen cambios en los objetos y que tengan eficacia sobre las especies microbiológicas que queremos suprimir. El problema de la aplicación del biocida es que no es fácil aclararnos acerca de los riesgos y residuos dejados por él, como tampoco es fácil saber exactamente cómo los biocidas actúan para inhibir el crecimiento biológico.

Muchos datos técnicos sobre los biocidas no están fácilmente disponibles para sus usuarios, como, por ejemplo, el principio activo de inhibición de eliminación y/o supresión de los microorganismos, el tiempo de acción, la acción residual, cuáles son las especies microbiológicas a las que cada biocida está dirigido o cómo reaccionan sus esporas. Tampoco es fácil saber sin análisis biológicos sistemáticos cuáles son las especies microbiológicas que están colonizando nuestros hallazgos arqueológicos en el pre o posacondicionamiento y cómo soportan el biocida.

Algunas veces el objetivo del biocida es provocar la pérdida de viabilidad del microorganismo, o sea, el microorganismo solamente pierde la capacidad de crecer y multiplicarse⁶⁹⁰. Igualmente a cuando se altera la temperatura o el pH de los hallazgos, no significa que se esté exterminando a los microorganismos; también puede significar que ellos, simplemente, tuvieron inhibida la capacidad de desenvolverse, pero aún están ahí⁶⁹¹. El tiempo de permanencia y el poder de acción también son variables, como el enfoque puede ser de bactericida o de fungicida.

La esterilización por radiación acaba definitivamente con los ataques microbiológicos y de insectos sin acción residual. Las radiaciones ultravioletas en

⁶⁸⁹ GRUPO ESPAÑOL DE CONSERVACIÓN. *Timol* [en línea]. GE-IIC, s. f. [consulta: 18/09/21]. Disponible en: <https://www.ge-iic.com/fichas-tecnicas/biocidas-herbicidas-etc/timol>.

⁶⁹⁰ IÁÑEZ, Enrique. *Agentes Físicos. Microbiología General, op. cit.*

⁶⁹¹ *Ibid.*

especial tienen mucho efecto sobre las bacterias⁶⁹². Pero estos tratamientos son costosos e inviables para largas colecciones. Pocos laboratorios pueden hacerlo. Tampoco es fácil saber si las radiaciones causan la degradación del material en algún nivel⁶⁹³.

4.1.5. Limpieza

Mucha de la estabilidad química del material arqueológico se logra por las técnicas de limpieza. Los tratamientos de limpieza se desarrollan de dos formas: por medios intervencionistas pasivos —sin agregar productos químicos—, o por medios intervencionistas activos —con la aplicación de productos químicos—⁶⁹⁴. Hay que tener en cuenta ciertos factores antes de elegir entre las dos opciones: la singularidad del hallazgo conservado, la fragilidad del material, el interés científico, los exámenes fisicoquímicos previstos y el objetivo⁶⁹⁵.

Hay mucha controversia con respecto al momento de empezar y terminar la limpieza de los objetos arqueológicos, como también la hay con respecto a la intensidad adecuada a cada uno de ellos. Para intentar solucionar tales cuestiones, es mejor que la limpieza sea entendida como parte de un proceso de varias etapas y varios grados, que empiezan desde el momento en que el objeto arqueológico comienza a ser revelado en el yacimiento y que deben ser aplicadas paulatinamente.

Sin embargo, hay una diferencia importante entre el tipo de limpieza que ocurre en campo y el tipo de limpieza que se desarrolla en el laboratorio. Las limpiezas que ocurren en campo son más superficiales, pues sirven más para la retirada del exceso de tierra. No se puede esperar solucionar los problemas de las impurezas y concreciones de los objetos arqueológicos que necesitan de productos químicos en campo. Tampoco se puede vincular la limpieza en campo a los objetivos estéticos. Muchos objetos arqueológicos no pueden ser lavados a la ligera en campo. Muchos orgánicos ni siquiera soportarían baños de limpieza en el

⁶⁹² *Ibid.*

⁶⁹³ CORTELLA, Laurent; ALBINO, Christophe; TRAN, Quoc Khoi y FROMENT, Karine. 50 years of French experience in using gamma rays as a tool for cultural heritage remedial conservation. *Radiation Physics and Chemistry*. 2020, vol. 171, p. 108 726.

⁶⁹⁴ CRONYN, Janet Margaret. *Elements of archaeological conservation*, op. cit., p. 69.

⁶⁹⁵ PROUST, Clotilde. *Intervention du conservateur-restaurateur sur une fouille préventive*, op. cit.

laboratorio. Las limpiezas arriesgadas, sean pasivas o activas, deben todas ser dejadas para el laboratorio, donde se desarrollan los cuidados más demorados y complejos⁶⁹⁶. Por toda su complejidad, la limpieza de orgánico es sin duda la más polémica.

En caso de dudas, las decisiones de limpieza deben tomarse consultando a los arqueólogos integrantes del grupo, para la evaluación en conjunto de las ventajas y desventajas de las limpiezas en campo (Tabla 13). Muchas veces las suciedades de los artefactos forman también parte de los datos arqueológicos y no deben ser removidas y descartadas —como restos de alimentos en botellas y vajillas, sedimentos con microvestigios, etc.—. Por seguridad, se puede etiquetar y almacenar el sedimento eliminado en las limpiezas.

Tabla 13. Ventajas y desventajas de lavar materiales orgánicos en campo⁶⁹⁷

	Beneficios	Desventajas
Lavado	Los artefactos se pueden evaluar e identificar. Tiempo y costos reducidos cuando el conservador encuentra un especialista que se hace cargo	Pérdida accidental de material asociado. Artefactos más propensos al daño físico, desecación y moho
No lavado	Condiciones más favorables para los artefactos durante el almacenamiento	Mayor tiempo y costos cuando el conservador encuentra un especialista que se hace cargo. No es posible la identificación, la datación puntual o la evaluación de la condición inicial.

Debemos empezar las limpiezas más profundas produciendo un plan de tratamiento que contenga la evaluación de la naturaleza de las suciedades. A. Tímár-Balázs (1998) planteó muy bien la dimensión multifacética de la suciedad de textiles. Sus clasificaciones resultan muy útiles ya que pueden servir de base para descifrar en mucho la suciedad arqueológica en general (Tabla 14).

⁶⁹⁶ RODGERS, Bradley A. *The archaeologist's manual for conservation: a guide to non-toxic, minimal intervention artifact stabilization*, op. cit., pp. 165-168.

⁶⁹⁷ Basado en ENGLISH HERITAGE. *Waterlogged Organic Artefacts: Guidelines on their recovery, analysis and conservation*, op. cit., p. 22, tabla 4.

Tabla 14. Clasificación de la suciedad⁶⁹⁸

Clasificación de la suciedad		
En cuanto al origen	En cuanto a la solubilidad	En cuanto a la forma
<u>Proveniente del uso</u> <u>Local de deposición antes del descubrimiento</u> <u>Contaminantes</u>	<u>Suciedades polares.</u> Moléculas inorgánicas iónicas y no polares, solubles en disolventes polares, como el agua <u>Suciedades apolares.</u> Moléculas inorgánicas y orgánicas sin polaridad; inicialmente no serían solubles en solventes polares, como el agua, pero terminan siendo parcialmente removidas por la fuerza de repulsión causada por la inmersión en agua	<u>Partículas.</u> Compuestas por varias partículas adheridas, como tierra, productos de calcificación marina, etc. <u>Moleculares.</u> Usualmente disueltas en agua o solventes orgánicos <u>Partículas de gran dimensión.</u> Grasas, aceites, proteínas y polisacáridos
En referencia al daño ocasionado		
<ul style="list-style-type: none"> • Los sólidos causan principalmente estrés mecánico y fricción • Polvo y contaminantes del aire filtrado generan decoloración y amarilleo • Color negro generado por contaminantes de las emisiones de combustible y que absorben compuestos ácidos y alcalinos, agentes oxidantes y reductores • Suciedad que contiene iones metálicos, catalizadores de fotorreacción • La sedimentación terrestre y marina posee productos corrosivos como sales inorgánicas, óxidos, sulfatos, carbonatos, nitratos, silicatos, metasilicatos, hidróxidos de sodio, potasio, calcio, magnesio, manganeso y otros metales, y amonio • La alcalinidad y la acidez generan varias reacciones químicas de degradación • El hidróxido y óxido de calcio aumentan la alcalinidad • Aceites y grasa pueden contener ácidos, además de generar mucha tensión en la región • Proteínas (sangre, alimentos y otros) generan reacciones de manchas y envejecimiento • Microorganismos descomponen las fibras y proteínas • Adhesivos se endurecen, debilitan y envejecen y pueden aumentar la acidez del pH 		

Todas las limpiezas deben plantearse de forma gradual, selectiva y evitar las limpiezas químicas muy fuertes. Se recomienda que se realicen catas de limpieza para ayudar en la elección de los métodos y los productos químicos. En general, los tratamientos de limpieza se dividen en tratamientos de limpieza físico-mecánica,

⁶⁹⁸ Basado en TÍMÁR-BALÁZSY, Ágnes y EASTOP, Dinah. *Chemical principles of textile conservation*. Part 2, *Cleaning*, op. cit., pp. 157-162.

mecánica o química, los cuales en la práctica son complementarios⁶⁹⁹, y mezclan medios más o menos intervencionistas.

Tratamientos físico-mecánico, mecánico y químico

La limpieza físico-mecánica es la limpieza que se hace con medios mecánicos (instrumentos de limpieza) y con ayuda de disolventes. Los principales disolventes son el agua, el alcohol y la acetona⁷⁰⁰. Los instrumentos pueden ser brochas, bisturís, bastoncillos de madera, cepillos, microtornos, microabrasímetros, agujas, pinzas, escalpelos dentales, polvos abrasivos, baño de ultrasonido, etc.⁷⁰¹. La limpieza mecánica es la limpieza que se hace simplemente utilizando los instrumentos de limpieza⁷⁰². Los microscopios y estereoscopios son instrumentos de gran utilidad como apoyo para apoyar en la limpieza físico-mecánica y mecánica puntual y delicada (Figura 49).



Figura 49. Abrasión por bisturí y lupa⁷⁰³

Para los objetos extraídos en bloque, se aplica una tipología de limpieza particular de tipo principalmente mecánico: la microlimpieza de investigación. Se realiza en el laboratorio y consiste en un proceso de decapado lento y cuidadoso,

⁶⁹⁹ CARRASCOSA MOLINER, Begoña. *La conservación y restauración de objetos cerámicos arqueológicos*. Madrid (España): Tecnos, 2009.

⁷⁰⁰ *Ibid.*

⁷⁰¹ CRONYN, Janet Margaret. *Elements of archaeological conservation*, op. cit., p. 64.

⁷⁰² CARRASCOSA MOLINER, Begoña. *La conservación y restauración de objetos cerámicos arqueológicos*, op. cit.

⁷⁰³ Fuente: Gerusa de A. Radicchi, 2016. Curso de tratamientos específicos de limpieza y cromatismo de cerámicas arqueológicas. Teoría y práctica aplicada a las decoraciones ibéricas, celebrado del 16/01/16 al 27/02/16 en la Escuela de Conservación y Restauración de Bienes Culturales de la UPV. Docentes: Begoña Carrascosa Moliner y Esther Nebot Díaz.

para descubrir los detalles del objeto y diagnosticar el estado de degradación, registrándose meticulosamente.

La limpieza química es la limpieza en la cual se tiene como objetivo aplicar el producto químico para eliminar las impurezas y suciedades⁷⁰⁴ (Tabla 15). Ocurre generalmente mediante reacciones que transforman los productos insolubles en solubles o volátiles, y en los casos en que el agua simplemente no sea un medio disolvente de limpieza suficiente. Ocurren principalmente por medio de la dispersión de las impurezas por agentes tensioactivos (como el New Des 50®) o la disolución por reactivos (como los ácidos). En el primer tipo, la suciedad que no se haya disuelto fácilmente en agua se puede eliminar mediante la adición del detergente. En el segundo tipo, los depósitos son degradados químicamente y los materiales solubles luego se retiran⁷⁰⁵.

⁷⁰⁴ *Ibid.*

⁷⁰⁵ CRONYN, Janet Margaret. *Elements of archaeological conservation*, op. cit., p. 65

Tabla 15. Principales agentes de limpieza química recomendados en la bibliografía

Productos	Función
Ácido acético ⁷⁰⁶	Ácido de limpieza suave aplicado en incrustaciones
Ácido cítrico ⁷⁰⁷	Ácido suave utilizado en la limpieza de carbonatos y algunas concreciones calcáreas
Ácido fórmico ⁷⁰⁸	Ácido de limpieza utilizado en tratamientos de la plata o aleaciones de plata y cobre. Fuerte agente reductor y descalcificador
B.D.G. 86® ⁷⁰⁹	Agente de limpiezas para manchas en las superficies de cerámica, piedra, hueso y vidrio
Benzotriazol	Usado como agente complejante y como pasivador de la corrosión del cobre y de sus aleaciones
Calgon ⁷¹⁰	Es un hexametáfosfato de sodio probado suave y eficaz en la eliminación de concreciones de objetos de cerámica, vidrio y piedra más delicados
Carbogel®	Gel de limpieza auxiliar de la amplificación del tiempo de acción de agentes químicos
EDTA (disódica y tetrasódica) ⁷¹¹	Agente quelante y complejante para iones (la tetrasódica es menos soluble en agua y tiene pH básico, mientras la disódica es más soluble en agua y tiene el pH más ácido). Utilizado en limpieza de metales, como agentes eluyentes en intercambiadores de iones y como secuestrador del calcio y de los productos de alteración del bronce y del hierro
Hexametáfosfato de sodio ⁷¹²	Complejante más débil que el EDTA y con pH neutro
New Des 50® ⁷¹³	Tensioactivo de carácter catiónico que posee un elevado poder detergente y elevada capacidad limpiadora
Peróxido de hidrógeno	Agente blanqueador de manchas, pero no muy recomendable, puede actuar como elemento de degradación de materiales orgánicos, pues está involucrado en la producción de agentes oxidantes fuertes ⁷¹⁴
Symperonic® ⁷¹⁵	Tensioactivo no iónico totalmente saturado, muy usado como detergente no iónico, emulsificador, humectante
Teepol® ⁷¹⁶	Detergente neutro y tensioactivo de bajo poder afrógeno (sin espuma)
Triton-X 100® ⁷¹⁷	Surfactante no iónico, agente humectante, emulsificador o detergente suave y tensioactivo.

⁷⁰⁶ RODGERS, Bradley A. *The archaeologist's manual for conservation: a guide to non-toxic, minimal intervention artifact stabilization*, op. cit., p. 160.

⁷⁰⁷ *Ibid.*, pp. 113 y 151.

⁷⁰⁸ *Ibid.*, p. 160.

⁷⁰⁹ CTS. B.D.G. 86 [en línea], S. f. [consulta: 23/09/2021]. Disponible en: <https://www.ctseurope.com/it/67-bdg-86>.

⁷¹⁰ RODGERS, Bradley A. *The archaeologist's manual for conservation: a guide to non-toxic, minimal intervention artifact stabilization*, op. cit., pp. 150 y 151.

⁷¹¹ CTS. *Catálogo General*, op. cit., p. 57.

⁷¹² *Idem.*

⁷¹³ *Ibid.*, p. 60.

⁷¹⁴ SANDSTRÖM, Magnus; FORS, Yvonne; JALILEHVAND, Farideh; DAMIAN, Emiliana y GELIUS, Ulrik. Analyses of sulfur and iron in marine-archaeological wood. En: P. HOFFMANN, K. STRAETKVERN, J. A. SPRIGGS y D. GREGORY, eds. *Proceedings of the Ninth ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference*. Bremerhaven (Alemania): Verlag H. M.; Hauschild for the International Council of Museums; Committee for Conservation Working Group on Wet Organic Archaeological Materials, 2005, p. 182.

⁷¹⁵ GRUPO ESPAÑOL DE CONSERVACIÓN. *Symperonic* [en línea]. GE-IIC, s. f. [consulta: 18/09/21]. Disponible en: <https://www.ge-iic.com/fichas-tecnicas/detergentes/symperonic>.

⁷¹⁶ GRUPO ESPAÑOL DE CONSERVACIÓN. *Teepol* [en línea]. GE-IIC, s. f. [consulta: 18/09/21]. Disponible en: <https://www.ge-iic.com/fichas-tecnicas/detergentes/teepol>.

⁷¹⁷ GRUPO ESPAÑOL DE CONSERVACIÓN. *Triton-X 100* [en línea]. GE-IIC, s. f. [consulta: 18/09/21]. Disponible en: <https://www.ge-iic.com/fichas-tecnicas/detergentes/triton-x-100>.

Los productos de limpieza química se utilizan a menudo en baños a bajas concentraciones (en torno al 2-10 %). También se utilizan bajo aplicación tópica, como con geles de carboximetilcelulosa, hisopos, pulpa de celulosa, o polvo de silicato de magnesio hidratado (sepiolita), lo que permite actuar de forma localizada⁷¹⁸. Estos recursos son interesantes para retrasar la volatilidad y mantener la acción por el contacto sobre la superficie que se desea limpiar. Muchas veces no es aconsejable sumergir materiales secos porosos ya que el agente transporta inmediatamente los desechos de la superficie al centro del objeto. Es preferible el uso de materiales de uso tópicos que se empapan con el reactivo y se aplican sobre el artefacto para remover suciedades puntuales⁷¹⁹.

La limpieza química puede ofrecer resultados espectaculares en poco tiempo, pero ofrece riesgo y debe ser aplicada preferencialmente con los productos menos agresivos. En general, es más difícil de controlar y los agentes a menudo pueden penetrar demasiado en el objeto. Las catas de limpieza son bastante útiles como pruebas de seguridad (Figura 50).

Todos los tratamientos químicos deben intentarse desde los productos más débiles hasta los más fuertes, y empezar por pruebas en áreas pequeñas antes de limpiar todo el objeto por medio de la inmersión. Se debe tener mucho cuidado en cuanto al tiempo de tratamiento, sometiendo una pequeña porción de una muestra del objeto al tratamiento antes de sumergir el artefacto completo en el lavado químico.

⁷¹⁸ ZAMBRANO, Luis Carlos. Estabilización del cuero húmedo mediante impregnación con polisiloxanos. Platinación de un zapato militar del navío Fougueux, Cádiz, siglo XIX. En: F. X. NIETO PRIETO y M. BETHENCOURT NÚÑEZ, coords. *Arqueología subacuática española: Actas del I Congreso de Arqueología Náutica y Subacuática Española, Cartagena, 14, 15 y 16 de marzo de 2013*. Cádiz: Editorial UCA, 2014, pp. 403-412.

⁷¹⁹ CRONYN, Janet Margaret. *Elements of archaeological conservation*, op. cit., p. 67.



Figura 50. Limpieza con alcohol e hisopo⁷²⁰

El lavado intenso debe seguir al uso de productos químicos para eliminar los excesos⁷²¹. El artefacto debe enjuagarse con agua destilada después de cada remojo⁷²². La alteración del pH de la solución de lavado por la adición de álcalis o ácidos a menudo facilita la disolución, pero también puede atacar el artefacto dependiendo de su naturaleza.

Baños estabilizadores

El agente más simple y más beneficioso de limpieza es el agua⁷²³. Puede ser considerada un agente químico de limpieza universal y eficaz. Tiene pH neutro, es barata, de fácil acceso y se puede utilizar en solución con alcoholes para eliminar la suciedad de las superficies delicadas donde la alta tensión superficial del agua es demasiado destructiva. Por su fuerte polaridad, transporta fácilmente la suciedad polar y disuelve muchas suciedades inorgánicas, sales orgánicas por hidratación y suciedades orgánicas polares (como azúcares, polisacáridos y proteínas)⁷²⁴. Sin embargo, las grasas y ceras, por ejemplo, que son no polares, necesitarán un detergente para disolverse.

⁷²⁰ Fuente: Gerusa de A. Radicchi, 2016. Curso de tratamientos específicos de limpieza y cromatismo de cerámicas arqueológicas. Teoría y práctica aplicada a las decoraciones ibéricas, celebrado del 16/01/16 al 27/02/16 en la Escuela de Conservación y Restauración de Bienes Culturales de la UPV. Docentes: Begoña Carrascosa Moliner y Esther Nebot Díaz.

⁷²¹ CRONYN, Janet Margaret. *Elements of archaeological conservation*, op. cit., p. 66.

⁷²² RODGERS, Bradley A. *The archaeologist's manual for conservation: a guide to non-toxic, minimal intervention artifact stabilization*, op. cit., p. 167.

⁷²³ CRONYN, Janet Margaret. *Elements of archaeological conservation*, op. cit., p. 66.

⁷²⁴ TÍMÁR-BALÁZSY, Ágnes y EASTOP, Dinah. *Chemical principles of textile conservation*. Part 2, *Cleaning*, op. cit., pp. 157-265.

El agua es el componente central de las limpiezas de las sales solubles de los materiales arqueológicos y de la neutralización del pH. Las sales, compuestos iónicos obtenidos bajo la reacción entre ácidos y bases, disueltas en agua generan iones que pueden o no reaccionar con el agua (hidrólisis), formando la base el ácido H_3O^+ y OH^- . Las disoluciones acuosas de sales procedentes de un ácido y base fuertes no se hidrolizan, como es el caso del cloruro de sodio (NaCl), sin cambiar el pH. Por otra parte, si el ácido es fuerte, el pH de la solución tiende a bajar; si solo la base es fuerte, a subir⁷²⁵.

Para evitar problemas con la salida abrupta de sal por presión osmótica en los hallazgos subacuáticos marinos, Rodgers (2004)⁷²⁶ recomienda que la solución de almacenamiento inicial del baño sea de 50 % de agua dulce mezclada con 50 % de agua salada, y que la concentración de la solución vaya disminuyendo con una solución de agua dulce al 50 %, y así sucesivamente, hasta que llegue al 100 % de agua dulce. El material recuperado de los ambientes de agua dulce, por su parte, puede permanecer almacenado en agua dulce sin preocuparse por los problemas de presión osmótica⁷²⁷.

La acidez inicial de los objetos se puede medir directamente sobre ellos por contacto en la superficie húmeda de los objetos con las cintas de pH. En los baños, el pH del agua de los baños se puede controlar con un medidor de pH electrónico y la desalinización de los mismos se controla con un medidor de conductividad⁷²⁸. A medida que disminuye la concentración de sales o la acidez en el objeto, aumenta la del agua de baño, por ello, deben cambiarse periódicamente los baños de agua. Para la desalinización, el tratamiento finaliza cuando la conductividad sea próxima a la del agua pura (Tabla 16).

⁷²⁵ MORAIS EZQUERRO, Sergi Beñat; NOGUERA MURRAY, Patricia Silvestre; TORTAJADA GENARO, Luis Antonio; ATIENZA BORONAT, María Julia y HERRERO VILLEM, María Asunción. *Propiedades ácido-base de las sales* [artículo docente]. Valencia: Universitat Politècnica de València, 2015.

⁷²⁶ RODGERS, Bradley A. *The archaeologist's manual for conservation: a guide to non-toxic, minimal intervention artifact stabilization*, op. cit., p. 150.

⁷²⁷ *Idem*.

⁷²⁸ CRONYN, Janet Margaret. *Elements of archaeological conservation*, op. cit., p. 81.

Tabla 16. Conductividad de sales en agua⁷²⁹

Algunos valores de la conductividad a 25°C	
Solución	Conductividad (en $\mu\text{S}/\text{cm}$)
Agua ultrapura	0,055
Agua destilada fresca	1
1 ppm NaCl	2,2
Agua destilada vieja	4
10ppmNaCl	21
Agua potable	50 a 500
500ppm NaCl	1000
1 %NaCl	17 600
Agua de mar	50.000
30 % H ₂ SO ₄	820.000

Para fines de conservación, las pruebas de cloruro también se recomiendan para artefactos grandes, aquellos que se someterán a meses en los baños. Las pruebas funcionan como un gráfico de cloruros medidos en partes por millón (ppm) en la solución de enjuague. Cuando los cloruros suben a una cierta cantidad en la solución de enjuague se cambia el agua, de modo que no se acumulará e inhibirá la función de la retirada de sales. En general, cuando la prueba semanal de cloruros revela un nivel de 1000 a 1500 ppm o más, la solución se cambia⁷³⁰.

La desalinización completa en arqueología se realiza a menudo para objetos silíceos y maderas arqueológicas marítimas, mediante una inmersión de largo plazo por la cual los capilares del artefacto liberan las sales u otros productos químicos atrapados en él. El proceso de limpieza puede tardar muchos meses dependiendo de las dimensiones de los objetos y de las condiciones del yacimiento. Si las piezas son grandes y proceden de yacimientos marítimos, serán necesarios muchos meses de tratamiento (Figura 51).

⁷²⁹ FERNANDES, Alexandre. *A medida de pH e Condutividade* [en línea]. GEHAKA, Sanepar, 2013 [consulta: 23/09/2021]. Disponible en: https://www.gehaka.com.br/downloads/apresentacao_sanepar.pdf.

⁷³⁰ RODGERS, Bradley A. *The archaeologist's manual for conservation: a guide to non-toxic, minimal intervention artifact stabilization*, op. cit., p. 92.



Figura 51. Baño de desalinización de madera marina⁷³¹

El uso del agua desmineralizada o bidestilada es recomendado tanto para las soluciones de baño como para el almacenamiento. Sin embargo, algunas fuentes bibliográficas apuntan que es posible el uso de agua de grifo para objetos arqueológicos que vienen del yacimiento muy contaminados con sales e impurezas. O sea, si el material a ser conservado contiene más contaminantes que el suministro de agua local, en algunos casos se puede utilizar el agua del grifo, cuando eso facilite las actividades de conservación y disminuyan el coste y el tiempo del tratamiento⁷³². Aun así, los baños finales de la desalinización han de realizarse con agua desmineralizada.

Para objetos pequeños y frágiles no es recomendable agua corriente, sino los baños estáticos. Se depositan los hallazgos en compartimentos hechos con telas, por ejemplo con *nylon*, para que la tierra y las impurezas puedan decantar en el fondo (Figura 52). Mientras los objetos están bajo inmersión, cepillarlos suavemente puede ayudar a remover la tierra y la suciedad superficial⁷³³.

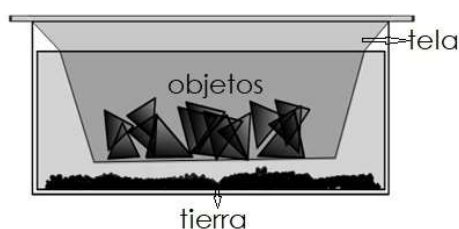


Figura 52. Baño estático de hallazgos arqueológicos⁷³⁴

⁷³¹ Fuente: Anita Jelić, ICUA, 2020. *Workshop de conservación de orgánicos mojados*.

⁷³² HAMILTON, Donny L. *Methods of conserving archaeological material from underwater sites*, op. cit.

⁷³³ SEASE, Catherine. *Conservation Manual for the field archaeologist*, vol. 4, *Archaeological Research Tools*, op. cit., p. 30.

⁷³⁴ *Ibid.*

Materiales frágiles como cueros y textiles recuperados húmedos pueden ser lavados con cepillos suaves o esponja apoyándolos en un marco con una red permeable para atrapar fragmentos⁷³⁵. El agua se deja caer en hilos suaves. Puede utilizarse sobre de tul para mantener la cohesión de los objetos más frágiles. Ante todo, hay que evaluar la capacidad del material para soportar la limpieza, sometiendo pequeñas muestras del objeto arqueológico al tipo de lavado. Baños ultrasónicos pueden ser aplicados en cueros, cordajes y textiles más sensibles⁷³⁶. Es imperativo también que, después del baño de pieles, cueros y textiles anchos, se tenga espacio suficiente para extender el material⁷³⁷.

4.1.6. Secado

Materiales arqueológicos depositados en ambientes húmedos, alagados o congelados inevitablemente tendrán que pasar por la fase crítica del secado en algún momento después del rescate. Para mitigar posibles daños causados por los cambios del contenido de humedad de los objetos, la conservación cuenta con algunos métodos que hacen que el secado sea menos agresivo.

La mayoría de los materiales exigen deshidratación controlada desde el momento de la excavación, ya que la eliminación drástica del agua puede provocar su colapso. Cuanto más rápida sea esta, más abruptos serán los daños⁷³⁸. La prevención de la pérdida de agua *in situ* dependerá en parte del entorno ambiental de la excavación y en parte de las condiciones del tiempo, como cuando el día está caluroso, soleado y ventoso⁷³⁹. Para prevenirlo, los objetos se pueden rociar en el yacimiento con agua y protegerlos con cubiertas de plástico o espumas húmedas⁷⁴⁰.

⁷³⁵ ENGLISH HERITAGE. *Waterlogged Organic Artefacts: Guidelines on their recovery, analysis and conservation*, op. cit., p. 38.

⁷³⁶ *Idem*.

⁷³⁷ RODGERS, Bradley A. *The archaeologist's manual for conservation: a guide to non-toxic, minimal intervention artifact stabilization*, op. cit., p. 166.

⁷³⁸ KAYE, Barry. *Conservation of waterlogged archaeological wood*, op. cit.

⁷³⁹ CRONYN, Janet Margaret. *Elements of archaeological conservation*, op. cit., pp. 70 y 71.

⁷⁴⁰ COLES, John M. (ed.). *Waterlogged wood: guidelines on the recording, sampling, conservation, and curation of structural wood*, op. cit.; ENGLISH HERITAGE. *Waterlogged Organic Artefacts: Guidelines on their recovery, analysis and conservation*, op. cit., p. 8; CRONYN, Janet Margaret. *Elements of archaeological conservation*, op. cit., pp. 70 y 71.

Una vez levantado el objeto del suelo, se puede permitir que un material más robusto y menos degradado se seque, y así se equilibre con la RH % ambiental. En todos los casos, jamás se utiliza el calor del sol o fuentes artificiales de calor. También, en todos los casos, si el secado es demasiado rápido, debemos usar alguna protección para mitigar la velocidad de la evaporación⁷⁴¹. Para objetos grandes (varios metros) y grandes cantidades, las habitaciones equipadas con sistemas de rociadores pueden ser una solución.

Gran parte del deterioro del material excavado mojado se puede prevenir mediante un acondicionamiento que lo haga permanecer mojado desde el campo al laboratorio. El método más simple es mantener los objetos mojados en bolsas plásticas cerradas, retrasando así la salida de la humedad. En laboratorio, periódicamente, las bolsas son abiertas por algunas horas y el objeto es expuesto al aire libre. Este es un método de secado controlado bastante sencillo denominado *air drying*. Por la toma de peso, verificamos el punto en que el objeto para de perder agua para saber cuándo el secado se completó. El uso de cámaras de vaporización para el control de la RH % es otro medio simple de control del secado.

De acuerdo con E. Peacock (1992), los métodos para secar textiles arqueológicos están divididos en *air drying*, *solvent drying*, secado asociado al uso de un *protecting agent*, y *freezy-drying* (liofilización)⁷⁴². Aunque Peacock está hablando específicamente de técnicas de secado para textiles, es posible encontrar una similitud de su descripción con relación a métodos para el secado de otros materiales orgánicos o inorgánicos.

El *air drying*, para la autora, es el tipo más común de secado controlado, pues se trata simplemente de producir el retraso en el proceso natural de evaporación⁷⁴³. Igualmente, como se ha mencionado en el párrafo anterior, la autora explica que el *air drying* es acompañado de algunos sistemas de acondicionamiento en bolsas y cajas que hacen que la evaporación ocurra de manera menos brusca. El *air drying* es recomendable para objetos donde haya menos riesgo de degradación.

⁷⁴¹ *Idem*.

⁷⁴² PEACOCK, Elizabeth E. *Drying archaeological textiles*, op. cit., p. 361.

⁷⁴³ *Ibid.*, p. 362.

El *solvent drying* es un método donde se hacen baños desecantes por medio de la sustitución del contenido acuoso del objeto arqueológico por un contenido no acuoso (un disolvente como alcohol o acetona)⁷⁴⁴. El método es acompañado del *air drying*. Generalmente, este método ocurre con el acrecimiento paulatino del disolvente no acuoso en un baño acuoso, con el objetivo de expulsar el agua sustituyéndola por el disolvente, que ofrece menos riesgo de daños por presión osmótica en la evaporación⁷⁴⁵. La deshidratación paulatina ocurre por medio de la inmersión en un disolvente más volátil que el agua. Para los orgánicos, la aplicación de baños desecantes tiene como objetivo minimizar los efectos de la salida del agua. Para los metales, estos baños desecantes son utilizados para sacar el agua y evitar la corrosión después del rescate. La sustitución del agua puede durar muchas semanas. Todo dependerá del tipo y dimensión del objeto.

El método del *solvent drying* está limitado a objetos relativamente pequeños, por no ser viable mantener en las instituciones grandes contenedores de tratamientos con muchos litros de disolventes. En general, este tipo de secado va acompañado del tratamiento de consolidación con ayuda de un *protecting agent*, elemento también frecuentemente aplicado al método *freezy drying*.

Secado asociado a la consolidación

La aplicación de un consolidante junto a las técnicas de secado es necesaria en muchos hallazgos, principalmente orgánicos. El material arqueológico orgánico puede no ser suficientemente fuerte para soportar la pérdida de agua y las fuerzas de la evaporación, resecándose, deformándose, rompiéndose y pulverizándose (Figura 53). El método puede verse en la bibliografía principalmente para el tratamiento de orgánicos mojados, como cuero, maderas, textiles, cordajes y otros materiales, pero también se encuentran algunos métodos de aplicación de consolidantes en inmersión con objetivos similares para objetos silíceos muy frágiles⁷⁴⁶.

⁷⁴⁴ *Ibid.*, pp. 363 y 634.

⁷⁴⁵ *Ibid.*, p. 364.

⁷⁴⁶ WAYNE SMITH, Chris. *Archaeological Conservation Using Polymers: Practical Applications for Organic Artifact Stabilization*, op. cit.

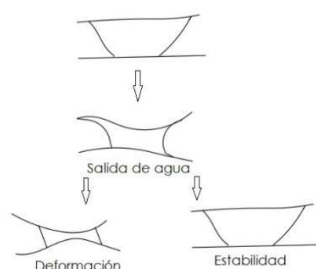


Figura 53. Resultados de la salida del agua de la madera bajo o no tratamientos de control del secado⁷⁴⁷

La tensión superficial provoca tensiones en las paredes celulares de la madera y otros objetos orgánicos que pueden resultar en colapso físico. Si la resistencia a la tracción de la celda es mayor que las fuerzas capilares en los poros, entonces la célula puede recuperar su forma original.

El uso de un *protecting agent* —un consolidante con la función de plastificante y relleno— ocurre con la adición del producto en la inmersión acuosa o en el *solvent drying* (no acuosa). Frecuentemente, los términos utilizados en inglés para denominar los consolidantes asociados a este tipo de secado son *plasticiser*, *lubrificant*, *impregnant*, *bulking agente* y *consolidant*. Es difícil determinar objetivamente la mejor manera de denominar estas sustancias, pues en realidad emplean múltiples funciones a la vez en los tratamientos. La función plastificante reduce el estrés del secado, y aumenta la flexibilidad del material tratado. La función de relleno aumenta la estabilidad y resistencia estructural.

En el International Centre for Underwater Archaeology (Međunarodni centar za podvodnu arheologiju u Zadru, ICUA–Zadar, Croacia), algunos de los consolidantes aplicados en inmersión para el tratamiento de orgánicos son el PEG, el Primal®, el Paraloid B-72® y glicerol. Los disolventes más utilizados son: el agua, y para la aplicación asociada al *solvent drying*, el alcohol y la acetona. La sacarosa⁷⁴⁸ fue otra sustancia consolidante asociada al secado bastante mencionada en la revisión bibliográfica.

A excepción del PEG que se disuelve a más del 20 %, tales consolidantes se suelen utilizar a bajas proporciones, como entre el 5-20 %. El tiempo de

⁷⁴⁷ Basado en KAYE, Barry. Conservation of waterlogged archaeological wood, *op. cit.*, p. 39, figura 4.

⁷⁴⁸ KAVKLER, Katja. A comparison of three commonly used treatments for waterlogged wood. *WOAM Newsletter*. 2020, n.º 59, pp. 7-11.

permanencia de los objetos pequeños en la solución para que alcancen buena penetración es de algunas semanas —hallazgos de 20 cm de dimensión a menos—, mientras objetos mayores y más rígidos pueden acarrear meses.

Las sustancias consolidantes generan resultados distintos. De lo contrario, tienen propiedades y capacidades reactivas distintas, siendo más adecuadas para uno u otro tipo de material y objetos (Tabla 17).

Tabla 17. Resultados de la consolidación de madera arqueológica (KAVKLER, 2020) ⁷⁴⁹

Tratamiento	Propiedades del objeto conservado
Resina de melanina	Color brillante, superficie mate, estructura de madera vista, ligera, olor a formaldehído
Resina de melanina después de la liofilización	Dura, difícil, estructura de madera visible, pesada, consolidada en superficie, olor a formaldehído
PEG 2000 -100 %	Casi negro, pesado, de aspecto ceroso, sin estructura de madera visible
PEG 2000 40 % en freeze drying	Color marrón, estructura de madera clara y visible
Freeze drying	Marrón, muy claro, más oscuro que la melanina, estructura de madera visible, el tacto se asemeja a la espuma de poliestireno expandido
Sacarosa	Aspecto marrón oscuro, pesado y distorsionado

Las técnicas de aplicación de estos consolidantes cuentan con otras variables, como el auxilio de cámaras de vacíos⁷⁵⁰ o liofilizadores⁷⁵¹. Hay que evaluar las características fisicoquímicas y el formato de cada objeto: capilaridad, dimensiones, fragilidades, etc. Algunas veces no es posible ni siquiera introducir objetos frágiles en baños desecantes. Tampoco es posible/viable utilizar cámaras de vacío para auxiliar en la penetración del consolidante o los liofilizadores para garantizar la estructuración en el secado. Este es el caso de algunas fibras y textiles; puede ser suficiente tratarlas con destilación de una solución acuosa a bajas proporciones, como el glicerol (10 %)⁷⁵². Este tipo de aspersion aumentará la humectación y flexibilidad del tejido cuando esté seco.

Objetos delicados como cesterías, textiles y calzados, antes de la aplicación de los baños consolidantes y los secados, pueden necesitar la preparación de

⁷⁴⁹ Basado en *ibid.*, p. 10, tabla 1.

⁷⁵⁰ WAYNE SMITH, Chris. *Archaeological Conservation Using Polymers: Practical Applications for Organic Artifact Stabilization*, op. cit.

⁷⁵¹ *Ibid.*

⁷⁵² RODGERS, Bradley A. *The archaeologist's manual for conservation: a guide to non-toxic, minimal intervention artifact stabilization*, op. cit., p. 169.

embalajes personalizados para devolver la forma y el volumen a los objetos, de manera que estén incluidos en soportes que los dejen montados como deben estar después del secado⁷⁵³, o sea, dándoles a estos la forma original⁷⁵⁴ (Figura 54). Eso evitará la deformación y el colapso.



Figura 54. Remodelación de pieza de calzado⁷⁵⁵

Un método particular de secado acompañado de consolidación citado en la bibliografía es la *plastination*, en español «plastinación». Tiene funciones parecidas a los tratamientos de impregnación para evitar daños en la salida del agua⁷⁵⁶, pero se trata de una técnica específica del uso de consolidantes desarrollada en 1977 por Gunther von Hagens⁷⁵⁷. La plastinación es un tratamiento que utiliza diferentes combinaciones de polímeros silanos con *cross-link* y catalizadores, siendo posible aplicar muchos polímeros y catalizadores diferentes para materiales distintos, llegando a resultados diferentes⁷⁵⁸. Es aplicada, no únicamente pero sí principalmente, a los objetos arqueológicos orgánicos que se hallan mojados.

⁷⁵³ *Ibid.*, p. 168.

⁷⁵⁴ PEACOCK, Elizabeth E. Investigation of Conservation Methods from a Textile Recovered From the American Civil War Submarine *HL Hunley* (1864). En: P. HOFFMANN, K. STRAETKVERN, J. A. SPRIGGS y D. GREGORY, eds. *Proceedings of the Ninth ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials*, *op. cit.*, p. 502.

⁷⁵⁵ Fuente: Gerusa de A. Radicchi, laboratorio de campo, Antártica, 2019.

⁷⁵⁶ WAYNE SMITH, Chris. *Archaeological Conservation Using Polymers: Practical Applications for Organic Artifact Stabilization*, *op. cit.*, pp. 37-49.

⁷⁵⁷ *Idem.*

⁷⁵⁸ GRAVES, Dorothy J. A comparative study of consolidants for waterlogged wood: polyethylene glycol, sucrose and silicon oil. *SSCR journal: the news magazine of the Scottish Society for Conservation and Restoration*. 2004, vol. 15, n.º 3, p. 14.

Tratamientos con PEG

El PEG tiene la ventaja de ser barato, reversible, no tóxico y estable. Es la sustancia más ampliamente utilizada asociada al secado de grandes objetos orgánicos. El PEG 400 es líquido a temperatura ambiente, mientras el 2000 y el 4000 son sólidos, siendo todos ellos miscibles en agua⁷⁵⁹. Los diferentes puntos de fusión indican respecto a la dimensión de la molécula y, consecuentemente, a la penetrabilidad. Los materiales más suaves, como cueros, pueden ser tratados por ejemplo con el PEG 400, y las proporciones de la disolución pueden ser más bajas. Las maderas y objetos mayores y rígidos pueden ser tratados con masas moleculares mayores (4000 o 2000), que se hallan sólidas a temperatura ambiente.

La aplicación de la solución de PEG ocurre por medio del método de baño de saturación, por *freeze drying* o por el método de la aspersion. La PEG por saturación es un tratamiento que consiste en añadir PEG lentamente en el baño de agua donde se encuentra el objeto a tratar, hasta alcanzar una concentración superior deseada —70 % para maderas grandes, por ejemplo—. Una vez alcanzada la concentración deseada, el objeto es retirado del baño y se deja secar lentamente en un ambiente controlado, no totalmente abierto a la ventilación⁷⁶⁰.

Un inconveniente del tratamiento de PEG por saturación es que, debido a que el PEG sigue siendo miscible en agua dentro de los objetos, la estabilización en los objetos a largo plazo puede presentar problemas. Los cambios de humedad y temperatura ambiental pueden hacer que el PEG emerja considerablemente hacia la superficie de los objetos (Figura 55)⁷⁶¹.

⁷⁵⁹ WAYNE SMITH, Chris. *Archaeological Conservation Using Polymers: Practical Applications for Organic Artifact Stabilization*, *op. cit.*, pp. 1122-1125.

⁷⁶⁰ *Ibid.*, pp. 1125-1128.

⁷⁶¹ *Ibid.*, pp. 1177-1186.



Figura 55. Problemas de exudación de PEG⁷⁶²

Por medio del método del *freeze drying* no es necesario llegar a niveles tan altos de concentración de PEG, una vez que la liofilización ayuda en la protección estructural en el momento del secado. El agua se convierte progresivamente de hielo a vapor⁷⁶³, no ocasionando los daños provocados por la salida del agua en formato líquido (daños por la presión osmótica). Antes de ser liofilizados, los objetos mojados son congelados para que en seguida el agua se convierta en gas⁷⁶⁴.

Los liofilizadores son los aparatos especializados en proporcionar condiciones atmosféricas de temperatura y presión controladas y favorables a la liofilización controlada, pero la liofilización puede ser estimulada tanto bajo a presión atmosférica normal como a baja presión en vacío⁷⁶⁵. Recordemos que la sublimación del agua es dada por ciertas condiciones de baja presión atmosférica, pero también por bajas temperaturas. Puesta en el *freezer* de -20°C a -30°C ⁷⁶⁶, el agua del material arqueológico puede ser sublimada en algunos días⁷⁶⁷.

Desde principios del siglo xx se han desarrollado extensas investigaciones para minimizar el encogimiento de grandes maderas arqueológicas provenientes de pecios, y el PEG ha sido uno de los consolidantes más apreciados. Se utilizó en los tratamientos del famoso buque de guerra sueco *Wasa* (naufregado en 1628 y recuperado en 1961) y del famoso buque inglés *Mary Rose* (naufregado 1545 y recuperado en 1982). En ARC-Nucléart - *Atelier de Recherche et de Conservation*,

⁷⁶² Fuente: Gerusa de A. Radicchi, UPV, 2018. Colección arqueológica orgánica de la alhóndiga (siglo XII), colección del Museu d'Història de València.

⁷⁶³ PEACOCK, Elizabeth E. *Drying archaeological textiles*, op. cit., p. 365.

⁷⁶⁴ KAYE, Barry. *Conservation of waterlogged archaeological wood*, op. cit., p. 39.

⁷⁶⁵ PEACOCK, Elizabeth E. *Drying archaeological textiles*, op. cit., p. 365.

⁷⁶⁶ *Idem*.

⁷⁶⁷ RODGERS, Bradley A. *The archaeologist's manual for conservation: a guide to non-toxic, minimal intervention artifact stabilization*, op. cit., p. 169.

instituto francés de referencia para los tratamientos de orgánicos arqueológicos, se utiliza, por ejemplo, para tratamiento de algunas maderas arqueológicas de grandes dimensiones provenientes de embarcaciones y otras estructuras (tuberías, edificaciones, etc.), «la concentración de PEG 4000 alcanza el 40% para un impregnación seguida de liofilización y 80 a 90% para impregnación de saturación seguida de secado controlado⁷⁶⁸». El tiempo de impregnación alcanza varios meses, dependiendo del estado de degradación del objeto, de sus dimensiones y del método de secado.

El método de la aspersion para la aplicación de la solución de PEG ocurre en situaciones en las que no es posible o viable sumergir los objetos. El método no logra la misma penetrabilidad, pero está libre de los inconvenientes generados por baños a largo plazo en PEG. Es común la proliferación de bacterias que soportan las bajas cantidades de oxígeno en las piscinas con la solución, que crean una biopelícula sobre los objetos arqueológicos. La contaminación del baño también resulta de la disolución de los propios contaminantes impregnados en los objetos: ácidos, iones, solutos y coloides. Lo ideal es que los baños de larga duración se puedan oxigenar y filtrar, eliminando así la contaminación y los microorganismos⁷⁶⁹.

4.1.7. Pasivación de metales

Las técnicas de pasivación de la corrosión de los metales consisten en los tratamientos curativos para suprimir la corrosión, así como en los tratamientos para eliminar los elementos contaminantes corrosivos, pudiendo ser inseparables de los tratamientos de limpieza. Las técnicas de pasivación están divididas en dos grupos: la aplicación de productos que pasivan por reacciones químicas (los inhibidores) y los tratamientos galvánicos y electrolíticos; se pueden utilizar incluso de forma complementaria. Es clave decir que muchos de los elementos contaminantes asociados a la corrosión de metales no son solubilizados y retirados con el simple baño en agua, precisando ser neutralizados y/o extraídos por tratamientos químicos.

⁷⁶⁸ ARC-NUCLÉART. *Les polyéthylène glycols* [en línea]. Grenoble (Francia): ARC-Nucléart [consulta: 21/09/2121]. Disponible en: <https://bit.ly/2Y1uLU>. (Traducción nuestra).

⁷⁶⁹ PEACOCK, Elizabeth E. Freeze-drying archaeological textiles: the need for basic research. En: S. A. O'CONNOR y M. M. BROOKS, eds. *Archaeological textiles*. Londres (Reino Unido): UKIC, 1990, p. 24.

La elección del mejor tratamiento de limpieza comienza con el diagnóstico del objeto metálico. Tras la observación y la descripción de la capa de corrosión, se realiza el análisis organoléptico los exámenes de rayos X, estos que son de gran ayuda para el diagnóstico⁷⁷⁰. Los exámenes organolépticos y el mapa de daños ayudan a comprender la formación y presencia de los óxidos (Figura 56). Los rayos X son muy útiles para identificar detalles en monedas, grabados, características tecnológicas, incluidas marcas y herramientas y volúmenes decorativos que persisten debajo de las capas de corrosión (Figura 57).



Figura 56. Mapa de daños e identificación de productos de corrosión. Hematita. 3. Akaganeita 3. Magnetita⁷⁷¹.



Figura 57. Radiografía de artefacto metálico del LEACH⁷⁷²

En una imagen radiográfica, cuanto más oscura sea la sombra creada por el artefacto, más denso está en su interior y más fácil será conservarlo, pudiéndose ver incluso la soldadura de patrones muy corroídos en el material⁷⁷³. Los objetos de cobre, por su parte, suelen estar menos incrustados y las radiografías suelen ser

⁷⁷⁰ DOMÉNECH, Antonio; LASTRAS PÉREZ, Montserrat; RODRÍGUEZ, Francisco y OSETE, Laura. Mapping of corrosion products of highly altered archeological iron using voltammetry of microparticles. *Microchemical Journal*. 2013, vol. 106, pp. 41-50.

⁷⁷¹ Fuente: Gerusa de A. Radicchi, laboratorio (LEACH), 2017.

⁷⁷² Fuente: radiografía hecha en colaboración con Lacicor-iLAB □ Conservation Science Laboratory y Scientific Documentation Imaging Laboratory. Cecor-EBA-UFMG, 2015.

⁷⁷³ CRONYN, Janet Margaret. *Elements of archaeological conservation*, op. cit., p. 190.

menos esenciales que en los hierros⁷⁷⁴. En el caso del hierro, también un imán puede ayudar a identificar la preservación de la parte interna no mineralizada⁷⁷⁵.

Todas las opciones de tratamientos de pasivación están acompañadas de las limpiezas y de la desalinización, que también son por sí mismas pasivadoras. La inmersión y el cambio del agua periódicamente contribuyen en mucho a la retirada de los contaminantes propiciadores de la corrosión activa⁷⁷⁶. Instrumentos abrasivos y los microtornos son de gran ayuda para eliminar incrustaciones indeseables en los metales. Sin embargo, se debe tener en cuenta que la retirada total de capas superficiales puede acelerar la corrosión en caso de que esta capa estuviera ejerciendo un papel protector⁷⁷⁷.

Después de la limpieza básica y el diagnóstico, los artefactos pueden recibir la pasivación⁷⁷⁸. Según Donny L. Hamilton (1999), la metodología de tratamiento de los objetos arqueológicos metálicos dependerá del avanzado grado de corrosión en que se encuentren⁷⁷⁹:

1. Objetos metálicos con un núcleo metálico sustancial y una superficie consolidada que resisten productos químicos o electroquímicos, y reducción electrolítica sin cambios significativos en la forma o dimensiones del artefacto. Podrán someterse a una reducción de electrolitos, siendo esta indicada para el tratamiento en la mayoría de estos casos⁷⁸⁰.
2. Metales corroídos que todavía tienen la forma general, pero poco, y tienen poco soporte. El procedimiento recomendado es estabilizar los cloruros solubles en una solución acuosa y consolidar el objeto con cera microcristalina u otro consolidante sintético⁷⁸¹.
3. Artefactos metálicos más oxidados y frágiles, que solo pueden consolidarse. Cualquier tratamiento puede desintegrarlos. Una réplica de molde de incrustación natural se usa a menudo como medio de datos con el único propósito de preservar o recuperar⁷⁸².

⁷⁷⁴ *Ibid.*, p. 224.

⁷⁷⁵ *Ibid.*, p. 189.

⁷⁷⁶ IBÁÑEZ, Carmelo Fernández. La alteración del hierro por sales: ayer y hoy; problemas y soluciones, *op. cit.*, p. 288.

⁷⁷⁷ CRONYN, Janet Margaret. *Elements of archaeological conservation*, *op. cit.*, p. 224.

⁷⁷⁸ RODGERS, Bradley A. *The archaeologist's manual for conservation: a guide to non-toxic, minimal intervention artifact stabilization*, *op. cit.*, p. 88.

⁷⁷⁹ HAMILTON, Donny L. *Methods of conserving archaeological material from underwater sites*, *op. cit.*

⁷⁸⁰ *Ibid.* (Traducción nuestra).

⁷⁸¹ *Ibid.* (Traducción nuestra).

⁷⁸² *Ibid.* (Traducción nuestra).

Debemos tener en consideración las dificultades de aplicar dichos tratamientos en objetos arqueológicos compuestos, como, por ejemplo, herramientas hechas de madera y metal o los cuchillos. Las bases fuertes utilizadas en procedimientos de pasivación pueden ser dañinas para la madera, descomponiéndola a nivel celular. La PEG, por otra parte, no es recomendable para tratar objetos orgánicos mixtos con hierro pues activa su corrosión⁷⁸³. Un escenario común en situaciones de tratamiento de artefactos arqueológicos compuestos de metal y hierro, que no se puedan desmembrar temporalmente para tratamiento, es que el conservador trate solamente la parte expuesta del hierro, manteniendo la parte que está en el interior del metal intocable⁷⁸⁴.

El Hostacor® IT (un ácido acilamidocarboxílico salificado por una alcanolamina) es un inhibidor de corrosión usado en líquidos que están en contacto con el hierro o con aleaciones que contienen hierro. Es un excelente protector de este metal contra la corrosión y un efectivo reductor de la lixiviación del cobre y del cobalto en medios líquidos⁷⁸⁵. La inhibición se produce mediante un proceso de adsorción en sitios anódicos del metal, pasivándolo espontáneamente en la solución con un pH de aproximadamente 8.2⁷⁸⁶. Desde su primera formulación en la década de 1980, el Hostacor® KS1 ha sido empleado para la conservación de materiales arqueológicos mixtos compuestos de hierro y madera, siendo aplicado en soluciones de tratamiento de la madera en polietilenglicol (PEG)⁷⁸⁷.

Los productos pasivantes más recurrentemente encontrados en la bibliografía se dividen en inhibidores alcalinos e inhibidores ácidos. Los otros dos tipos de limpieza más mencionados son la limpieza galvánica y la electrolítica. La limpieza galvánica —también conocida como electroquímica⁷⁸⁸— implica colocar el objeto de hierro en una tina y rodearlo con un metal anódico más activo, como zinc o aluminio, que imparte como un electrolito. La reducción electrolítica, por su parte, es una reacción electroquímica mantenida por un EMF (fuerza

⁷⁸³ RODGERS, Bradley A. *The archaeologist's manual for conservation: a guide to non-toxic, minimal intervention artifact stabilization*, op. cit., p. 193.

⁷⁸⁴ *Idem*.

⁷⁸⁵ HOSTACOR IT. *Corrosion inhibitor for metal working fluids* [en línea]. Clariant, 2013 [consulta: 23/09/2121]. Disponible en: <https://www.clariant.com/en/Solutions/Products/2013/12/09/18/28/Hostacor-IT>.

⁷⁸⁶ ARGYROPOULOS, V.; RAMEAU, J. J.; DALARD, F. y DEGRIGNY, C. Testing Hostacor IT as a corrosion inhibitor for iron in polyethylene glycol solutions. *Studies in Conservation*. 1999, vol. 44, n.º 1, p. 55.

⁷⁸⁷ *Ibid.*, p. 49.

⁷⁸⁸ CRONYN, Janet Margaret. *Elements of archaeological conservation*, op. cit., p. 175.

electromotriz)⁷⁸⁹. Las reducciones galvánicas y electrolíticas son apuntadas en la literatura como inhibiciones de carácter más definitivo, mientras las otras asumen una función más mitigatoria.

Inhibidores alcalinos

Como todas las soluciones con álcalis, los inhibidores alcalinos evitan la corrosión por mantener el pH pasivo, es decir, lo hacen químicamente más inactivo. El hidróxido de sodio (NaOH), el carbonato de sodio (Na₂CO₃), el bicarbonato de sodio (NaHCO₃), el sesquicarbonato de sodio (Na₂CO₃.NaHCO₃), el sulfito de sodio (Na₂SO₃) y el benzotriazol (BTA - C₆H₅N₃) son los inhibidores alcalinos más comunes para metales arqueológicos encontrados en la bibliografía consultada⁷⁹⁰ (generalmente presentada en la bibliografía como solución en peso por volumen, p/v).

Los inhibidores alcalinos pueden ser preparados en solución de agua destilada, generalmente a baja proporción del 2 al 5 %⁷⁹¹. Suelen ser utilizados en baños de neutralización, en los sistemas con electrolitos, o en soluciones de acondicionamiento por inmersión. La aplicación de los inhibidores alcalinos puede ser acompañada del proceso de enjuague y exfoliado con cepillos suaves para facilitar la limpieza, y ayuda a liberar aniones. Para que la acción de neutralización sea eficaz el baño puede durar días, y con cambios de solución frecuentes. Los baños rápidos solo inhibirán parcialmente⁷⁹².

Para tratamientos con electrolitos se utilizan comúnmente soluciones alcalinas de carbonato de sodio (Na₂CO₃) e hidróxido de sodio (NaOH)⁷⁹³. El hidróxido de sodio tiene el pH más alto (12.9), siendo muy empleado al 2-5 % para el tratamiento de metales marinos⁷⁹⁴. Su empleo requiere, por otra parte, más precaución en la manipulación y aplicación⁷⁹⁵. El carbonato de sodio, siendo menos cáustico que el hidróxido de sodio (pH de 11.5)⁷⁹⁶, puede cumplir

⁷⁸⁹ HAMILTON, Donny L. *Methods of conserving archaeological material from underwater sites*, op. cit.

⁷⁹⁰ *Ibid.*

⁷⁹¹ IBÁÑEZ, Carmelo Fernández. *La alteración del hierro por sales: ayer y hoy; problemas y soluciones*, op. cit.

⁷⁹² *Ibid.*

⁷⁹³ *Ibid.*

⁷⁹⁴ *Ibid.*

⁷⁹⁵ *Ibid.*

⁷⁹⁶ *Ibid.*

suficientemente la función de estabilización de artefactos metálicos menos problemáticos⁷⁹⁷. Una solución de almacenamiento de carbonato de sodio al 5 % (pH 11.5) o sesquicarbonato de sodio al 5 % (pH 9.7) puede ofrecer resultados pasivantes para la mayoría de objetos de hierro si los cloruros no son muy abundantes⁷⁹⁸.

La bibliografía revisada apunta que la estabilización del hierro libre de cloruro por medio de la inmersión pasivante alcalina ocurre con pH superior a 8. Con un pH de menos de 8, la presencia de oxígeno activará fácilmente el deterioro del hierro. Sin embargo, hay que tener mucho cuidado pues el hierro imparte de procesos de corrosión también en soluciones con un pH superior a 13, por lo tanto, una solución alcalina con el pH entre 10 y 13 es la mejor condición para que el hierro se mantenga pasivado en el acondicionamiento por inmersión⁷⁹⁹.

La total inhibición de los contaminantes corrosivos por medio de los agentes pasivantes es, en todos los casos, difícil de comprobar. Watkinson *et al.* (2013) plantean el problema de la incógnita de los resultados definitivos del tratamiento con agentes pasivantes alcalinos en el hierro. Los autores acreditan que, aunque estos tratamientos tengan una alta probabilidad de éxito, el tipo del cloruro y su ubicación dentro de los objetos arqueológicos limitan mucho la evaluación de resultados y la certeza de suceso de los tratamientos a largo plazo. Por ello, la presencia de cloruros residuales es común.

Watkinson *et al.* demostraron que el lavado del metal con álcali desoxigenado reduce claramente la cantidad de Cl⁻ y las velocidades de corrosión. Concluyeron que el tratamiento alcalino en el hierro aplicado a un pH alto de 13 (0,5 M NaOH), y a un ambiente libre de oxígeno, genera condiciones favorables para la extracción de Cl⁻⁸⁰⁰. Sin embargo, lo más probable es que la corrosión no siempre se detenga por completo, pero que la vida útil del objeto se pueda prolongar por tal inhibición. Los tratamientos asociados a buenas

⁷⁹⁷ *Ibid.*

⁷⁹⁸ *Ibid.*

⁷⁹⁹ *Ibid.*

⁸⁰⁰ WATKINSON, David; RIMMER, Melanie B. y KERGOURLAY, Florian. Alkaline desalination techniques for archaeological iron. En: P. DILLMANN, D. WATKINSON, E. ANGELINI y A. ADRIAENS, eds. *Corrosion and conservation of cultural heritage metallic artefacts*. Sawston (Reino Unido): Woodhead Publishing, 2013, p. 413.

condiciones de almacenamiento, con una baja humedad relativa, pueden lograr la estabilidad de muchos objetos⁸⁰¹.

El sesquicarbonato y el benzotriazol se usan a menudo para tratamientos con bronce. El sesquicarbonato sódico es una mezcla de carbonato de sodio y bicarbonato de sodio⁸⁰² utilizada para el baño de tratamiento del cloruro cuproso, y también para restaurar la pátina marrón del óxido de cobre⁸⁰³. El benzotriazol es un compuesto heterocíclico alcalino ampliamente utilizado para la inhibición de la corrosión del cobre y de los bronce⁸⁰⁴. Forma un compuesto insoluble y complejo con iones cúpricos que promueve una barrera entre la humedad atmosférica y el objeto⁸⁰⁵. El benzotriazol tiene la desventaja de que se desestabiliza por la luz ultravioleta y además tiene un alto potencial cancerígeno, por lo que las soluciones deben ser aplicadas con el uso de EPI⁸⁰⁶.

El plomo es un caso especial con relación al uso de inhibiciones alcalinas, pues se corroe con soluciones libres de sustancias pasivadoras, especialmente agua desionizada. El plomo, el estaño y el peltre se almacenan a menudo secos. Entre tanto, cuando se deja secar la incrustación en tales metales se vuelve mucho más difícil de eliminar. Para evitarlo, el plomo puede ponerse en agua dura con bicarbonato pasivante. También es posible almacenar en solución de carbonato de sodio a un pH de 11.5⁸⁰⁷. El estaño, a su vez, resistirá a la corrosión en soluciones ligeramente alcalinas, pero reaccionará a las altamente alcalinas. Las soluciones con pH superior a 10 son potencialmente peligrosas para el estaño⁸⁰⁸.

Inhibidores ácidos

Los productos químicos ácidos de pasivación de metales más encontrados en la bibliografía revisada son: el ácido oxálico (C₂H₂O₄), el ácido cítrico (C₆H₈O₇), el

⁸⁰¹ *Idem*.

⁸⁰² RODGERS, Bradley A. *The archaeologist's manual for conservation: a guide to non-toxic, minimal intervention artifact stabilization*, op. cit., p. 118.

⁸⁰³ *Idem*.

⁸⁰⁴ CANO, E. y LAFUENTE, D. Corrosion inhibitors for the preservation of metallic heritage artefacts. En: P. DILLMANN, D. WATKINSON, E. ANGELINI y A. ADRIAENS, eds. *Corrosion and conservation of cultural heritage metallic artefacts*. Sawston (Reino Unido): Woodhead Publishing, 2013, p. 574.

⁸⁰⁵ BORGIOI, Leonardo. *Agentes Complejantes*. Doc. Act. 02/05/18 [en línea]. CTS [consulta: 23/09/2021]. Disponible en: <https://bit.ly/3BEhVmr>.

⁸⁰⁶ CRONYN, Janet Margaret. *Elements of archaeological conservation*, op. cit., p. 229.

⁸⁰⁷ HAMILTON, Donny L. *Methods of conserving archaeological material from underwater sites*, op. cit.

⁸⁰⁸ *Ibid*.

ácido fosfórico (H_3PO_4) y el ácido tánico ($C_7_6H_{52}O_{46}$). La combinación más frecuentemente referenciada es la solución de ácido tánico y fosfórico aplicados a los hierros.

El ácido tánico es un ácido orgánico, de origen vegetal, que proporciona al artefacto ferroso la conversión de productos de corrosión como la hematita, magnetita, goetita o limonita, entre otros, a una capa estable y de baja porosidad de tanato ferroso. Las soluciones de ácido tánico se aplican a un pH bajo, sobre 2.2-2.4⁸⁰⁹, para generar buenas películas resistentes al tanato⁸¹⁰. El ácido fosfórico es introducido para reducir el pH de la solución, aumentando la cantidad de iones de hierro disueltos disponibles para la reacción con ácido tánico. El ácido fosfórico también reaccionará con los iones de hierro para formar fosfato férrico, que protege el hierro⁸¹¹.

El Canadian Conservation Institute (CCI) recomienda el tratamiento con ácido tánico al 3 % (p/v) bajo aplicaciones sucesivas⁸¹², y cepillar durante los intervalos de la aplicación. Se pueden aplicar en la superficie varias capas, lo que genera mejores resultados que el rizado en la solución; este cepillado asegura que la solución tenga acceso al metal en áreas donde el óxido esté suelto⁸¹³ (Figuras 58 y 59).



Figura 58. Aplicación de ácido tánico⁸¹⁴

⁸⁰⁹ LOGAN, Judy. N9/5 Tannic Acid Coating for Rusted Iron Artifacts, formerly published under the title Tannic Acid Treatment. *CCI Notes* [en línea]. 2013, vol. 9, n.º 5 [consulta: 10/10/2021].

⁸¹⁰ HAMILTON, Donny L. *Methods of conserving archaeological material from underwater sites*, op. cit.

⁸¹¹ LOGAN, Judy. N9/5 Tannic Acid Coating for Rusted Iron Artifacts, formerly published under the title Tannic Acid Treatment, op. cit.

⁸¹² *Ibid.*

⁸¹³ *Ibid.*

⁸¹⁴ Fuente: Heuvath Alquimin, laboratorio (LEACH), 2017.

Figura 59. Aplicación de ácido tánico: antes/después⁸¹⁵

Sin embargo, es necesario comprender que el tanato de hierro resultante no es un recubrimiento permanente y no elimina totalmente las contaminaciones corrosivas. Como los tratamientos alcalinos, no suprime la necesidad de tratamientos más eficaces como son los tratamientos electrolíticos⁸¹⁶. El uso exclusivo de cualquiera de estos tratamientos químicos puede mejorar la apariencia de un objeto y aumentar su estabilidad, pero no elimina completamente los cloruros y, por lo tanto, no puede evitar algunos de los problemas posteriores concernientes a los metales arqueológicos.

Tratamientos galvánicos y electrolíticos

La limpieza galvánica o electroquímica⁸¹⁷, o *galvanic wrap*⁸¹⁸, es un proceso donde el hidrógeno actúa como agente reductor y los cloruros y otras impurezas se eliminan. El objeto es metido en solución inhibidora junto a un metal de sacrificio. Este tiende a ser oxidado y el metal arqueológico reducido.

Un método muy simple consiste en envolver el objeto en papel de aluminio y ponerlo en solución de hidróxido de sodio al 10 % (NaOH), o una solución del 10 al 20 % de carbonato de sodio (Na₂CO₃). El objeto se deja en la solución hasta que el papel de aluminio se oxida por completo⁸¹⁹. La reacción se puede acelerar calentando la solución. El proceso se repite hasta que se obtengan los resultados⁸²⁰. Suele llevar muchos días.

⁸¹⁵ Fuente: Heuvath Alquimin, laboratorio (LEACH), 2017.

⁸¹⁶ HAMILTON, Donny L. *Methods of conserving archaeological material from underwater sites*, op. cit.

⁸¹⁷ CRONYN, Janet Margaret. *Elements of archaeological conservation*, op. cit., p. 175.

⁸¹⁸ RODGERS, Bradley A. *The archaeologist's manual for conservation: a guide to non-toxic, minimal intervention artifact stabilization*, op. cit., pp. 85 y 86.

⁸¹⁹ HAMILTON, Donny L. *Methods of conserving archaeological material from underwater sites*, op. cit.

⁸²⁰ *Ibid.*

Otro método de limpieza galvánica usa gránulos de zinc o aluminio y una solución de hidróxido de sodio del 10 al 20 %, que se calienta hasta la ebullición. El nivel de la solución se mantiene con la adición de agua destilada hasta completar el proceso⁸²¹.

Los resultados de la envoltura galvánica para el hierro arqueológico deben incluir una superficie más definida, la pérdida de una pequeña cantidad de carbonato adherente y un oscurecimiento de la superficie del artefacto, ya que se reduce a magnetita. La magnetita es una forma estable y no reactiva de hierro mineralizado que a menudo se forma en la superficie de los artefactos de hierro reducidos⁸²². En el caso de la envoltura galvánica en el bronce, la mayor parte del producto de corrosión es revertido a cobre u óxido de cobre⁸²³.

La limpieza por reducción electrolítica es más eficaz y precisa que la galvánica. La reducción electrolítica es una reacción electroquímica mantenida por un EMF (fuerza electromotriz) de pivote externo o una corriente eléctrica⁸²⁴. El sistema consta de dos electrodos, el ánodo y el cátodo, y contiene una conducción eléctrica adecuada en el electrolito (Figura 60). Se aplica una corriente eléctrica de una fuente de energía externa de corriente continua (CC), lo que causa oxidación y reducción. El ánodo es el terminal positivo de la celda electrolítica. A través de él, los iones cargados negativamente viajan cuando se activa la corriente eléctrica. El cátodo es el terminal negativo de una celda electrolítica, a la cual viajan los iones metálicos cargados positivamente. Cuando se enciende la corriente, el metal inerte se vuelve el ánodo, mientras el metal que se debe restaurar es el cátodo, y se alimenta con electrones⁸²⁵.

⁸²¹ *Ibid.*

⁸²² RODGERS, Bradley A. *The archaeologist's manual for conservation: a guide to non-toxic, minimal intervention artifact stabilization*, op. cit., p. 86.

⁸²³ *Ibid.*, p. 117.

⁸²⁴ HAMILTON, Donny L. *Methods of conserving archaeological material from underwater sites*, op. cit.

⁸²⁵ CRONYN, Janet Margaret. *Elements of archaeological conservation*, op. cit., p. 174.

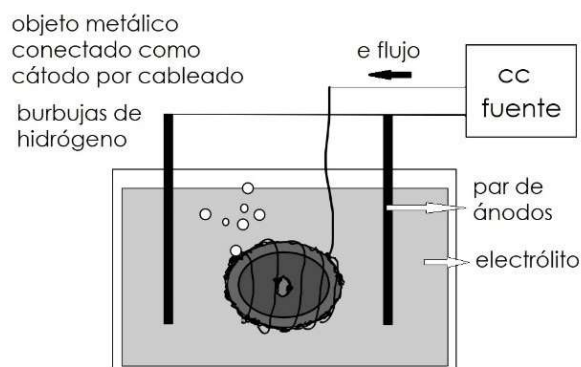


Figura 60. Limpieza electrolítica de un metal corroído⁸²⁶

El tratamiento electrolítico permite reducir una cantidad suficiente de compuestos de corrosión a un estado metálico más estable, mientras elimina compuestos de cloruro de manera profunda. Los artefactos se reducen al estado metálico y los cloruros y otros aniones se eliminan, migrando hacia el ánodo cargado positivamente por atracción electrolítica. En la reducción del cátodo, se produce la formación de gas hidrógeno, que forma burbujas en la superficie metálica, debajo de la corteza. Esto tiende a causar una fuerza para aflojar esta cubierta en el baño, limpiando el metal mecánicamente⁸²⁷. También se producen reacciones secundarias de reducción de la corteza de corrosión, formando productos de corrosión que se eliminan más fácilmente⁸²⁸.

La principal ventaja de la reducción electrolítica ocurre cuando se puede controlar la densidad de la fuerza electromotriz aplicada. Este control permite al conservador-restaurador seleccionar una baja densidad de corriente para controlar sin peligro de separar partes importantes. El producto de corrosión acumulado en la capa superficial de un artefacto se reduce a una forma más estable. La decloruración producida es bastante homogénea en el objeto⁸²⁹, y las concreciones de carbonato de calcio comunes en metales arqueológicos suelen limpiarse con el uso de limpieza electrolítica. Sin embargo, este método puede alterar fuertemente la superficie del metal, pues hace que las placas y las

⁸²⁶ Basado en *idem.*, figura 5.4.

⁸²⁷ *Ibid.*, pp. 174 y 175.

⁸²⁸ *Ibid.*, p. 175.

⁸²⁹ IBÁÑEZ, Carmelo Fernández. La alteración del hierro por sales: ayer y hoy; problemas y soluciones, *op. cit.*, p. 290.

incrustaciones reaccionen o se desplacen, por lo tanto, los objetos de hierro fuertemente corroídos son menos recomendables para este tipo de tratamiento⁸³⁰.

La limpieza electrolítica no se puede usar con cobre porque lo reduce y expone el núcleo, y esto se considera peligroso. Actualmente, el decapado total de material arqueológico cúprico rara vez se practica⁸³¹. La limpieza electrolítica del plomo, a su vez, puede ser utilizada en ciertas ocasiones⁸³² pues el plomo tiene productos de corrosión muy insolubles, y la limpieza mecánica puede rayar el metal subyacente muy blando; y también porque los productos de corrosión del plomo son venenosos, el polvo producido por la limpieza mecánica es bastante tóxico⁸³³.

En general, los artefactos recuperados en ambientes de agua salada, o que contienen productos de corrosión y otras concreciones, deben sufrir una reducción electrolítica. Los objetos recuperados del agua dulce a menudo se pueden tratar directamente solamente con un lavado de bicarbonato, que será suficiente. Colectas voluminosas de artefactos metálicos recuperados de una ubicación seca se podrían beneficiar más del tratamiento galvánico⁸³⁴, pues este es más simple de aplicar que la limpieza electrolítica.

⁸³⁰ CRONYN, Janet Margaret. *Elements of archaeological conservation*, op. cit., p. 191.

⁸³¹ *Ibid.*, p. 224.

⁸³² *Ibid.*, p. 207.

⁸³³ *Idem.*

⁸³⁴ *Idem.*



CAPÍTULO 5

Capítulo 5. Práctica de campo

5.1. Arqueología en Byers

Este capítulo expone el trabajo de conservación y un poco del trabajo de arqueología desarrollado durante los tres años de excavación (2017, 2018 y 2019) en dos de los yacimientos arqueológicos de la península Byers, en la isla Livingston (archipiélago Shetland del Sur). La excavación de 2017 se llevó a cabo en cerro Sealer 1, en las playas Sur (*South Beaches*), y las excavaciones de 2018 y 2019 se llevaron a cabo en cueva Lima Lima, en las playas Norte (*Robbery Beaches*). El laboratorio LEACH ha llevado a cabo excavaciones y mapeo de yacimientos loberos-balleneros desde 2010 en la isla Livingston y otras islas de las Shetland del Sur (Figura 61), pero el capítulo se concentra en exponer las prácticas de campo desarrolladas especialmente en esta investigación doctoral.

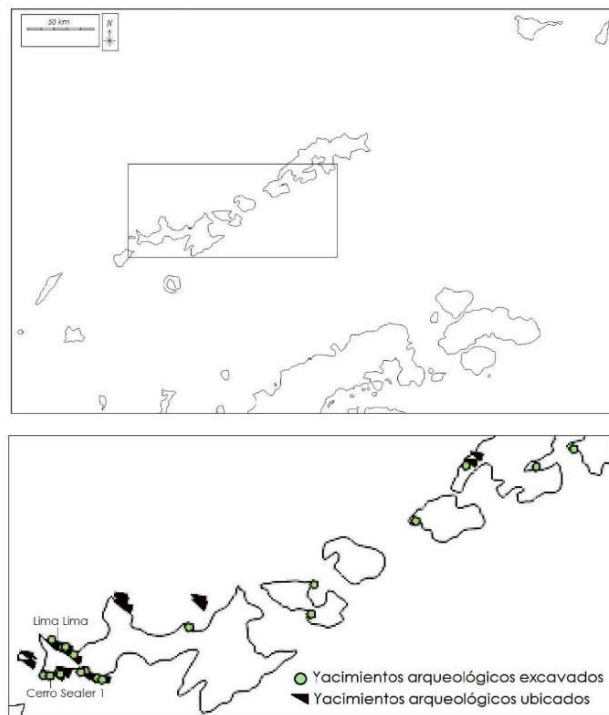


Figura 61. Yacimientos loberos-balleneros identificados en las islas Shetland del Sur en 2021⁸³⁵

⁸³⁵ SENATORE, María Ximena. *Antarctic Historical Sealing Industry and Material Culture*. In: *Historical Antarctic Sealing Industry*. Headland, R. (Ed). Scott Polar Research Institute, Occasional Publication, pp. 61-71. Cambridge University, Cambridge. 2018. Fig. Map of sealer sites in South Shetland Islands.

Como se ha apuntado en los capítulos precedentes, en las excavaciones arqueológicas el trabajo del conservador-restaurador está condicionado por la naturaleza del terreno, el tipo de objetos rescatados, la urgencia de la excavación y las prioridades científicas de los proyectos de arqueología⁸³⁶. Así, la elección de las técnicas de conservación depende de las condiciones en que se desarrolla la excavación, de los objetivos de las investigaciones, de las condiciones ambientales y geográficas del yacimiento arqueológico y del acceso a él⁸³⁷.

El LEACH envía con muchos meses de antelación gran parte del material de trabajo de campo en dos navíos de la Marina por medio de los cuales operan las OPERANTARes, el navío NApOc Ary Rongel y el navío NApOc Almirante Maximiano. Por razones de seguridad, los productos químicos de conservación no pueden ser transportados por avión y se envían obligatoriamente por barco. Así, en el mes de julio de cada año, materiales de conservación y de excavación parten desde Belo Horizonte, donde se sitúa el LEACH, hasta la ciudad de Río de Janeiro, donde están los navíos. Estos parten para la Antártica en septiembre, cuando empieza la OPERANTAR del año referente.

Las expediciones del LEACH tienen lugar generalmente entre los meses de diciembre a marzo del siguiente año al que se envía el material de campo en las embarcaciones. El trabajo de campo del LEACH dura cerca de un mes, pero el tiempo de las travesías de ida y de regreso lleva de un mes y medio a dos meses. Los miembros del LEACH parten de Río de Janeiro a la Antártica la víspera de empezar el trabajo de campo, trayendo consigo equipamiento de investigación más sensible y electrónico que no fue enviado antes en los navíos, como cámaras fotográficas, *scanner* 3D, taquígrafo, etc.

Los investigadores llegan a la Antártica por medio de un avión de la Fuerza Aérea Brasileña (FAB) o por medio de uno de los citados navíos de la Marina. En este segundo caso, el embarque ocurre en la ciudad de Punta Arenas, en la región de la Patagonia chilena. Cuando se cruza el pasaje de Drake en avión —el mar que conecta América del Sur con la Antártica—, el equipo que salió de Río de

⁸³⁶ PROUST, Clotilde. *Intervention du conservateur-restaurateur sur une fouille préventive, op. cit.*

⁸³⁷ *Ibid.*

Janeiro con el vuelo de la FAB es recogido por uno de los navíos de la OPERANTAR en la estación chilena Presidente Eduardo Frei Montalva (isla Rey Jorge). Cuando se cruza el Drake en barco, se embarca en los buques aún cuando estos se están abasteciendo con víveres y otros géneros en la ciudad portuaria de Punta Arenas. Así, el equipo parte con los navíos a las islas Shetland del Sur cuando estos dejan el puerto en dirección a los canales chilenos.

Ya en la Antártica, los investigadores del LEACH se quedan en los navíos por algunos días —en general, entre dos días a una semana— hasta que llegue la hora del desembarque y el montaje del campamento en Livingston (Figura 62). En el día del lanzamiento de los campamentos, los investigadores y todo el cargamento es dejado en Byers por helicópteros y/o por botes (Figuras 63 y 64).



Figura 62. Equipo en el barco desde el NApOc Almirante Maximiano⁸³⁸

⁸³⁸ Fuente: LEACH, Antártica, 2017.



Figura 63. Bote de transporte para Byers⁸³⁹



Figura 64. Llegada de cajas con helicóptero a Byers⁸⁴⁰

Como ya sabemos, en la Antártica las condiciones climáticas son muy inestables y extremas, existiendo un elevado riesgo para la seguridad de los investigadores y también muchas dificultades para el traslado y conservación del material excavado. El equipo está totalmente aislado en Livingston, salvo por la comunicación por radio y por un teléfono satelital iridio, disponible para que se pueda llamar a los navíos o a la Estación Antártica Comandante Ferraz (isla Rey Jorge, archipiélago Shetland del Sur). La posibilidad de conseguir atención médica de urgencia es remota.

Los yacimientos se ubican en sitios totalmente salvajes, a kilómetros de distancia de cualquier asentamiento humano, y, por lo tanto, no hay cómo

⁸³⁹ Fuente: LEACH, Antártica, 2017.

⁸⁴⁰ Fuente: LEACH, península Byers, Antártica, 2017.

conseguir más suministros o materiales y equipamientos de trabajo. Todo lo que se necesita para realizar las excavaciones y la conservación debe llevarse a campo. Todo lo que no pertenece a la Antártica y que usaremos para sobrevivir en el campamento debe llevarse con antelación.

La capacidad de transporte de carga hasta Livingston también es un factor limitante. Los víveres, agua potable, generadores de energía, estructura de campamento, materiales y equipamientos de arqueología mínimos necesarios para la expedición ya representan un gran volumen y peso. Los esfuerzos para la instalación y la retirada del campamento (carpas, generador de luz, fogones, etc.) suelen llevar mínimo dos días (Figuras 65 y 66). Al final de los trabajos de campo, la basura y todo lo que no se consuma debe ser retirado al finalizar la estancia, cumpliendo con los principios de preservación de la Antártica. Una vez finalizadas las actividades de campo, todo debe ser recogido por nosotros y llevado a los navíos para ser incinerado, no se deja nada exógeno en la Antártica. Los desechos y restos generados se almacenan en toneles apropiados para ser incinerados en los navíos de la Marina.



Figura 65. Montaje del campamento, Punta Elefante⁸⁴¹

⁸⁴¹ Fuente: LEACH, península Punta Elefante, Antártica, 2014.



Figura 66. Cargamento de material excavado, final del campo, Byers⁸⁴²

Las posibilidades de adaptación de los planes en campo son muy limitadas y, en el caso de que las actividades científicas se vean afectadas por factores logísticos súbitos —lo que a menudo ocurre—, el plan de excavación es muy sacrificado. En caso de que falten materiales de trabajo y equipamientos, no hay cómo sustituirlos. Hay que ser muy prudente en todos los sentidos. Los años consecutivos de excavación en la Antártica ayudaron al LEACH a prever la cantidad aceptable de materiales y equipamiento de conservación y de arqueología necesaria para llevar a campo sin que se produjera mucho excedente.

La estructura de los campamentos del LEACH en Byers está compuesta por carpas individuales, una carpa compartida con el baño químico, otra carpa compartida para la cocina y una carpa compartida para laboratorio. La «carpa laboratorio» es una de las carpas colectivas donde se instala el laboratorio de conservación de campo (Figuras 67 y 68)⁸⁴³. En 2017 hubo únicamente una carpa compartida y entonces el laboratorio de conservación se instaló junto a la «carpa cocina».

⁸⁴² Fuente: LEACH, península Byers, Antártica, 2017.

⁸⁴³ Vista 3D del campamento, 2009. <https://skfb.ly/op89P>.



Figura 67. Estructura del campamento, Punta Elefante⁸⁴⁴



Figura 68. Laboratorio de campo, Byers⁸⁴⁵

Las actividades de arqueología en campo comienzan con el repaso de la programación y de los objetivos de trabajo (Figura 69). Las discusiones y decisiones son lideradas por el coordinador científico de campo, el director del proyecto, Andrés Zarankin. Además de la excavación y el mapeo de yacimientos arqueológicos, se llevan a cabo proyectos paralelos de investigación de grado y posgrado, como fue el caso de la presencia del experto Will Lucas del LEACH, responsable de investigación en el área de antropología en 2018 y 2019, o el caso de la incorporación de esta investigación doctoral dedicada al área de la conservación.

⁸⁴⁴ Fuente: LEACH, península Punta Elefante, Antártica, 2014.

⁸⁴⁵ Fuente: Gerusa de A. Radicchi, laboratorio de campo, Antártica, 2017.



Figura 69. Revisión de los objetivos en campo⁸⁴⁶

No es posible ubicar los campamentos próximos a los yacimientos excavados en Byers, tanto por cuestión de seguridad logística de desembarque por medio de los buques de la Marina, como por la determinación de la protección ambiental de la Antártica, que regula la no interferencia en el ecosistema en ciertas áreas con mayor presencia de seres vivos. Por ello, los campamentos se ubican en playas alejadas de la localización de los yacimientos (de 1 a 2 km de distancia), lo que resulta en un gasto considerable de tiempo de locomoción entre el campamento y el local de excavación, como también complica el transporte de materiales, instrumentos de trabajo, hallazgos excavados, y nos obliga a llevar suministros al área de excavación todos los días. Eso no sería un problema tan grande si no fuera en la Antártica. Las rutas entre los campamentos y los yacimientos son agotadoras pues el terreno no es llano y se camina, también, bajo lluvia, nieve y viento fuerte (Figuras 70 y 71).

⁸⁴⁶ Fuente: LEACH, península Byers, Antártica, 2017.



Figura 70. Caminata de regreso después de un día de trabajo⁸⁴⁷



Figura 71. Arqueólogos llevando equipamiento de excavación⁸⁴⁸

Por la radio se reciben diariamente las previsiones del tiempo para los días siguientes desde uno de los navíos. Es importante saber prever la llegada de las tempestades, observando el tiempo, las previsiones dadas por el navío, y mirando el barómetro. Cuando las condiciones temporales lo permiten (si no hay nevadas), se trabaja todo el día, desde las 9:00 hasta las 17:00 h. En caso contrario se hacen menos horas para evitar riesgos, o no se trabaja *in situ*. Podemos decir que cerca de la mitad de estos días se pierden por el mal tiempo, o sea, no son días productivos. El corto tiempo disponible de pleno trabajo hace que sea necesario muchas veces repartir el grupo de trabajo de campo en dos para trabajar simultáneamente en dos actividades y poder cumplir con el cronograma. Fue común el trabajo simultáneo de la excavación y del mapeo de yacimientos arqueológicos por dos equipos distintos. Dos o tres arqueólogos se dirigieron hacia

⁸⁴⁷ Fuente: LEACH, península Byers, Antártica, 2018.

⁸⁴⁸ Fuente: LEACH, península Byers, Antártica, 2018.

los yacimientos en las playas vecinas al yacimiento excavado para escanearlos con el *scanner* 3D, mientras el resto del grupo trabajaba en las excavaciones.

El día de trabajo se concluye con una reunión donde se debaten las cuestiones más importantes desarrolladas, como cuestiones acerca de los hallazgos encontrados, o sobre la estimación del trabajo para el día siguiente. Después de la cena y de tal reunión se realizan gran parte de los tratamientos de conservación y el acondicionamiento de los hallazgos rescatados durante el día. Los días libres, cuando el mal tiempo no permite la salida al yacimiento arqueológico, también se aprovecha para desarrollar estos trabajos de conservación en el laboratorio de campo. En los días libres también jugamos, cocinamos recetas especiales y oímos música. La sociabilidad es fundamental para el buen trabajo de equipo (Figura 72).



Figura 72. Relajación y amistad⁸⁴⁹

La primera actividad desarrollada en el yacimiento arqueológico antes de ser excavado es la toma de sus coordenadas con el GPS y con el taquímetro. Después, se escanea con el *scanner* 3D y a continuación se retiran las superficies no arqueológicas del sitio (Figura 73). Las demarcaciones de las cuadrículas son establecidas y se empieza la excavación. Para las estructuras de los muros y para cada estrato arqueológico encontrado, se dibuja un bosquejo del yacimiento y son establecidas las marcas con la distribución espacial de los hallazgos, de rocas, hogueras y otras estructuras arqueológicas encontradas. Hasta este momento, el

⁸⁴⁹ Fuente: Ricardo Leizer, península Punta Elefante, Antártica, 2014.

responsable de la conservación trabaja en dichas actividades junto con los otros miembros.



Figura 73. Limpieza de suelo para la excavación⁸⁵⁰

Para cada hallazgo se toman las coordenadas geográficas con el taquímetro, y se le asigna la etiqueta con el número de identificación de campo. El mismo número se registra con bolígrafo resistente al agua en las bolsas. Las estructuras arqueológicas también se registran con el taquímetro, y con tomas fotográficas, además del dibujo en los bosquejos. Las tomas fotográficas se hacen exhaustivamente de las cuadrículas de las estructuras y de los objetos aún *in situ* (Figura 74). Las fotos de los hallazgos *in situ* están especialmente a cargo del arqueólogo encargado de la excavación de la cuadrícula. La distribución de los números de identificación y la recolección del hallazgo quedan bajo la coordinación de la conservadora en campo (Figura 75).

⁸⁵⁰ Fuente: Ricardo Leizer, península Punta Elefante, Antártica, 2014.



Figura 74. Grabación fotográfica *in situ*, yacimiento en Byers⁸⁵¹



Figura 75. Numeración de campo⁸⁵²

Cabe remarcar que las colectas suelen ser de un grupo de artefactos, fragmentos y/o parte de objetos desde un mismo punto en el yacimiento. Algunas veces artefactos individuales son recolectados, recibiendo un número de registro aparte, pero en la mayoría de las veces las bolsas de colecta y los números de registro de campo se refieren a grupos de fragmentos pequeños, partes de artefactos o hasta artefactos diferentes también pequeños, incluso de materiales diferentes, todos recolectados en el mismo sitio del yacimiento. Tal estrategia es adoptada primeramente por la inviabilidad de registrar tales elementos separadamente, lo que aumentaría el trabajo de recolecta de manera innecesaria. Segundo, porque hace más fácil la asociación de los elementos en el momento del estudio arqueológico. Estando próximos en el mismo punto del

⁸⁵¹ Fuente: LEACH, Livingston, Antártica, 2014.

⁸⁵² Fuente: Ricardo Leizer, península Punta Elefante, Antártica, 2014.

yacimiento, probablemente los hallazgos tienen alguna conexión o forman parte de un mismo artefacto. Sin embargo, cuidamos que cada uno de estos elementos con materiales diferentes, principalmente los no compatibles desde el punto de vista de la conservación, tengan una bolsa separada de acondicionamiento y solo después sean introducidos en una bolsa mayor con el número de registro de campo.

Cada número de registro de campo debe ser relacionado a la descripción de la información de colecta en el cuaderno de campo. Esta se trata, principalmente, del nombre, la cuadrícula, el nivel arqueológico, materiales/artefactos, la fecha de recolecta y el arqueólogo responsable. Cada registro de colecta es también nombrado en el taquímetro, en la carpeta digital de datos del equipamiento con el número de registro de campo. El cruce de datos del escaneo 3D, del registro con el taquímetro, del número de campo con las fotografías y el bosquejo, compone la extensa documentación de campo, capaz de generar proyecciones y modelos 3D de los yacimientos y sus hallazgos⁸⁵³.

Diversos proyectos de pesquisas brasileños integran las OPERANTARes. La logística de lanzamiento de los proyectos en campo descrita no es solo la programación general para el LEACH, sino la programación de otros proyectos de investigación brasileños en la Antártica. Sin embargo, las OPERANTARes son la única vía para desarrollar investigaciones de campo en el continente bajo la bandera brasileña, estando estos proyectos tutelados por la autorización del Comité Científico para la Investigación en la Antártica (SCAR, Tratado Antártico). Los navíos de la Marina brasileña, además de prestar soporte a los proyectos de investigación, también se ocupan de abastecer la Estación Comandante Ferraz para la subsistencia del grupo de marinos que pasan el invierno en la Antártica, cuando las embarcaciones ya habrán regresado a Brasil.

Algunos proyectos de investigación en la Antártica desarrollan las estancias en otros períodos y en otras localizaciones en las islas Shetland del Sur, pero algunos coincidieron con el LEACH en la península Byers. Miembros del proyecto MediAntar (UFMG), del área de la salud, estuvieron en el mismo campamento del LEACH entre

⁸⁵³ Proyectos del LEACH en los media: <https://sketchfab.com/LEACH.ufmg>.

2017 a 2019. También estuvieron con el LEACH en 2018 miembros del proyecto *Evolução e Dispersão de Espécies Antárticas Bipolares de Briófitas e Líquens (UnB)* (Figura 76). Los miembros del MediAntar ayudaron como voluntarios en las excavaciones arqueológicas, ejecutando tareas de apoyo, una vez que su objetivo fue acompañar al equipo del LEACH en las actividades de campo para hacer el monitoreo de su desarrollo físico en la Antártica.



Figura 76. Celebraciones entre los tres proyectos en campo⁸⁵⁴

Las plazas para investigadores en las OPERANTARes son limitadas. Representan una significativa inversión financiera para el Gobierno de Brasil, además de que el espacio en los camarotes de los navíos es limitado. Para el LEACH, la capacidad de grupo es de 6 hasta 9 plazas para investigadores, que estuvieron disponibles en los años de expedición. Para la seguridad en los campamentos, a cada grupo de cerca de 6 investigadores se le asigna un montañista de la OPERANTAR para integrar el grupo en campo. Ya en campo, ningún investigador se aparta solo del grupo y sin acompañamiento del montañista. Así, el número de montañistas e investigadores disponibles influye mucho en el desarrollo de las actividades en campo.

Al final de los trabajos de campo los investigadores regresan al navío y después a Brasil utilizando los mismos medios de transporte de la Marina y la FAB. En general, parte del material arqueológico viene a Brasil con los investigadores del LEACH y parte se queda para regresar a Río de Janeiro en el mes de abril con los navíos, cuando se cierran las OPERANTARes. Tanto los investigadores del LEACH

⁸⁵⁴ Fuente: Adriano Afonso Spielmann, península Byers, Antártica, 2018.

como los equipamientos o el material arqueológico regresan a Belo Horizonte desde Río de Janeiro por carretera, en un trayecto que dura cerca de 6 horas.

Cerro Sealer 1 y cueva Lima Lima

En 2017 se llevó a cabo la excavación de cerro Sealer 1, un yacimiento lobero-ballenero datado del siglo XIX e identificado como local de desarrollo de actividades múltiples de los loberos-balleneros (vivienda y trabajo), y ubicado en *South Beaches*. El yacimiento se encuentra al sur de la península Byers y se caracteriza principalmente por estar compuesto de dos recintos de forma cuadrada, delimitados por paredes arqueológicas de piedra y por rocas naturales (Tabla 18)⁸⁵⁵:

«Son dos recintos de forma cuadrada que están al abrigo de un afloramiento rocoso de gran tamaño distante a 80 m del mar y a 250 m del agua dulce. En el recinto mayor, las paredes de piedra apiladas de 0,65 m de espesor cierran un espacio de 3,65 m × 2,45 m que tiene 8,95 m² de superficie interior. Dentro y fuera de la estructura mayor se observa la presencia de vértebras de cetáceo. El recinto menor es un espacio de 2,25 m² cerrado por paredes de 1,40 m × 1,60 m»⁸⁵⁶.

Las capas estratigráficas arqueológicas del yacimiento se componen del nivel 1 y el nivel 2, divididos por una fina capa oscura de sedimentación con materia orgánica y grasa. Los niveles estratigráficos tienen una anchura de cerca de 10 cm. El nivel superficial, no arqueológico, estaba cubierto de piedras, restos vegetales y restos animales. Algunos hallazgos estaban expuestos en este antes de la excavación (como las vértebras y costillas de ballena). Un sondeo fue efectuado anteriormente a la excavación de 2017, donde se recuperaron fragmentos de calzados y material óseo⁸⁵⁷.

⁸⁵⁵ Ver el proyecto 3D de cerro Sealer en: <https://skfb.ly/697MD> y <https://skfb.ly/6uRFH>.

⁸⁵⁶ZARANKIN, Andrés y SENATORE, María Ximena. *Historias de un pasado en blanco: Arqueología Histórica Antártica*, op. cit., p. 75.

⁸⁵⁷ *Idem*.

Tabla 18. Excavación en Cerro Sealer 1, 2017



El equipo de campo de la excavación de Cerro Sealer 1 estuvo compuesto por: Andrés Zarankin (arqueólogo jefe), Michel Pearson (arqueólogo), Flávio Calippo (arqueólogo), Fernanda Codevilla (arqueóloga), Jimena Gruz (arqueóloga), Geresa Radicchi (conservadora) e Igor Tinoco (educador físico,

proyecto MediAntar). El trabajo de campo se desarrolló en enero de 2017, durante 30 días, con 7 días de excavación. En total, se excavaron 5 cuadrículas de 2 m².

En 2017 la Marina tuvo que finalizar el campamento del LEACH súbitamente sin que se esperase por motivos logísticos inesperados. En este momento, algunos test de conservación y actividades de acondicionamiento estaban aún por realizarse en el laboratorio de campo. Algunos hallazgos fueron entonces llevados al navío tal cual fueron acondicionados *in situ* y los procedimientos que quedaban fueron efectuados en el laboratorio del navío NApOc Almirante Maximiano (Figura 77), el buque responsable de la expedición del LEACH en ese año. Este espacio fue concedido para el trabajo durante dos días, mientras el navío se mantuvo atracado en la Bahía del Almirantado, frente a la Estación Antártica Comandante Ferraz. Cuando el navío empezó a navegar, por seguridad, el acceso al laboratorio quedó prohibido a los científicos.



Figura 77. Laboratorio del navío NApOc Almirante Maximiano, 2017⁸⁵⁸

Ubicada en *Robbery Beaches* de la península Byers, se encuentra el importante yacimiento cueva Lima Lima⁸⁵⁹, el primer refugio lobero-ballenero identificado en las islas Shetland del Sur. La definición de la cueva como siendo un yacimiento se produjo cuando un grupo de investigadores del Instituto Antártico

⁸⁵⁸ Fuente: Gerusa de A. Radicchi, Antártica.

⁸⁵⁹ Ver el proyecto 3D de Lima Lima en: <https://skfb.ly/op89U>.

Argentino durante expedición en década de 1990 recogieron un conjunto de artefactos y sobre los cuales se desarrollaron los primeros informes en 1995⁸⁶⁰:

«En la isla Livingston de las Shetland del Sur, frente a la Antártida, un grupo de investigadores del Instituto Antártico Argentino descubrió un conjunto de objetos históricos en una cueva redenominada por ellos Lima Lima y que era conocida con anterioridad con el indefinido nombre de "Sealer's Cave". Estos objetos y restos de muros de piedra existentes en la cueva demuestran una o más ocupaciones del lugar; el interés despertado por la presencia humana en un sitio de esas características y el poder contar con una colección de materiales restaurados, transforma este hallazgo en significativo. Con anterioridad otros recuperaron objetos allí mismo, y pese a que nunca fueron descritos ni preservados la poca información disponible ha sido utilizada aquí. Intentaremos interpretar lo descubierto y establecer algunas hipótesis al respecto.»⁸⁶¹.

La cueva fue un refugio lobero-ballenero para el desarrollo de actividades múltiples, con ocupación que data del siglo XIX. Su estratigrafía se caracteriza por interferencia de rocas desprendidas del techo de la cueva y gran cantidad de musgos en superficie, donde se encuentran también restos vegetales, animales y hallazgos aparentes en la superficie. La cueva está formada por dos cámaras, donde la más grande está delimitada por un ambiente construido con dos paredes hechas de piedra apilada (Tabla 19):

«La cueva está compuesta por dos cámaras. La mayor tiene aproximadamente 22 m de profundidad y 14 m de ancho. En el fondo, dos paredes alineadas de piedra apilada delimitan un refugio de 22,75 m². Las paredes están sólidamente construidas y dejan un espacio de acceso al recinto. La altura máxima del techo

⁸⁶⁰ FUNDACIÓN HISTAMAR Los objetos de la Cueva Lima-Lima, Isla Livingston, Shetland del Sur: una descripción y análisis (1995). [consulta: 02/11/2021]. Disponible en: <http://www.histamar.com.ar/SubArch/Cueva/LimaLimaBase.htm>.

⁸⁶¹ *Ibid.*

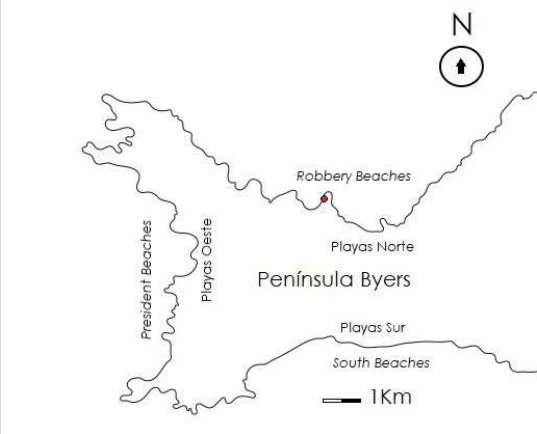
de la cueva alcanza los 7 m. La cámara menor no presenta estructuras, pero sí materiales arqueológicos acumulados en superficie en el fondo de la cámara. El ambiente dentro de la cueva es húmedo y los sedimentos de superficie permanecen congelados y con acumulación de hielo durante el verano»⁸⁶².

La cámara mayor tiene 2 niveles estratigráficos de ocupación arqueológica de cerca de 10 cm de ancho. El nivel estratigráfico 2 es más delgado y el suelo se caracteriza por la interrupción del nivel estéril del yacimiento (no arqueológico). La cámara menor no tiene paredes construidas de piedra, sino que está toda contornada por la conformación rocosa natural de la cámara. Los materiales arqueológicos se acumulan en la capa superficial de esta cámara.

El ambiente dentro de la cueva es muy húmedo, pero representa un buen abrigo contra el viento. Es posible que el material arqueológico haya sido más protegido de la disociación causada por el viento, y que la cueva haya sido buscada como un buen abrigo para los loberos-balleneros, siendo posiblemente ocupada por un grupo mayor de personas. Además de los recintos, el área que se extiende de ellos hasta la apertura de la entrada de la cueva tiene gran cantidad de pieles, textiles y otros materiales arqueológicos, lo que apunta un área aún más amplia de desarrollo de actividades en el yacimiento.


⁸⁶² ZARANKIN, Andrés y SENATORE, María Ximena. *Historias de un pasado en blanco: Arqueología Histórica Antártica*, op. cit., p. 90.

Tabla 19. Excavación en cueva Lima Lima, 2018




Map showing the location of Cueva Lima Lima on the Byers Peninsula. The map includes labels for Robbery Beaches, Playas Norte, Playas Sur, South Beaches, President Beaches, and Playas Oeste. A scale bar indicates 1 Km and a north arrow is present.


Nombre: cueva Lima Lima
Sigla: Lima-Lima
Distancia del mar: 20 m
Año de campaña: 2018 y 2019
Tipología: recinto lobero-ballenero para actividades múltiples (vivienda y trabajo)
Localización: Byers
Coordenadas geográficas: Lat. S 62°36'930'', Long. O 61°02'207''
Datación: XIX



Sitio cueva Lima Lima, 2018, recinto principal



Sitio cueva Lima Lima, 2018, exterior de la cueva



Mapeo, 2018

Durante la campaña arqueológica de 2018 se realizó la primera excavación del LEACH en la cueva Lima Lima. El equipo de campo estuvo formado por Andrés Zarankin (arqueólogo jefe), Fernanda Codevilla (arqueóloga), Jimena Cruz (arqueóloga), Gersa Radicchi (conservadora), Clarice Linhales (graduada en Arqueología), Igor Tinoco (preparador físico, proyecto MediAntar), José Pelline

(arqueólogo) y Alexandre Hudson (preparador físico, proyecto MediAntar). Fueron 30 días de campo, entre febrero y marzo, con 6 días totales de excavación. Se excavaron 10 cuadras de 1 m², pero en 8 de ellas la excavación no fue completada. Anteriormente a las excavaciones de 2018 y 2019 llevadas a cabo por el LEACH, ya se habían recolectado en Lima Lima hallazgos en superficie, hecho el mapeo del sitio y algunas cuadrículas empezaron a ser excavadas⁸⁶³.

Por las grandes dimensiones del yacimiento y su gran riqueza de material y representatividad, en 2019 la excavación de la cueva Lima Lima fue reanudada. Las 8 cuadras de 1 m² de excavación empezadas en 2018 fueron finalizadas y más de 12 cuadras de 1 m² fueron excavadas.

El equipo de campo de 2019 estuvo compuesto por: Andrés Zarankin (arqueólogo jefe), Fernanda Codevilla (arqueóloga), Fernanda Oliveira (bióloga), Gerusa Radicchi (conservadora), María Jimena Cruz (arqueóloga), Will Lucas (arqueólogo), Luara Stollmeier (antropóloga), Raquel Caldas Nolasco (arqueóloga), Clarice Linhales (graduada en Arqueología), Igor Tinoco (educador físico, proyecto MediAntar) y Renata Passos (educadora física, proyecto MediAntar). La expedición de 2019 se realizó entre enero-febrero, durante 30 días, de los cuales 16 hubo excavación. Las dos expediciones a Lima Lima fueron gestionadas por el buque NApOc Ary Rongel.

5.2. Conservación en campo

Como ya se ha señalado, uno de los desafíos de la práctica de excavación arqueológica y de la conservación en la Antártica es el hecho de que circunstancias logísticas y climáticas operan en contra del tiempo de trabajo y están en todo momento dificultando la práctica de campo. El equipo es pequeño y el tiempo para las actividades de excavación es corto. Por eso y por el hecho de que los hallazgos presentan características muy específicas y mucha fragilidad, es difícil aplicar muchos de los tratamientos de conservación apuntados en la bibliografía de conservación *in situ*.

⁸⁶³ *Idem*.

Un gran número de hallazgos suelen aparecer en muy malas condiciones y en un espacio pequeño dentro de las cuadrículas de excavación (Figura 78). A menudo, aparecen mezclados un gran número de fragmentos pequeños y de sedimento arqueológico (Figuras 79 y 80). Los pequeños fragmentos de vestigios orgánicos se encuentran en todas partes. Forman un entramado complejo, muy difícil de individualizar o de poder aplicarles un tratamiento independiente de conservación.



Figura 78. Complejidad de la disposición de los hallazgos, Lima Lima, 2019⁸⁶⁴



Figura 79. Fragmentos de hueso en un pequeño espacio, Lima Lima, 2019⁸⁶⁵

⁸⁶⁴ Fuente: Gerusa de A. Radicchi.

⁸⁶⁵ Fuente: Gerusa de A. Radicchi.



Figura 80. Gran cantidad de fragmentos y materiales en un único punto de colecta⁸⁶⁶

Es clave para la conservación en este contexto de excavación maximizar el tiempo de trabajo en los yacimientos. Por ello, se adoptó la estrategia de establecer niveles de prioridad para poder aplicar tratamientos de conservación personalizados *in situ*. Para la gran mayoría de elementos recolectados el procedimiento *in situ* constó de la limpieza superficial, el registro y las medidas de acondicionamiento básicas. A estos se les designó el número de registro de colecta y se les acondicionó en bolsas de plástico con espumas y cajas inertes u otros materiales básicos de conservación (Figura 81).



Figura 81. Bolsas Ziploc preparadas con espumas de polietileno, Byers, 2018⁸⁶⁷

Solamente con los hallazgos más importantes y frágiles, o los considerados por los arqueólogos como representativos, se evaluó la necesidad de aplicar los

⁸⁶⁶ Fuente: LEACH, 2019.

⁸⁶⁷ Fuente: Gerusa de A. Radicchi.

test de los tratamientos personalizados de conservación *in situ*, como la consolidación o la retirada especial. Los arqueólogos responsables de cada zona de excavación también influyen en la elección de los objetos que van a ser tratados de manera especial, una vez que pueden solicitar que se dé prioridad a uno u otro hallazgo. En el laboratorio de campo se evalúa otra vez la necesidad de la consolidación, el acondicionamiento especial, y de este modo se seleccionan otra vez algunos hallazgos para la aplicación de procedimientos de conservación especiales. En el laboratorio de campo también es donde se acondicionan los objetos para el traslado al navío y después a Brasil.

Los tiempos de trabajo de la excavación y de la intervención de conservación *in situ* hubieron de estar bien conectados para evitar retardar mucho el desarrollo de la actividad de excavación. Muchos tratamientos de conservación son aplicados paulatinamente en el yacimiento, haciendo que el arqueólogo tenga que parar de trabajar por algún tiempo, principalmente en el caso de respetar los tiempos de secado de la solución de consolidación. Sin embargo, las cuadrículas arqueológicas deben ser excavadas todas a una profundidad aproximada, pues solamente así es posible ver claramente los perfiles de los niveles de ocupación. En caso de que una cuadrícula esté paralizada por un largo período de tiempo a causa de un tratamiento de conservación, puede ser que toda la excavación tenga que detenerse. Así, el proceso de tratamientos *in situ* puede ocasionar un retraso a la dinámica de excavación en caso de que no se aplique de manera indiscriminada, o sea, sin la preselección de hallazgos por relevancia arqueológica.

Las actividades de conservación llevadas a cabo en los sitios cerro Sealer 1 en 2017 y cueva Lima Lima en 2018 y 2019 se desarrollaron en un total de ocho grupos de actividades: muestreo para investigación micromorfológica de suelo y muestreo microbiológico para identificación de hongos; documentación; uso de consolidantes; levantamientos especiales; limpieza; acondicionamiento húmedo de materiales orgánicos mojados; acondicionamiento seco de objetos metálicos; acondicionamiento para el traslado. La aplicación de las ocho actividades de conservación tuvo también como objetivo testar alguno de los métodos de

tratamiento curativo y preventivo referenciados en la bibliografía y expuestos en el capítulo 4.

Para la toma de decisión acerca de llevar a cabo los tratamientos básicos o los tratamientos particularizados de conservación, se consideró la representatividad del hallazgo para dicho tratamiento especializado, y se consideraron también los diagnósticos del estado de conservación de los hallazgos hechos en campo. Los diagnósticos tuvieron como base las informaciones reunidas a partir de la investigación acerca de las influencias medioambientales relacionadas a la localización geográfica de Livingston (capítulo 2), y de las degradaciones intrínsecas de los artefactos y materiales (capítulo 3). Para la toma de decisiones fue sobre todo necesario conocer el contexto histórico y cultural de los materiales arqueológicos de la excavación, y también consultar la opinión de los otros especialistas del equipo presentes en campo.

5.2.1. Muestreo

Durante los tres años de excavación se recogieron *in situ* para su análisis muestras micromorfológicas de suelo y muestras de microbiología para cultivo de hongos (Figura 82). La recolecta se quedó a cargo del responsable de conservación y el acondicionamiento fue acompañado de cuidados de acondicionamiento. Para disminuir la carga de actividades a cargo de la conservación, en 2019 se pasó la toma de los dos tipos de muestras, de suelo y microbiológica, a cargo de la arqueóloga Raquel Nolasco.



Figura 82. Demarcación de retirada de suelo (izq.) y fricción del algodón para muestra biológica (der.), Lima Lima, 2018⁸⁶⁸

⁸⁶⁸ Fuente: Gerusa de A. Radicchi.

La metodología para la recolecta de las muestras de suelo fue indicada por la arqueóloga Ximena S. Villagran, colaboradora del LEACH y miembro del Terrantar (UFV, Brasil). El Terrantar es un laboratorio coordinado por Carlos Ernesto G. R. Schaefer y que tiene como uno de sus objetivos principales articular la investigación sobre el permafrost en Brasil. El protocolo para la recolecta de los especímenes de hongos fue indicada por la bióloga Graciéle Cunha Alves de Menezes, investigadora del laboratorio Mycoantar. Coordinado por el profesor Luiz Henrique Rosa, el proyecto Mycoantar (UFMG) tiene como objetivo catalogar especies de hongos encontradas en el continente Antártico y ensayar en diferentes estudios relacionados con la producción de medicamentos y la agricultura, entre otros. El Mycoantar y el LEACH construyeron a finales de 2017 una propuesta de trabajo conjunto para la identificación de especies endémicas y no endémicas de hongos en los hallazgos loberos-balleneros *in situ* (destacando los arqueológicos).

Las muestras de suelo se realizaron en cerro Selaer 1 en 2017 y en Lima Lima en 2018 y 2019. El objetivo de las tomas de suelo en los yacimientos loberos-balleneros fue identificar testigos de las actividades de los cazadores por medio de sus microcomponentes. Fue determinado el interés en dos tipos de muestras: sedimento suelto y sedimento en bloque. El sedimento suelto se utiliza para los análisis sin importancia en la orientación de la composición sedimentaria, mientras en el sedimento en bloque se mantiene la orientación de la estructura sedimentaria, ya que las composiciones de las superposiciones de las capas del suelo son importantes para algunos análisis.

El primer tipo de muestra se envasó en simples bolsas de plástico. Para el segundo, el método consistió en contar el bloque de tierra e introducirlo en una caja de aluminio, rodeándolo en seguida con film de polietileno para garantizar su estabilidad. Se indica la dirección de la parte superior de la muestra performada por medio de una flecha grabada en el exterior de la caja de aluminio. La retirada de las muestras se acompañó del registro fotográfico (antes-después), toma de las referencias espaciales con el Estación Total, y notas descriptivas del entorno. En caso de identificación de estructuras muy próximas (como hogueras, vértebras de ballena, entre otras), estas fueron también fotografiadas y dibujadas.

La toma de muestras microbiológicas se realizó en la cueva Lima Lima en 2018 y en 2019. Se friccionaron hisopos estériles directamente en la superficie del hallazgo recién revelado, cuando el mismo empezó a aparecer en el yacimiento. Uno de los enfoques de las tomas de muestras de hongos *in situ* fue intentar encontrar especies no autóctonas de la Antártica y que fueran llevadas con los loberos-balleneros a las islas Shetland del Sur, generando así datos acerca de la proveniencia de los cazadores. Se buscaron muestras microbiológicas en diferentes tipos de materiales arqueológicos, y principalmente en los que pudieron haber estado en bastante contacto físico con los cazadores, como los fragmentos de prendas, interiores de calzados, cables de instrumentos y bocas de botellas.

Se tomaron tres muestras en diferentes ubicaciones del mismo artefacto preexcavado, cada una con un hisopo diferente. Inmediatamente se humedeció cada uno de estos hisopos en una solución isotónica y se les encapsuló individualmente en una ampolla esterilizada. La urgencia en la retirada y cierre de la muestra redujo al mínimo el contacto con el equipo arqueológico y el entorno, y se evitó, de este modo, la contaminación de los hisopos con otras especies microbiológicas intrusas. Los hallazgos muestreados fueron fotografiados aún en el yacimiento, y se describió el entorno del objeto. Las muestras fueron numeradas y puestas en una caja de poliestireno facilitada por el laboratorio Mycoantar.

Tanto las muestras de suelo como las microbiológicas recibieron una numeración propia, pero las de suelo también recibieron un número de colecta de campo (Figura 83) y fueron incorporadas al manejo normal de conservación de los hallazgos. En total fueron tomadas 20 muestras de suelo en 2017, 18 en 2018 y 21 en 2019. Para las muestras microbiológicas, se tomaron 19 en 2018 y 15 en 2019. La caja que guardó las muestras biológicas fue también integrada al manejo normal de conservación de los hallazgos como carga sensible.



Figura 83. Colecta de suelo, cueva Lima Lima, 2019⁸⁶⁹

Las muestras deben ser mantenidas por debajo de los 10°C para evitar el deterioro de los componentes orgánicos y mitigar la proliferación indeseada de microorganismos. Desafortunadamente, no fue posible mantener la temperatura por debajo de los 10°C en varios momentos del trayecto entre la Antártica y el LEACH, por ejemplo, en el trayecto de avión de la Antártica a Brasil o en el trayecto en carretera entre Río de Janeiro y el LEACH (Belo Horizonte).

A la llegada de las muestras al LEACH, fueron entregadas rápidamente a los respectivos laboratorios colaboradores, quedando a cargo de ellas en las siguientes etapas de la investigación. Las informaciones concernientes a las condiciones del transporte también fueron transferidas a tales laboratorios colaboradores, para que se pudiera comprender mejor las interferencias generadas por el aumento de temperatura.

5.2.2. Documentación

La documentación relativa a la excavación arqueológica en los yacimientos de cerro Sealer 1 y Lima Lima se compuso de fotografías *in situ*, número de colecta de campo y cuaderno de campo, bocetos, GPS, Estación Total y scanner 3D. La documentación de conservación está compuesta por:

- Fotografía *in situ* de los hallazgos.
- Fotografía de tratamientos especiales de conservación *in situ*.
- Fotografía en laboratorio de campo de los hallazgos y de los tratamientos.
- Listas de identificación de hallazgos por cajas de acondicionamiento.

⁸⁶⁹ Fuente: Gerusa de A. Radicchi.

- Plantilla de diagnóstico de tratamiento en campo (únicamente en 2019).
- Mapa de daños (laboratorio de campo).

En 2019, la plantilla de diagnóstico de tratamiento en campo (Figura 84), un instrumento de toma de decisión para tratamientos de conservación especializados, fue concebida y testada en tres tipos de materiales: cuero, hierro y vidrio. La plantilla ayuda a diagnosticar estados de degradación, fragilidades, y ayuda a elegir los métodos de conservación. Consta de siete partes:

1. Identificación del hallazgo e informaciones básicas.
2. Descripción de materiales constituyentes.
3. Fecha de actividades en campo.
4. Diagnóstico de los factores de degradación posexcavación.
5. Acciones de conservación preventiva y curativa para el hallazgo.
6. Boceto/mapa de daños.
7. Informaciones para el control del transporte a Brasil.

The image shows a complex form titled "Diagnóstico y Tratamiento en Campo" divided into seven main sections:

- 1. Identificación:** Fields for "Lugar", "Registro", "Muestra", and "Otros".
- 2. Materiales:** A section for describing the materials.
- 3. Período de actividad:** A date selection field.
- 4. Diagnóstico:** A grid with columns for "Ocultos", "Abiertos", "Inventariados", "Muestras", "Otros" and rows for various degradation factors like "Humedad", "Temperatura", "Contaminación", etc.
- 5. Acciones:** A list of conservation actions such as "Limpieza", "Secado", "Embalaje", "Transporte", etc., with checkboxes for selection.
- 6. Mapa de daños:** A large empty box for drawing or mapping damage.
- 7. Transporte:** A table for recording transport details like "Control de temperatura", "Humedad", "Vibración", etc.

Figura 84. Plantilla de diagnóstico en campo

En la parte 4 de la plantilla se definen los factores de degradación relevantes para el hallazgo. La definición se hace automáticamente, cuando seleccionamos

los tipos de artefactos y materiales en una lista de posibilidades predefinidas en la tabla (Figura 85). Cada uno de los elementos de esta tabla está preasociado a sus factores potenciales de degradación posexcavación por medio de colores (por ejemplo, hierro-oxígeno, cerámica-impacto, etc.). En total son 11 factores de degradación posexcavación (11 colores). Al elegir un elemento de la tabla, se elige automáticamente 1 punto más para los 11 factores de degradación. La tabla actualiza automáticamente el gráfico de los factores de degradación (a la derecha), pues la plantilla fue desarrollada en formato Word®, valiéndose de las herramientas de correlación automática de tablas y gráficos de este programa. El gráfico ayuda a comprender los peligros de degradación por hallazgo y nos apoya en la toma de decisiones acerca de las acciones de conservación presentadas en la parte 5 de la plantilla (Figura 86).

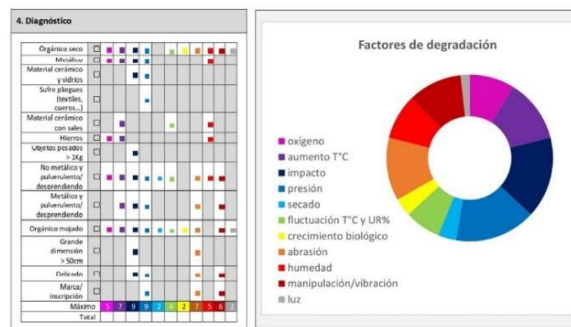


Figura 85. Parte 4: diagnóstico

5. Acciones	
Limpieza	Retirada especial del yacimiento
agua <input type="checkbox"/>	soporte rígido <input type="checkbox"/>
cetona <input type="checkbox"/>	espuma de poliestireno de extrusión <input type="checkbox"/>
alcohol <input type="checkbox"/>	lifting <input type="checkbox"/>
inmersión <input type="checkbox"/>	block Lifting <input type="checkbox"/>
lavado <input type="checkbox"/>	bandaging <input type="checkbox"/>
superficial <input type="checkbox"/>	Otros:
física / mecánica <input type="checkbox"/>	
pasivadores para metal <input type="checkbox"/>	
Otros:	
	Embalaje
	bolsa de polietileno aluminizado <input type="checkbox"/>
	bolsa seca <input type="checkbox"/>
	bolsa húmeda <input type="checkbox"/>
Consolidación	Inmersión <input type="checkbox"/>
por inmersión <input type="checkbox"/>	inmersión con pasivación para metales <input type="checkbox"/>
localizada <input type="checkbox"/>	hoja de aluminio (pasivación metales) <input type="checkbox"/>
superficial <input type="checkbox"/>	planificación (textiles) <input type="checkbox"/>
emulsión vinílicas <input type="checkbox"/>	fijación de partes <input type="checkbox"/>
solución acrílicas <input type="checkbox"/>	relleno (evitar pliegues) <input type="checkbox"/>
gaza u otro textil <input type="checkbox"/>	sobre de tul para fijar <input type="checkbox"/>
in situ <input type="checkbox"/>	sellado herméticamente <input type="checkbox"/>
laboratorio de campo <input type="checkbox"/>	sellado a vacío <input type="checkbox"/>
Otros:	gel de sílice <input type="checkbox"/>
	tarjeta medidora de humedad <input type="checkbox"/>
	absorbedor de oxígeno <input type="checkbox"/>
	amortiguadores (plásticos o espumas) <input type="checkbox"/>
Secado	caja de plástico <input type="checkbox"/>
secado natural <input type="checkbox"/>	aislante para materiales compuestos <input type="checkbox"/>
evitar secado <input type="checkbox"/>	protección de marcas e inscripciones <input type="checkbox"/>
secado alcohol / o acetona <input type="checkbox"/>	uso de biocida <input type="checkbox"/>

Figura 86. Parte 5: acciones de conservación

La documentación fotográfica de los tratamientos de conservación desarrollados en los hallazgos ha sido preferencialmente identificada con la escala y número de registro de campo del objeto. Los metadatos fotográficos, los bocetos y los mapas de daños también tienen el número de registro de campo. Estos dibujos se realizaron a mano o por medio del programa Inskape®, con el uso de las herramientas de capa de dibujo creadas directamente sobre la foto del objeto (Figura 87).



Figura 87. Mapa de daños, laboratorio de campo, 2018⁸⁷⁰

El cuaderno de campo registró la lista completa de hallazgos, con los números de colecta, el año de excavación, el tipo de material, el sitio, la cuadrícula de excavación y el nivel. Estos datos también fueron transferidos a una plantilla Excel®, que nos permitió crear tablas y gráficos del número total de vestigios por materiales y por año de excavación. Sin embargo, no fue posible completar esta transferencia de datos durante la estancia en campo y se finalizó en el LEACH.

5.2.3. Uso de consolidantes

Las pruebas de consolidación fueron aplicadas tanto *in situ* como en el laboratorio de campo y, en algunos casos, el consolidante fue aplicado durante el proceso de extracción del yacimiento. Los seis métodos empleados para el uso de consolidantes aplicados en los tres años de excavación se pueden sintetizar según la Tabla 20:

Tabla 20. Métodos de consolidación

Métodos	2017	2018	2019
I	3	2	0
II	1	1	1

⁸⁷⁰ Fuente: Gerusa de A. Radicchi.

III	0	2	1
IV	1	1	3
V	0	0	2
VI	0	0	1
TOTAL	5	6	8

- I. Hueso mojado muy frágil y pulverulento, consolidado con Mowilith® 60 del 5 al 10 % en agua. Aplicación *in situ* con una brocha, con el objetivo de mejorar la resistencia física para su extracción del yacimiento (Figura 88).
- II. Hueso mojado muy frágil y pulverulento, consolidado con Mowilith® 60 del 5 al 10 % en agua. Aplicación en el laboratorio de campo con una brocha, con el objetivo de mejorar la resistencia física para el traslado a Brasil (Figura 89).
- III. Madera de pequeña dimensión mojada y rota, pero ya con la capa más superficial seca, consolidada y con cohesión/adhesión con Paraloid® B-72 del 5 al 10 % en acetona. Aplicación en el laboratorio de campo con una brocha, con el objetivo de conectar fragmentos rotos (Figura 90).
- IV. Textil mojado y frágil, consolidado con Mowilith® 60 al 5 %. Aplicación en el laboratorio de campo con un pincel, con el objetivo de mejorar la resistencia física (Figura 91).
- V. Hierro pulverulento y roto, ya con la parte más superficial seca, consolidado *in situ* con Paraloid® B-72 al 10 % en acetona. Aplicación mediante engasados, con el objetivo de estabilizar el objeto antes de la extracción del yacimiento (Figuras 92 y 93).
- VI. Cerámica (ladrillo) pulverulenta, mojada, pero ya con la parte más superficial seca, consolidada con Paraloid® B-72 al 10 % en acetona *in situ*. Aplicación mediante engasados, con el objetivo de estabilizar el objeto antes de la extracción del yacimiento (Figura 94).



Figura 88. Consolidación de huesos mojados *in situ* con Mowilith® 60 al agua, cerro Sealer 1, 2017⁸⁷¹



Figura 89. Consolidación de huesos con Mowilith® 60 en agua, laboratorio de campo, 2018⁸⁷²



Figura 90. Madera seca adherida con Paraloid® B-72 en acetona, laboratorio de campo, 2018⁸⁷³



Figura 91. Textil consolidado con Mowilith® 60, LEACH, 2017⁸⁷⁴

⁸⁷¹ Fuente: Gerusa de A. Radicchi.

⁸⁷² Fuente: Gerusa de A. Radicchi.

⁸⁷³ Fuente: Gerusa de A. Radicchi.

⁸⁷⁴ Fuente: Gerusa de A. Radicchi.



Figura 92. Hierro consolidado *in situ* con gasa y Paraloid® B-72, cerro Sealer 1, 2017⁸⁷⁵



Figura 93. Hierro consolidado *in situ* con gasa y Paraloid® B-72, Lima Lima, 2019⁸⁷⁶



Figura 94. Ladrillo consolidado *in situ* con gasa y Paraloid® B-72, Lima Lima, 2019⁸⁷⁷

La elección de los consolidantes y los disolventes, las proporciones de las soluciones y el medio de aplicación, siguieron los principios de la penetrabilidad, del tipo de disolvente, de la cantidad de agua en el interior del objeto y del poder

⁸⁷⁵ Fuente: Gerusa de A. Radicchi.

⁸⁷⁶ Fuente: Gerusa de A. Radicchi.

⁸⁷⁷ Fuente: Gerusa de A. Radicchi.

de adhesión. Sabemos que en objetos húmedos no se debe aplicar adhesivo hidrofóbico, con el peligro de incurrir en la no penetración. También sabemos que los orgánicos no es recomendado secarlos en campo, sino con el debido cuidado en el laboratorio. Aun así, se intentó la aplicación de Mowilith® 60 disuelto en agua directamente sobre la superficie del hueso mojado *in situ*. Este tipo de hallazgo fue elegido debido a su extrema fragilidad (textura de ceniza), que transformaba en gran riesgo cualquier intento de moverlo.

Las intervenciones con consolidantes llevadas a cabo en el laboratorio de campo son tentativas de reforzar materiales extremadamente frágiles, preparándolos para las etapas de transporte a Brasil. Se testó en el laboratorio de campo la consolidación de maderas, huesos y textiles.

5.2.4. Extracción especial

La tierra de los yacimientos de Livingston está hecha en gran medida de arena (granos grandes) y piedra. Se excava fácilmente porque el suelo no es compacto y es poco agregado. Sin embargo, por tales características, los perfiles de excavación son inestables y pierden rápidamente la verticalidad (Figura 95), es decir, se desmoronan fácilmente. Las piedras representan otra dificultad a la conformación de los perfiles de excavación pues, al interceptarlos, crean barreras sólidas al decapado lineal del suelo.



Figura 95. Perfil del suelo (piedras y arena), excavación de Lima Lima, 2019⁸⁷⁸

⁸⁷⁸ Fuente: Gerusa de A. Radicchi.

Debido a las características del suelo y también a la distribución compleja de fragmentos en los yacimientos, hubo ciertas limitaciones a la hora de la aplicación de las técnicas de extracción especial en las cuales es necesario el corte del bloque de tierra en el entorno del objeto. Como respuesta, los test de extracción especial se limitaron a algunos procedimientos, como lo que muestra la síntesis de los de extracción de la Tabla 21:

Tabla 21. Métodos de extracción especial

Métodos	2017	2018	2019
I	1	0	1
II	1	2	2
III	1	2	2
IV	0	1	2
V	0	0	1
TOTAL	3	5	8

- I. Aplicación del *block lifting* por medio de placas de aluminio de 50 × 15 cm y 1,5 mm de espesura, para retirada de hallazgos junto al bloque de tierra. La hoja metálica, por su rigidez y delgadez, fue pensada para ser capaz de seccionar el suelo más fácilmente que otros materiales. Las cuatro placas de aluminio se unieron por los laterales formando un cuadro antes de ser insertadas en el entorno de un grupo de hallazgos asociados en el suelo. Una vez posicionadas sobre el perímetro deseado (Figura 96), el cuadro fue presionado en sentido vertical hasta penetrar en el suelo del yacimiento. Seguidamente, la tierra de alrededor fue excavada y otra placa de aluminio se presionó y posicionó horizontalmente y bajo los hallazgos, seccionando el bloque de tierra. Finalmente, una última placa se colocó en la parte superior del cuadro, componiendo la tapa (Figura 97). La caja resultante fue atada con cinta adhesiva y, en el exterior, se etiquetó con la indicación de la dirección superior del bloque.
- II. Retirada de pequeños bloques de tierra utilizando cajas de plástico con área para muchos fragmentos pequeños, orgánicos y/o inorgánicos (Figura 98). Se presionó la caja contra el suelo delimitando el área y después se cortó la parte inferior.
- III. Retirada del material arqueológico caracterizado como plano y con grandes extensiones, como pieles, cueros y textiles, por medio de bandejas, o planchas de plástico (Figura 99).

- IV. Retirada del material arqueológico con peligro de disociación envolviéndolo en capas de film de polietileno (Figura 100).
- V. Retirada del material arqueológico caracterizado como frágil y de grandes dimensiones por medio de protección de espuma de poliuretano. Después de aplicada la protección con film de polietileno y papel de aluminio en la parte superior del hallazgo ya excavado, se aplicó la espuma de poliuretano que toma la forma del objeto (Figuras 101 y 102). Con una espátula u otros objetos de corte se separó el objeto cuidadosamente del suelo desde la parte inferior, se giró y se acondicionó (Figuras 103 y 104) (retirada invertida, o *backing*).



Figura 96. Placa de aluminio para test de retirada en bloque, cerro Sealer 1, 2017⁸⁷⁹



Figura 97. Caja de retirada en bloque cerrada, LEACH, 2017⁸⁸⁰

⁸⁷⁹ Fuente: Gerusa de A. Radicchi.

⁸⁸⁰ Fuente: Gerusa de A. Radicchi.



Figura 98. Pequeñas retiradas con cajas plásticas, cerro Sealer 1, 2017⁸⁸¹



Figura 99. Retirada con soporte de bandeja, cerro Sealer 1, 2017⁸⁸²



Figura 100. Vértebra de ballena con protección de film de polietileno, Lima Lima, 2018⁸⁸³

⁸⁸¹ Fuente: Gerusa de A. Radicchi.

⁸⁸² Fuente: Gerusa de A. Radicchi.

⁸⁸³ Fuente: Gerusa de A. Radicchi.



Figura 101. Textil para ser extraído, Lima Lima, 2019⁸⁸⁴



Figura 102. Aplicación del polietileno en la cara expuesta del textil, Lima Lima, 2019⁸⁸⁵



Figura 103. Retirada y giro del textil, Lima Lima, 2019⁸⁸⁶

⁸⁸⁴ Fuente: Gerusa de A. Radicchi.

⁸⁸⁵ Fuente: Gerusa de A. Radicchi.

⁸⁸⁶ Fuente: Gerusa de A. Radicchi.



Figura 104. Embalaje final del textil, Lima Lima, 2019⁸⁸⁷

Para el desplazamiento de los objetos grandes del suelo y también para maniobras como giros, fue crucial la ayuda de una o dos personas más para garantizar que estos movimientos se hicieran con seguridad, sin causar daño a los objetos. El uso de yeso, silicona u otro material de relleno para la preparación de las técnicas de extracción especiales fue desconsiderado para los test de extracción especial, pues el poliuretano presentó mejores resultados, por su ligereza y rápido endurecimiento.

5.2.5. Limpieza

Los tratamientos de limpieza que se aplicaron en campo consistieron en limpiezas físico-mecánicas superficiales, efectuadas mediante cepillos e instrumentos quirúrgicos (Figura 105). Todos los objetos se sometieron a algún nivel de limpieza superficial *in situ* y/o en laboratorio de campo, con el fin de evidenciar y eliminar el exceso de tierra. La limpieza superficial disminuye la cantidad de posibles contaminantes en el interior de las bolsas de acondicionamiento.

⁸⁸⁷ Fuente: Gerusa de A. Radicchi.



Figura 105. Herramientas de limpieza, campo, 2017 y 2018⁸⁸⁸

Para evaluar la situación de acidez de los hallazgos se aplicó el test con la cinta de pH, que se aplica por contacto. Los resultados apuntados fueron de levemente neutro-ácido a ácido: pH de 6 a 4.5 (Figura 106). A menudo los objetos también están cargados de componentes grasos y otras sustancias que no son hidrosolubles, profundamente arraigadas a los materiales (Figuras 107 a 109), y cuya eliminación exige el uso de limpiezas con productos químicos, tiempo y decisiones complejas.



Figura 106. Test de acidez con cintas de pH, laboratorio de campo, 2018⁸⁸⁹

⁸⁸⁸ Fuente: Gerusa de A. Radicchi.

⁸⁸⁹ Fuente: Gerusa de A. Radicchi.



Figura 107. Hidrofobia de tejido (materia grasosa)⁸⁹⁰



Figura 108. Impregnación de tierra en tejido (10x), 2016⁸⁹¹

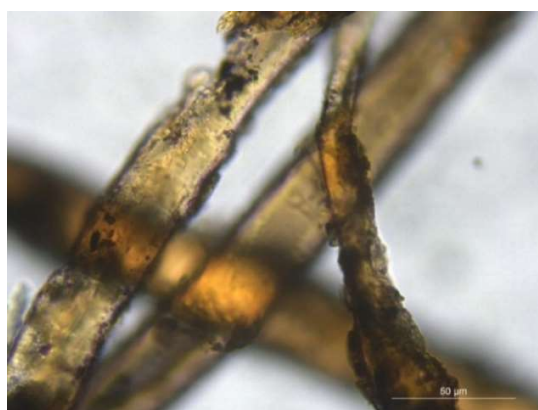


Figura 109. Profundidad del daño y suciedad en tejido (40x), 2016⁸⁹²

⁸⁹⁰ Fuente: Gerusa de A. Radicci. clase del curso de máster CRBC-UPV. Conservación de colecciones textiles. Análisis y prioridades. Docente: Sofía Vicente Palomino, 2017.

⁸⁹¹ Fuente: clase del curso de máster CRBC-UPV. Conservación de colecciones textiles. Análisis y prioridades. Docente: Sofía Vicente Palomino, 2017.

⁸⁹² Fuente: clase del curso de máster CRBC-UPV. Conservación de colecciones textiles. Análisis y prioridades. Docente: Sofía Vicente Palomino, 2017.

Debido a la probable presencia de contenidos de sales, iones y cloruros, en los tres años de trabajos de campo se sometieron algunos hierros y bronce a test de tratamiento de pasivación por medio de solución de hidróxido de sodio (NaOH) y solución de carbonato de sodio (Na_2CO_3). La pasivación tuvo como objetivo intentar mitigar su corrosión durante el transporte de estos hallazgos de la Antártica a Brasil. Estos test se resumen en la Tabla 22:

Tabla 22. Métodos de pasivación de metales

Métodos	2017	2018	2019
I	5	6	10
II	2	3	2
III	0	1	0
IV	0	1	0
TOTAL	7	11	12

- I. Baños con hidróxido de sodio (NaOH) a 2 % para ayudar a neutralizar la corrosión del hierro y del bronce, seguidos del secado y la preparación para los acondicionamientos especiales para metales en seco, procedimiento planteado en el apartado 5.2.7. Primero, en el laboratorio de campo, se sometieron los metales a una limpieza mecánica con cepillo y bisturí. A continuación, se efectuaron los baños de solución de hidróxido de sodio en agua, durante un mínimo de 2 horas. En seguida, se neutralizaron los metales mediante inmersión en agua destilada durante más de 2 horas; después se procedió al secado mediante baños secantes de 1 hora en alcohol y 1 hora en acetona (Figura 110). El ideal es que el tiempo de los baños fuera más largo, pero se estableció que este sería un tiempo mínimo viable de trabajo.
- II. Baños con carbonato de sodio (Na_2CO_3) al 5 % en agua, siguiendo la misma metodología anterior del tratamiento con hidróxido de sodio aplicado a hierros y bronce.
- III. Acondicionamiento de objetos de hierro en inmersión en solución de hidróxido de sodio al 2 % en agua para el transporte a Brasil (Figura 111).
- IV. Acondicionamiento de objetos de hierro en inmersión en solución de carbonato de sodio al 5 % en agua para el transporte a Brasil.



Figura 110. Inmersión de botón de bronce en baño secante, laboratorio de campo, 2019⁸⁹³



Figura 111. Hierro en inmersión para traslado, laboratorio de campo, 2018⁸⁹⁴

La acidez, sales y otros contaminantes nocivos que están en los hallazgos metálicos o no metálicos no pueden ser totalmente eliminados o neutralizados en campo. Por otra parte, la prudencia en la limpieza en campo ayuda a evitar el lavado elimine sustancias en los hallazgos que no son suciedades y contaminación, sino sustancias arqueológicas, o sea, el resultado de la propia actividad de los loberos-balleneros. Por ello, se requiere, por ejemplo, especial cuidado para no limpiar, tocar y no adicionar nuevas sustancias en los fondos de botellas o en los interiores de las cazoletas de las pipas. Estas partes de los objetos son ideales para muestras de exámenes físico-químicos de sustancias consumidas por los loberos-balleneros.

⁸⁹³ Fuente: Gerusa de A. Radicchi.

⁸⁹⁴ Fuente: Gerusa de A. Radicchi.

5.2.6. Acondicionamiento húmedo de materiales orgánicos

Uno de los temas centrales de esta investigación doctoral es el estudio de los cuidados de conservación para el material arqueológico orgánico. En Byers, prácticamente todos los materiales orgánicos están húmedos cuando son retirados del suelo, así como permanecieron unidos y congelados a lo largo de su permanencia en el yacimiento. Además de húmedos, los orgánicos se encuentran en general en un estado muy frágil, como consecuencia de los procesos naturales de degradación que padece esta categoría de material en los yacimientos antárticos.

Una de las primeras acciones de conservación en campo para los artefactos orgánicos húmedos fue controlar la pérdida súbita de agua. Desde que se empieza la excavación hasta la recolecta es posible ir adicionando agua destilada con un dispersor si hay peligro de desecamiento (Figura 112). Después de registrado y recolectado del suelo el material orgánico mojado, en el laboratorio de campo se testaron algunos sistemas de embalajes para proteger y estabilizar, además de evitar la pérdida de agua de los objetos. La síntesis de estos métodos y los embalajes testados se describen en la Tabla 23:

Tabla 23. Métodos de acondicionamiento húmedo

Métodos	2017	2018	2019
I	3	6	7
II	0	4	10
III	5	2	6
IV	3	1	2
V	1	0	0
TOTAL	12	13	25

- I. Uso de sobres herméticamente cerrados, capaces de mantener la humedad interna de los materiales orgánicos hasta la llegada al laboratorio, además de tener también la función de estabilizar y amortiguar los impactos. Se envolvió primeramente el material arqueológico mojado con film de polietileno (Figura 113), y después con la tela Sontara® humidificada (Figura 114). Finalmente, el objeto se colocó dentro del sobre de Marvelseal® 360, cerrándolo mediante selladora térmica (Figura 115). La tela Sontara® está hecha de TNT (tejido-no-tejido) sintético químicamente inerte y capaz de guardar en sí mismo gran

cantidad de agua. Se caracteriza también por su suavidad y por no ser atacada por el crecimiento de microorganismos. El Marvelseal® 360 es un film de aluminio con polietileno y *nylon* que actúa como una barrera a la transmisión de gases atmosféricos y humedad, siendo también una barrera contra la luz. Por medio de la selladora térmica, el polietileno del Marvelseal® 360 se adhiere y cierra los sobres.

- II. Se utilizaron plásticos de polietileno originalmente utilizados en la conservación alimenticia para confeccionar sobres herméticamente cerrados con la selladora térmica, evitando la salida de agua (Figura 116).
- III. Para la estabilización de los objetos orgánicos planos, como los textiles y cueros, se realizó su estabilización con tul de *nylon* de textura suave y puntos de costura anchos, que se cosió alrededor del objeto (Figura 117).
- IV. Los pliegues de textil o cuero fueron suavizados por medio de la aplicación de rellenos con espuma acrílica, evitando así que las fibras siguieran siendo presionadas y sufrieran roturas en estos puntos durante el transporte de la Antártica a Brasil. Algunos calzados fueron adaptados con un acondicionamiento personalizado, siendo reposicionados y rellenos con la manta acrílica, para que el objeto pudiera ir recobrando otra vez su forma original (Figura 118).
- V. Para evaluar las posibilidades de control del desarrollo de microorganismos con biocidas, se testó el biocida Eugenol® (marca Biodinâmica®) a una proporción del 2 % en agua y se aplicó un fragmento de textil (Figura 120). El Eugenol® es un biocida a base de clavo, utilizado como fungicida para alimentos y productos orgánicos. La muestra del textil húmedo junto con el biocida fue sellada en el sobre, y permanecieron en las cajas con material arqueológico fuera de refrigeración durante el traslado en el NApOc Almirante Maximiano.

Cuando los artefactos orgánicos mojados permanecen muchos días fuera de refrigeración, bajo temperaturas cálidas, muy a menudo comenzará a aumentar la presencia de microorganismos. En algunos casos, esto ocurre a punto de que el crecimiento biológico sea perceptible, ya cuando el objeto llega a la sede del LEACH. Incluso en objetos orgánicos secos u objetos que están dentro de los refrigeradores, cuando están cerrados en bolsas plásticas, pueden llegar a desarrollar microorganismos a este nivel (Figura 119).



Figura 112. Aplicación del spray de agua destilada textil *in situ*, cerro Sealer 1, 2017⁸⁹⁵



Figura 113. Protección de objeto orgánico con film de polietileno, laboratorio del navío Almirante Maximiano, 2017⁸⁹⁶



Figura 114. Sobre de Sontara® humidificado, laboratorio del navío Almirante Maximiano, 2017⁸⁹⁷

⁸⁹⁵ Fuente: Gerusa de A. Radicchi.

⁸⁹⁶ Fuente: Gerusa de A. Radicchi.

⁸⁹⁷ Fuente: Gerusa de A. Radicchi.



Figura 115. Marvelseal® 360 sellado, laboratorio del navío Almirante Maximiano, 2017⁸⁹⁸

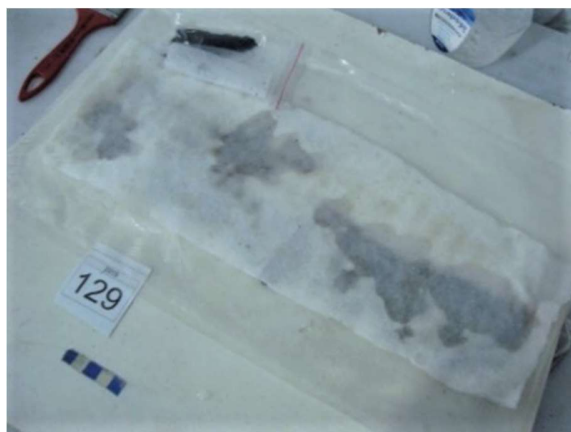


Figura 116. Sobre de Sontara® y bolsa plástica, laboratorio de campo, 2019⁸⁹⁹



Figura 117. Sobre de tul, laboratorio de campo, 2018⁹⁰⁰

⁸⁹⁸ Fuente: Gerusa de A. Radicchi.

⁸⁹⁹ Fuente: Gerusa de A. Radicchi.

⁹⁰⁰ Fuente: Gerusa de A. Radicchi.



Figura 118. Relleno de calzado con manta acrílica, laboratorio de campo, 2019⁹⁰¹



Figura 119. Madera húmeda y presencia microbiológica, LEACH, 2016⁹⁰²



Figura 120. Prueba con biocida en tejido mojado: aplicación en fragmento menor, laboratorio del navío Almirante Maximiano, 2017⁹⁰³

⁹⁰¹ Fuente: Gerusa de A. Radicchi.

⁹⁰² Fuente: Gerusa de A. Radicchi.

⁹⁰³ Fuente: Gerusa de A. Radicchi.

No se enfatizó el acondicionamiento de los orgánicos por inmersión en los test por el hecho de que el método significaría un cambio considerable en las condiciones del entorno de acondicionamiento de los objetos, que a su vez son, a menudo, muy frágiles y porosos. Los hallazgos loberos-balleneros no se hallaban bajo agua en los yacimientos, la inmersión no es quizás una condición natural para ellos. El acondicionamiento por inmersión de orgánicos tampoco fue priorizado en los test pues generaría el problema del aumento de peso y volumen de la carga con el material arqueológico. Sin embargo, este acondicionamiento representaría la ventaja de disminuir la proliferación de microorganismos aeróbicos.

Al final de la expedición, no es posible trasladar parte del material arqueológico junto al equipo a Brasil inmediatamente al final de la expedición, permaneciendo en los navíos hasta el final de las OPERANTARes. El material arqueológico que permaneció en los buques durante el trayecto en estos tres años de investigación quedó almacenado en los sótanos de la embarcación, sin refrigeración controlada, permaneciendo susceptible al aumento de temperatura a medida que la embarcación empezó a acercarse a la costa atlántica suramericana. Aunque en 2014 fue posible mantenerlo en refrigeración en el buque Ary Rongel, tal condición no estuvo disponible en los años de 2017, 2018 y 2019. Los refrigeradores de los navíos son utilizados para refrigerar otros tipos de carga, como, por ejemplo, alimentos, y por lo tanto no había espacio disponible.

5.2.7. Acondicionamiento seco de objetos metálicos

Un procedimiento general adoptado para los objetos metálicos en campo fue la protección de cada fragmento en una bolsa de polietileno separadamente, evitando la corrosión debido al roce entre piezas metálicas (Figura 121). Algunos hallazgos metálicos de hierro y bronce recibieron baños pasivantes y secantes, conforme se ha mencionado en el apartado 5.2.5, y en seguida se acondicionaron en sobres herméticamente sellados. El resumen de los test con el acondicionamiento seco se muestra en la Tabla 24:

Tabla 24. Métodos de acondicionamiento seco

Métodos	2017	2018	2019
I	7	3	4

II	0	3	8
III	0	3	0
TOTAL	7	9	12

- I. Se utilizaron sobres hechos de Marvelaseal® 360, cerrados con sellador térmico y con la aplicación de gel de sílice en su interior (Figura 122), en un recipiente herméticamente cerrado, con el suficiente gel para ser capaz de mantener el porcentaje de humedad relativa en aproximadamente un 10 %. El cálculo se realizó de la siguiente manera: aproximadamente 1 kg de gel por cada 0,012 m³ de volumen a desecar. Cartelas indicadoras de humedad fueron introducidas en los sobres para testar la humedad interna en el momento de la llegada del metal arqueológico al laboratorio del LEACH.
- II. Se aplicó el mismo procedimiento referente a los sobres de Marvelaseal® 360 con el gel de sílice, pero sustituyéndolo por las bolsas confeccionadas con plástico de polietileno, algunas con gel de sílice y otras sin él. Se utilizó la propiedad de la máquina selladora de cerrar en vacío las bolsas de polietileno. La retirada del aire disminuyó la cantidad de oxígeno en las bolsas y la cantidad de humedad. Es fácil controlar la máquina para que la presión ocasionada por el vacío no cause daño a los objetos. La selladora es pequeña y hecha para el uso doméstico, no tiene mucha potencia, y por ello la succión del vacío no ejerce mucha presión en los objetos (Figura 123).
- III. Se aplicó el mismo procedimiento anterior con las bolsas de plástico de polietileno, gel de sílice y la aplicación de vacío, pero adicionando absorbedores de oxígeno. La retirada de aire también facilita el trabajo del gel de sílice y de los reductores de oxígeno. Se testó el uso de absorbedores de la marca Oxyfree Oxygen Absorbers® (Figura 124), la cual recomienda que el espacio libre dentro de los sobres sea solamente del 10 % del volumen total.



Figura 121. Protección de hierro con film de polietileno, laboratorio de campo, 2018⁹⁰⁴



Figura 122. Acondicionamiento de metal en Marvelseal® 360 sellado, LEACH, 2018⁹⁰⁵



Figura 123. Selladora doméstica, laboratorio de campo, 2018⁹⁰⁶

⁹⁰⁴ Fuente: Gerusa de A. Radicchi.

⁹⁰⁵ Fuente: Gerusa de A. Radicchi.

⁹⁰⁶ Fuente: Gerusa de A. Radicchi.



Figura 124. Acondicionamiento al vacío, antes de la extracción de aire, laboratorio de campo, 2018⁹⁰⁷

Aunque los acondicionamientos por inmersión para los metales presentan la ventaja de la eliminación del oxígeno, no se enfatizó este sistema por el hecho de que ampliaría el volumen y peso de las cajas de acondicionamiento. Los tests de acondicionamiento en inmersión de hierro desarrollados se realizaron en solución pasivadora, conforme se ha planteado en el apartado 5.2.5. («Limpieza»).

5.2.8. Traslados

Está a cargo del conservador el trabajo de organizar las cajas con los materiales de conservación antes de partir para el yacimiento, así como el trabajo de organizar las cajas con los hallazgos en el yacimiento para su traslado al campamento. Todos los días de excavación se lleva del campamento al yacimiento todo el material de consumo diario (como cajas, espumas, etc.) y, al final de los trabajos de excavación, se regresa al campamento con los hallazgos recuperados. No es posible acumular material excavado en el sitio, primero porque los objetos necesitan un acondicionamiento y cuidado inmediatos, segundo, porque es impracticable permitir que se acumule una gran cantidad de hallazgos excavados alrededor de los cimientos y luego transportarlos todos a la vez al campamento. Tampoco es posible reservar días de buen tiempo únicamente para hacer el traslado del material y hallazgos.

Los objetos extraídos del suelo son bien distribuidos en cajas pequeñas, de manera que todos los investigadores puedan ser capaces de transportarlas al

⁹⁰⁷ Fuente: Gerusa de A. Radicchi.

campamento al final del día de trabajo (Figuras 125 y 126). Los objetos de mayor tamaño, o fueron cargados individualmente en las cajas, o fueron acondicionados en las mochilas (Figura 127).



Figura 125. División de materiales en cajas *in situ*, Lima Lima, 2019⁹⁰⁸



Figura 126. Reparto de cajas de hallazgos por investigadores, Lima Lima, 2019⁹⁰⁹



Figura 127. Objeto arqueológico mayor en mochila, Byers, 2019⁹¹⁰

⁹⁰⁸ Fuente: Gerusa de A. Radicchi.

⁹⁰⁹ Fuente: Gerusa de A. Radicchi.

⁹¹⁰ Fuente: Gerusa de A. Radicchi.

El conservador es el responsable también de proporcionar a los colegas las instrucciones sobre los cuidados en el desplazamiento del material arqueológico: cuidado con los movimientos, con la posición correcta de la caja y atención con los impactos. Sin embargo, es casi imposible evitar la vibración en la caminata del yacimiento al campamento. Los trayectos yacimiento-campamento son difíciles, generalmente tardan más de 1 hora, y a menudo se realizan bajo viento fuerte, lluvia y/o nieve (Figuras 128 y 129).



Figura 128. Trayecto entre yacimiento y campamento, Byers, 2019⁹¹¹



Figura 129. Trayecto cuesta arriba de regreso al campamento, Byers, 2019⁹¹²

Para mitigar los impactos, la vibración, y los problemas de roturas, abrasión y deformación, se testó la mejora de la protección mecánica de los hallazgos por

⁹¹¹ Fuente: LEACH.

⁹¹² Fuente: Gerusa de A. Radicchi.

medio del uso de dos distintos productos amortiguadores, como la espuma de poliuretano y la silicona. La síntesis de estos test se describe en la Tabla 25:

Tabla 25. Métodos de protección contra impactos

Métodos	2017	2018	2019
I	3	4	8
II	4	2	0
TOTAL	7	6	8

- I. Uso de la espuma de poliuretano *in situ* o en laboratorio de campo como medio de estabilizar los hallazgos y mitigar impactos (Figura 130). Se aisló el objeto primeramente con una capa de film plástico de polietileno, y después con una capa de papel de aluminio, con el fin de proteger y no permitir el contacto con los productos.
- II. Uso de capa de silicona como medio de estabilizar los fragmentos de vidrio y las pipas en las cajas de acondicionamiento y mitigar impactos y la vibración (Figura 131). Como en el procedimiento anterior, se aislaron los objetos previamente con film de polietileno y papel de aluminio.



Figura 130. Embalaje de vértebra con espuma de poliuretano *in situ*, Lima Lima, 2019⁹¹³

⁹¹³ Fuente: Gerusa de A. Radicchi.



Figura 131. Vidrio acondicionado con silicona, laboratorio de campo, 2017⁹¹⁴

Después de tratadas y embaladas en el laboratorio de campo, las bolsas y cajitas con hallazgos fueron organizadas en cajas de polietileno, y estas cajas de polietileno fueron organizadas en cajas plásticas rígidas mayores (tipo contenedores Marfinite). Los principales materiales amortiguadores utilizados en el transporte son las cajas de polietileno, espumas de polietileno, plástico de burbujas y las cajas de Marfinite (Figuras 132 y 133).



Figura 132. Material separado por fragilidad y tamaño, laboratorio de campo, 2019⁹¹⁵

⁹¹⁴ Fuente: Gerusa de A. Radicchi.




⁹¹⁵ Fuente: Gerusa de A. Radicchi.



Figura 133. Material separado por fragilidad y tamaño, laboratorio de campo, 2018⁹¹⁶

El desafío en esta preparación de carga está en la estabilización física, la superposición y distribución idónea de los pesos y el agrupamiento por fragilidad de materiales, y la necesidad de control ambiental. La separación de muestras de sedimentos pesados y de objetos grandes de los objetos pequeños y ligeros ayuda a maximizar el espacio y a conservar preventivamente durante el transporte. Así, los objetos son organizados con relación a la fragilidad, la importancia, el material y el peso, siempre intentando reducir el volumen total sin que eso comprima y perjudique el material arqueológico. El total de contenedores grandes de transporte se presenta en la Tabla 26:

Tabla 26. Cajas producidas por año de excavación

	2017	2018	2019
N.º registros	69	215	808
N.º cajas (tipo Marfinite)	1 caja grande de 80 × 50 × 40 cm, 1 caja pequeña de 60 × 40 × 20 cm y media caja grande	3 cajas grandes de 80 × 50 × 40 cm	4 cajas pequeñas de 40 × 40 × 20 cm y 2 cajas grandes de 80 × 50 × 40 cm
Volúmenes			

⁹¹⁶ Fuente: Gerusa de A. Radicchi.

Los contenedores Marfinite fueron transportados de Livingston al navío en bote en 2017, y en helicóptero en 2018 y 2019. Llegada la carga en el navío, el conservador sigue revisando la carga y acompañando todos los cambios y traslados, y eligiendo las mejores condiciones climáticas de almacenamiento, como si fuera un *courrier* (Figuras 134 y 135). Cada año de expedición se hubo de negociar con los responsables de la Marina y de la OPERANTAR la definición conjunta de la mejor infraestructura disponible en las embarcaciones y los vuelos de FAB para garantizar la conservación preventiva del material arqueológico durante el transporte a Brasil. Es muy difícil eliminar los choques y trepidaciones de los movimientos en esta etapa de traslado de Byers a los navíos y de la Antártica a Brasil, pero es posible prevenirlos y reducirlos por medio del uso de materiales y acciones directas de acompañamiento y control.



Figura 134. Control de carga en NApOc Ary Rongel, 2018⁹¹⁷

⁹¹⁷ Fuente: Gerusa de A. Radicchi.



Figura 135. Descenso de carga en la grúa del NApOc Ary Rongel, 2019⁹¹⁸

La lista de identificación de las cajas y la relación de los contenidos ayudaron en la gestión y la identificación de extravíos. Decenas de cajas Marfinite y equipamientos provenientes de otros proyectos de investigación o provenientes de otras cargas se agrupan, salen y entran en los sótanos de las embarcaciones. Hay marineros designados para controlar tales movimientos, pero es imprescindible que el conservador vigile el control.

El objetivo del LEACH es traer todo el material rescatado lo más pronto posible con los miembros de campo del LEACH al final de la expedición, pero eso no suele ser posible. No hay espacio para todos los contenedores Marfinite con hallazgos en el avión de la FAB que los investigadores utilizan para venir de la Antártica a Brasil. Estos vuelos transportan muchas otras cajas con materiales de otros proyectos y cajas con otros fines. El espacio es limitado. Solo fue posible disponer de espacio correspondiente a la carga arqueológica parcial en los años 2017 y 2019 (Figura 136). En estas ocasiones, se eligió traer las cajas que contenían los grupos más significativos y frágiles de hallazgos. La otra parte de las Marfinite permanecieron en los sótanos de los navíos hasta su regreso a Brasil (marzo-abril).

⁹¹⁸ Fuente: Gerusa de A. Radicchi.



Figura 136. Cajas menores (azules) y dos cajas mayores, avión de la FAB, 2019⁹¹⁹

La excavación de 2017 generó 3 cajas Marfinite con hallazgos, dos de $80 \times 50 \times 40$ cm y una de $60 \times 40 \times 20$ cm, pero una de las más grandes estaba llena de material más pesado solo hasta la mitad (la otra mitad fue ocupada con materiales excedentes de embalaje de conservación). Esta se quedó en el navío mientras las otras dos vinieron con el equipo del LEACH al final de la expedición en el vuelo de la FAB. La expedición de 2018 generó tres cajas Marfinite y todas se quedaron en el navío. En 2019 cuatro cajas de dimensiones menores ($40 \times 40 \times 20$ cm) fueron transportadas con los miembros del LEACH en el vuelo de la FAB, y otras dos Marfinite quedaron en el navío para después de la expedición. En 2017 y en 2019, los test de conservación fueron transportados en las cajas junto a los investigadores en el vuelo de la FAB, pero en 2018 los test se quedaron en la embarcación hasta abril. En 2017 fue incorporado un termohigrómetro *datalogger* dentro de una caja Marfinite que quedó en el navío, y otro aparato en una caja del vuelo de la FAB, recabando así los datos acerca de la T°C y la RH % de los dos tipos de traslado de los materiales arqueológicos de la Antártica a Brasil (Figura 137).

⁹¹⁹ Fuente: Gerusa de A. Radicchi.



Figura 137. Termohigrómetro, laboratorio de campo, 2018⁹²⁰

Los contenedores Marfinite que viajaron en el vuelo de la FAB se desplazaron con el equipo al final de la expedición desde la Estación Chilena Frei Montalva, en la isla Rey Jorge, hasta Punta Arenas (Chile) (Figura 138), y después para Río de Janeiro, Brasil. Sin embargo, en el año 2017 el equipo cruzó el Drake con el navío Almirante Maximiano y embarcó en el vuelo de la FAB desde Punta Arenas. En los tres años el equipo siguió de la ciudad de Río a Belo Horizonte por medio de transporte en carretera —que tiene una duración de cerca de 6 horas en coche—. Todo este trayecto lleva cerca de 3 días y el material arqueológico queda sin refrigeración controlada. Sin embargo, hasta Punta Arenas la temperatura sigue baja (suele ser menos de 15°C).



Figura 138. Almacenamiento en la Estación Frei Montañó, Antártica 2019⁹²¹

⁹²⁰ Fuente: Gerusa de A. Radicchi.

⁹²¹ Fuente: Gerusa de A. Radicchi.

Los navíos ofrecieron espacio en un frigorífico que almacena materiales de investigación a -20°C para trasladar las Marfinite con el material arqueológico que permaneciera en los sótanos. Sin embargo, se prefirió no congelar el objeto súbitamente y no se utilizó este espacio. La mejor alternativa de acondicionamiento para las cajas que se quedaron en el navío sería mantenerlas en los refrigeradores para el estoque de géneros perecibles en los buques, a una temperatura entre 4 y 6°C . Pero esto solo fue posible en la expedición anterior de 2014, por lo que el material de 2017, 2018 y 2019 que quedó se almacenó en el sótano del navío.

Las cajas que permanecen en el navío pasan allí cerca de dos meses aún en la Antártica, partiendo a Río de Janeiro con el navío al final de la OPERANTAR entre marzo a abril. La subida por la costa atlántica lleva algunos días, durante los cuales, en los últimos, las temperaturas más tropicales pasan a incidir en las condiciones de los sótanos de las embarcaciones. Llegando a Río de Janeiro, el material arqueológico finalmente se desplaza a Belo Horizonte por transporte de carretera.



CAPÍTULO 6

Capítulo 6. Discusión de resultados y conclusiones

6.1. Resultados del método de trabajo

El contenido investigativo de la presente tesis está dividido en cuatro partes: bases teóricas (capítulo 1), investigaciones previas (capítulos 2, 3 y 4), práctica de campo (capítulo 5) y resultados y conclusiones (capítulo 6). Este apartado, el 6.1., es donde se muestran los resultados de los estudios previos, del registro y documentación, de los test de conservación, del traslado y la llegada de los hallazgos al laboratorio. El apartado siguiente, el 6.2., aportará las conclusiones.

6.1.1. Estudios previos

Los estudios previos acerca del medio ambiente de Livingston fueron importantes tanto para la comprensión de la degradación del material en el yacimiento, como para el desarrollo de diagnósticos de los hallazgos después del rescate. Por medio del cruce de informaciones encontradas en la bibliografía revisada acerca del estudio de las fragilidades de los materiales arqueológicos, y de la observación de la colección preexistente en el LEACH, fue posible llegar a algunas conclusiones acerca de un pronóstico de las condiciones de la degradación de los objetos. Los factores ambientales de degradación son bastante particulares en la Antártica y los artefactos arqueológicos lobero-ballenero de diferentes yacimientos muestran una similitud significativa. Estas dos conclusiones nos permiten comenzar a definir algunos patrones de destrucción-permanencia de restos arqueológicos in situ discutidos por Michael B. Schiffer y Robert Ascher y ya presentados en el Capítulo 2.

Los procesos naturales son predominantes en la Antártica y los culturales, cuando han existido, han sido más discretos o indirectos (aumento del turismo en Antártica, impacto ambiental y calentamiento global). Algunos factores antropogénicos que pueden estar afectando los vestigios son propios del registro cultural dejado por los loberos-balleneros y constituyen el propio suelo arqueológico (al igual que las sustancias resultantes de las actividades realizadas en los campamentos). Los estratos arqueológicos tampoco presentan las

discontinuidades provocadas por factores antrópicos, como ocurre en sitios arqueológicos en regiones habitadas y urbanizadas.

Sabemos que la mejor condición para la conservación de muchos materiales orgánicos e inorgánicos es el frío extremo, pues cuando el agua se convierte en hielo se desactiva su poder para destruir *in situ*⁹²². Además, el frío reduce las actividades biológicas y ralentiza muchas reacciones físico-químicas. Sin embargo, los restos de Livingston están sometidos a procesos criogénicos naturales⁹²³, donde experimentan repetidos ciclos de congelación-descongelación. La formación cíclica de cristales generada cuando la temperatura fluctúa entre más y menos de 0°C aumenta las tensiones mecánicas internas de los hallazgos, lo que resulta en el aumento de la porosidad, agrietamientos y fragmentación⁹²⁴. Este ciclo alrededor de 0°C, conocido en la literatura de conservación-restauración como *freeze-thaw cycles*, puede causar deterioración inclusive en los intracapilares del material arqueológico silíceo poroso⁹²⁵.

Si bien debemos reconocer la rareza de la preservación de restos orgánicos en los sitios arqueológicos, no podemos decir que sobreviven en un buen estado de preservación. Lo mismo para el caso de los yacimientos loberos-balleneros de las islas Shetland del Sur, privilegiados por la baja actividad de microorganismos, la baja interferencia humana, la baja polución ambiental y el clima polar, gran parte de lo que quedó en los yacimientos está frágil y degradado. Los orgánicos son perecibles por naturaleza, y aún más los orgánicos no manufacturados, como pieles, huesos y otras partes de animales.

Aunque la biodegradación en la Antártica sea considerada baja, tampoco es nula. Las comunidades de hongos, bacterias, algas y líquenes siguen presentes. Hongos y otras formas de vida microscópicas adaptadas al clima polar consiguen

⁹²² CRONYN, Janet Margaret. *Elements of archaeological conservation*, op. cit., pp. 25 y 26.

⁹²³ VILLAGRAN, Ximena S.; SCHAEFER, Carlos E. G. R. y LIGOUIS, Bertrand. *Living in the cold: Geoarchaeology of sealing sites from Byers Peninsula (Livingston Island, Antarctica)*, op. cit., p. 195.

⁹²⁴ NICOSIA, Cristiano y STOOPS, Georges (eds.). *Archaeological soil and sediment micromorphology*. Hoboken (Estados Unidos): John Wiley & Sons, 2017, p. 28; NEWTON, Charlotte y COOK, Clifford. *Caring for archaeological collections*, op. cit.

⁹²⁵ WEYER, Angela; ROIG PICAZO, Pilar; POP, Daniel; CASSAR, Joann; ÖZKÖSE, Aysun; VALLET, Jean-Marc y SRŠA, Ivan. *EwaGlos-European illustrated glossary of conservation terms for wall paintings and architectural surfaces*, op. cit., p. 159.

sobrevivir y se dispersan igual que en condiciones extremas⁹²⁶. Villagran *et al.* (2013) (Figura 139) notaron que era posible ver señales de biodegradación en fragmentos de huesos del yacimiento Sealer 3 en período de descongelación, generada por micelios fúngicos y su acción de destrucción microscópica⁹²⁷.

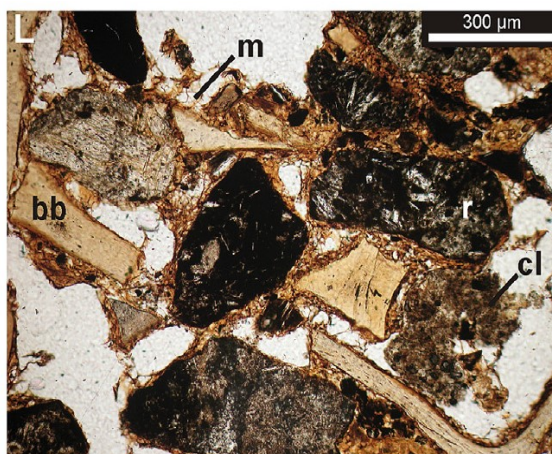


Figura 139. Photomicrographs (PPL) de Sealer 3⁹²⁸. Fragmentos de roca y hueso quemado (bb), compuesto de material fosfático y micelios fúngicos (m) y agregado de arcilla (cl)

Entre los tejidos animales de especímenes (hallazgos no manufacturados) encontramos dientes, huesos, pieles, pelos y grasas y, como es de esperar, no hay presencia de tejido blando como muslos o vísceras. Entre los manufacturados, la diversidad de materiales hace presumir que un poco de todas las categorías de instrumentos, utensilios y vestuarios descartados en Byers han sido preservadas. La degradación no llegó aún a suprimir totalmente categorías arqueológicas de materiales.

Entre los hallazgos textiles cuyo origen de las fibras es más fácilmente identificable, se aprecia la mejor condición general de preservación de las fibras de lana (Figura 140) que las vegetales. Probablemente esto es debido a la presencia de la queratina en las fibras animales, que puede resistir más que la celulosa en yacimientos levemente ácidos. Las fibras vegetales, como el algodón,

⁹²⁶ MYCOANTAR. *Liquenosfera: um microambiente protegido que abriga hongos nos ambientes extremos da Antártica* [en línea]. Mycoprojector, 2015 [consulta: 19/09/2021]. Disponible en: <https://bit.ly/3DC1qrU>.

⁹²⁷ VILLAGRAN, Ximena S.; SCHAEFER, Carlos E. G. R. y LIGOUIS, Bertrand. *Living in the cold: Geoarchaeology of sealing sites from Byers Peninsula (Livingston Island, Antarctica)*, *op. cit.*, p. 192.

⁹²⁸ *Idem.*, figura 6 (L) p.192 (traducción nuestra).

son también más pequeñas y más débiles que las de lana. Los objetos hechos de corderías de fibra vegetal también se encuentran dañados, resecaos y quebradizos (Figura 141). Sin embargo, hay mucha variabilidad entre la condición de preservación de las fibras y de los textiles, lo que puede estar relacionado con elementos también culturales, como la preferencia por ciertos tipos de fibras animales, las técnicas de manufactura, de teñido y el uso, y no únicamente a la relación entre materia prima y condiciones ambientales en el yacimiento.



Figura 140. Textiles (prob. lana) en media-buena condición⁹²⁹



Figura 141. Corderías en malas condiciones de preservación⁹³⁰

Las pieles no tratadas se encuentran en estado de degradación más avanzado que los cueros (Figura 142). Están sin resistencia mecánica y muy fragmentadas. No es posible decir si hay pieles con algún tipo de tratamiento para uso o si todas son la materia prima bruta. Los calzados, aunque resecaos, deformados y ya sin las costuras, son uno de los hallazgos orgánicos que se hallan en mejor estado de conservación. Los cueros de los calzados son gruesos (hasta

⁹²⁹ Fuente: LEACH, laboratorio, 2019 (inza.) y 2017 (der.).

⁹³⁰ Fuente: LEACH, laboratorio, 2017.

más de 2 mm) y aún están consistentes. Las costuras, los clavos de hierro y cavillas de madera suelen degradarse primero en estos artefactos. Algunos otros fragmentos de cuero y de piezas de cueros de vestuario (como guantes) no están en las mismas buenas condiciones que los calzados, lo que indica que estos últimos fueron producidos bajo manufactura y materia prima definidas, que los hicieron más resistentes que los otros cueros. Hay también que pensar que los calzados deben ser artículos resistentes debido a la función que desempeñan.



Figura 142. Estado de conservación de pieles y cueros⁹³¹. Piel en mal estado (izq.) y tacón de calzado con restos degradados de cavillas de madera (der.)

Algunas maderas están ligeras —han perdido mucha celulosa—, mientras otras no presentan señales notables de pérdida de peso y de resistencia estructural. Es posible decir que algunas de estas últimas están aún en relativo buen estado y muchas soportarían el secado lento sin necesidad de aplicar métodos de consolidación o plastinantes. Una parte significativa de las maderas son lascas provenientes de actividades artesanales. Sus pequeñas dimensiones reducen la posibilidad de daños causados por la retracción y distorsión por el secado (Figura 143). Las fracturas y distorsiones aumentan en maderas de largas dimensiones, pues los ejes de tensión aumentan. Algunos hallazgos de madera más grandes son partes de herramientas y otros objetos compuestos con metales (Figura 144). Las maderas, vértebras y costillas que se encuentran en la superficie de los yacimientos están blanquecinas y resecaadas por la acción de la intemperie, además de presentar a

⁹³¹ Fuente: LEACH, laboratorio, 2017 (izq.) y 2019 (der.).

menudo manchas y coloración verde debido a la colonización por algas (Figura 145). Debemos pensar que muchas de las maderas que encontramos en los yacimientos fueron aprovechadas desde los buques balleneros, es decir, ya están desgastadas por otros usos y por la exposición a la intemperie. Eso contribuye a la comprensión de los diferentes estados de degradación en que las encontramos.

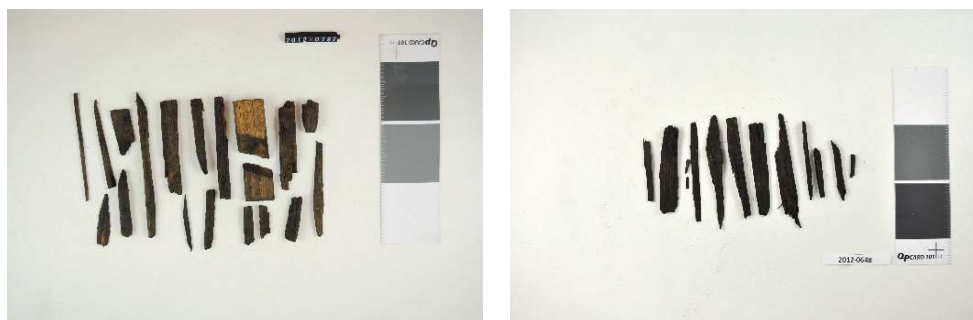


Figura 143. Fragmentos de madera⁹³²

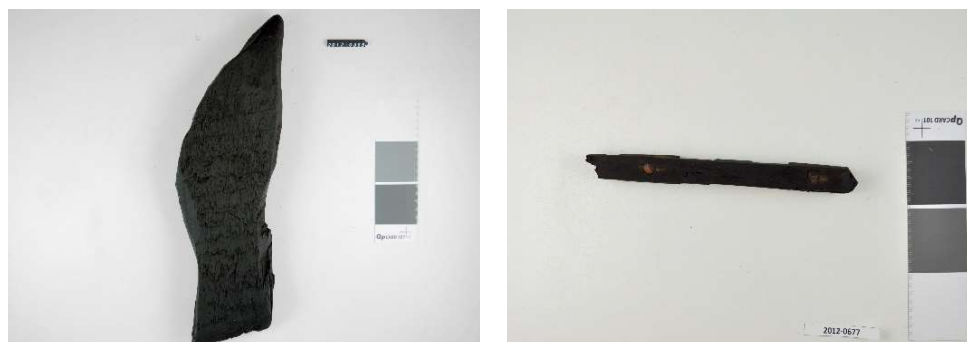


Figura 144. Maderas⁹³³.

Madera de cerca de 40 cm (izq.), hallazgo compuesto de madera y hierro (der.)

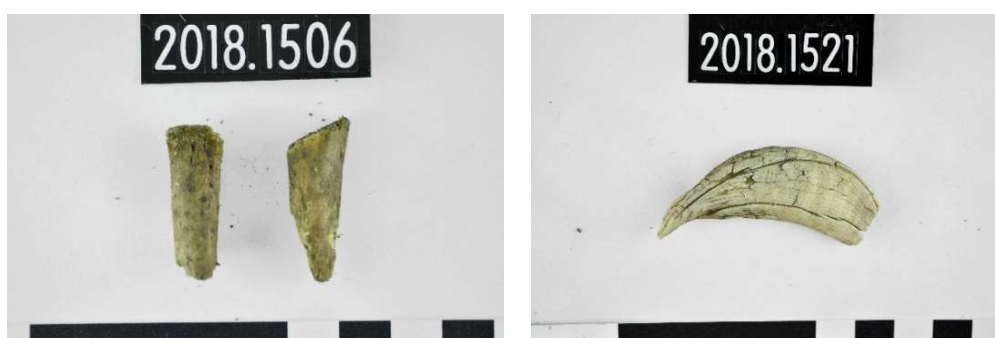
⁹³² Fuente: LEACH, laboratorio, 2012.

⁹³³ Fuente: LEACH, laboratorio, 2012.



Figura 145. Madera que sufrió la acción de la intemperie⁹³⁴

Los huesos y marfiles arqueológicos en general están bastante frágiles. Los yacimientos no presentan condiciones propicias a la fosilización de la materia orgánica y de los huesos. Estos siguen el camino de la destrucción sin huellas. El agua, la supuesta acidez del suelo y otras intemperies existentes en Livingston condujeron a la pérdida de sus componentes más blandos y aun del tejido rígido, generando el ablandamiento, fragmentación y fisuración que notamos en estos objetos. En los colmillos de foca es posible constatar la fisuración de su fisiología filamentar anisotrópica, efecto generado por la dilatación-contracción constante (Figura 146). Algunos huesos se encuentran en montículos acumulados en los yacimientos en el entorno de hogueras, mezclados con diversos materiales y en diversos niveles de calcinación. A menudo se encuentran junto a grasa, maderas y otros desechos usados como combustible o resultante de actividades como la alimentación. Los huesos calcinados presentan más estabilidad fisicoquímica y muchas veces no están pulverulentos (Figura 147).



⁹³⁴ Fuente: LEACH, laboratorio, 2012.

Figura 146. Hueso frágil (izq.) y colmillo de pinnípedo fisurado (der.)⁹³⁵



Figura 147. Huesos y otros materiales calcinados⁹³⁶

Algunos materiales orgánicos tienen una estabilidad fisicoquímica natural y se encuentran en buenas condiciones de preservación. Las ceras, corcho, son algunos de ellos (Figura 148). En el caso de las garras, pelos y otros tejidos animales hechos de queratina, encontramos condiciones distintas de degradación, proceso que se acentúa en presencia de agua. Si no fueran estos objetos intrusos más recientes —y no arqueológicos—, podríamos decir que algunos han sido bien preservados *in situ*.



⁹³⁵ Fuente: LEACH, laboratorio, 2018.

⁹³⁶ Fuente: LEACH, laboratorio, 2012.



Figura 148. Orgánicos estables⁹³⁷.
Corcho (izq. sup.), 2015; cáscara (der. sup.), 2017; uña (izq. inf.), 2018; cera (der. inf.), 2011

El suelo donde se ubican los yacimientos en Livingston (en las playas) no es arcilloso y está compuesto por granos de arena de gran granulometría, que favorecen el drenaje y la circulación rápida de agua y aire. Eso promueve la lixiviación de los objetos y muchas de las reacciones químicas que involucran la oxidación. Algunas capas arqueológicas poseen concentración de materia orgánica, como el guano de pingüino, o como los restos dejados por los loberos-balleneros en los yacimientos —restos alimenticios o la grasa y residuo de mamíferos marinos y pingüinos muertos—. La materia orgánica aumenta la proporción de elementos reactivos como los fosfatos y puede conducir al aumento de la acidez.

Con la presencia de aire, sales marinas, acidez, cloruros, etc., los artefactos metálicos se encontraron con corrosión *in situ*. Por sus propiedades naturales, los bronce y plomos se corroen menos que los hierros. El formato de corrosión intragranular y profunda también afecta más a los hierros. Los plomos rescatados están relativamente estables, sus productos de corrosión son suaves. Los bronce tienen las capas de corrosión verdosas típicas relativamente estables (Figura 149). Los hierros rescatados tienen productos de corrosión variados; encontramos desde pátinas protectoras de magnetita y vivianita, las pátinas básicas de hematita, goethita y limonita, como la *brown mass* bien desarrollada, hasta productos dañinos resultantes de los cloruros. Es posible evidenciar hierros con el desarrollo del *wepping* en la posexcavación. Tales diferencias entre los productos de corrosión y las diferencias de condición de preservación de los hierros suelen ocurrir incluso en el mismo yacimiento y contexto de ocupación (Figura 150). La manufactura, la

⁹³⁷ Fuente: LEACH, laboratorio.

calidad de la aleación, el formato del objeto y el uso pueden estar actuando para generar las diferencias entre estos estados de corrosión mencionados. Es también clave considerar que los yacimientos pueden presentar puntos de concentración de sustancias en el suelo, o sea, los factores de degradación y preservación pueden variar entre las regiones dentro del mismo yacimiento arqueológico y mismo nivel de ocupación.



Figura 149. Hierros de cerro Sealer 1⁹³⁸.

Hierro con protección de piel (izq. sup.), clavo en buen estado (der. sup.), soporte de olla de hierro con presencia de *wepping* (izq. inf.), clavo metálico con *brown mass* (der. inf.)

La concentración de fosfatos en ciertos puntos del yacimiento, por ejemplo, puede haber contribuido para la pasivación de algunos artefactos metálicos. Figueiredo *et al.* (2015) analizó los productos de corrosión de objetos de hierro, plomo y aleaciones de cobre provenientes de las primeras excavaciones realizadas por Leach en Byers y concluyeron la presencia de fosfatos y su posible relación con la actividad humana arqueológica dentro de los yacimientos. Los resultados de Figueiredo *et al.* (2015) coinciden con Villagran *et al.* (2013) acerca de la posibilidad

⁹³⁸ Fuente: LEACH, laboratorio, 2017.

de caracterización de las sustancias químicas en el suelo arqueológico generada por la propia actividad lobera-ballenera:

«Se encontraron productos de corrosión en artefactos metálicos excavados en cinco sitios arqueológicos en la isla Livingston. La goethita fue el principal producto de las aleaciones de hierro y se encontró fósforo en todos los objetos. Los artefactos de plomo y cobre mostraron la presencia de fosfatos como hidroxipiromorfita y pseudomalaquita, respectivamente. La presencia de fósforo y fosfatos es un marcador importante de huellas humanas»⁹³⁹.

Los objetos silíceos componen el grupo de hallazgos en mejor estado de conservación (Figura 150). Los vidrios, las pipas y el gres no son muy porosos y el corto tiempo de permanencia en los depósitos no fue suficiente para generar daños por infiltración, cristalización de sales o lixiviación. No presentan desgaste de bordas, señales de cristalización de sales, y tampoco tienen coberturas frágiles como pinturas y decoraciones en alto relieve. Se presentan a menudo en fragmentos que componen artefactos pequeños (pipas y utensilios). El problema principal de degradación de los silíceos son las fracturas. Hallamos fracturas que ocurren durante el depósito en el yacimiento, como demuestra la forma de dispersión de los fragmentos. Sin embargo, la mayor parte de las roturas son resultado del uso, lo que generó su descarte. Después del rescate las roturas siguen siendo el mayor peligro de degradación.

⁹³⁹ DE FIGUEIREDO, João Cura D'Ars; OLIVEIRA, Juliana Alves dos Santos; DE SOUZA, Gláucia Silva Marques; FRONER, Yacy-Ara; SOUZA, Luiz A. C. y ZARANKIN, Andrés. Characterization of corrosion products on metals excavated from seal hunters' occupation in Antarctica in the eighteenth and nineteenth centuries. *Studies in Conservation*. 2015, vol. 60, n.º 3, p. 216 (traducción nuestra).



Figura 150. Estado de conservación de silíceos⁹⁴⁰.
Gres (izq. sup.); fragmento de botella (der. sup.); botella (inf. izq.); pipa (inf. der.),
varios años

Los objetos en la superficie de los yacimientos son más rápidamente degradados por la intemperie. El viento es fuerte en las Shetland, siendo probablemente el principal dispersor de objetos arqueológicos descartados. Sin embargo, el mismo viento fuerte puede ser también responsable de recubrir rápidamente los objetos en los yacimientos loberos-balleneros con arena, protegiéndolos. Tales situaciones dependerán en mucho del posicionamiento geográfico del yacimiento. Locales abiertos, como el de Cerro Sealer 1, son más susceptibles a las fuerzas de erosión de viento, lluvia y nieve. Lima Lima, por otra parte, sufre menos erosión y dispersión del material.

Musgos, líquenes y animales de las Shetland también son agentes de descomposición de los materiales en los yacimientos subsuperficie (Figura 151). Los yacimientos son parte de su hábitat (Figura 152)⁹⁴¹.

⁹⁴⁰ Fuente: LEACH, Leticia Fernandes e Amanda Bravo, laboratorio 2018 y 2022.

⁹⁴¹ PEARSON, Michael. Conservation challenges in the South Shetland Islands, Antarctica, *op. cit.*



Figura 151. Elefantes marinos en las playas y pendientes rocosas, Byers, 2017⁹⁴²

El impacto causado por la presencia de elefantes marinos en Cerro Sealer 1 fue registrado por Zarankin y Senatore (2007):

«Emplazado en un área frecuentada por elefantes marinos, la conservación de las paredes es regular. El interior del recinto mayor suele estar ocupado por esos animales, lo que erosiona constantemente la estratigrafía del lugar. Así, por ejemplo, en la actualidad puede observarse la existencia de una vértebra que 10 años atrás no podía verse. También la acción de estos animales produjo que las paredes de entrada del recinto principal estén completamente colapsadas»⁹⁴³.



Figura 152. Bioma en los yacimientos y hallazgos⁹⁴⁴.

Musgos, algas, plumas y excrementos (izq.), y fragmento de zapato con musgos hallado en la superficie (der.), Punta Elefante, PE-2, 2014

⁹⁴² Fuente: Ygor Tinoco, península Byers, Antártica, 2017.

⁹⁴³ ZARANKIN, Andrés y SENATORE, María Ximena. *Historias de un pasado en blanco: Arqueología Histórica Antártica*, op. cit., p. 75.

⁹⁴⁴ Fuente: Gerusa de A. Radicchi, península Punta Elefante, Antártica, 2014.

Además de las bajas temperaturas o la baja biodegradación, es posible definir dos factores más determinantes para la preservación en los campamentos loberos-balleneros de las islas Shetland del Sur: la «juventud» de los yacimientos y la ausencia de acción antrópica. El tiempo de existencia de estos yacimientos es relativamente corto, no más de 200 años. Esto puede significar que la curva del decaimiento de los hallazgos *in situ* versus el tiempo aún es veloz, y que los remanentes aún no fueron totalmente destruidos pues son recientes. Todavía no llegaron al estado de casi equilibrio con el medio ambiente y pueden presentar visible acentuación de la degradación *in situ* en los próximos años. La ausencia de interferencia humana en los abrigo desde su período de ocupación por los cazadores hasta la actualidad —condición soportada en las últimas décadas por el Tratado Antártico— colaboró significativamente a los dos siglos de preservación de los remanentes que están muy expuestos o próximos a la superficie. Los abrigo loberos-balleneros prácticamente no fueron alterados o impactados por las iniciativas humanas, con excepción de la propia actividad de los científicos.

La degradación podrá ser más notable en los yacimientos en las próximas décadas por efecto de los cambios climáticos globales que afectan glaciares, islas y regiones costeras como las islas Shetland del Sur. La subida de la temperatura y las subidas del nivel del mar pueden resultar desastrosos tanto para la preservación del bioma como de los yacimientos loberos-balleneros en las Shetland. Tal diagnóstico evidencia la importancia de los instrumentos normativos para la preservación del Tratado Antártico (como las Zonas Antárticas Especialmente Protegidas, ZAEP, en inglés, *Antarctic Specially Protected Area—ASP*A), y de los trabajos de diagnósticos *in situ* y del rescate arqueológico. El estudio arqueológico y la conservación pueden servir de base para la promoción de políticas de protección ambiental internacional y de desaceleración del calentamiento global.

6.1.2. Registro y documentación

En los tres años de expedición referidos en esta investigación (2017, 2018, 2019) se produjeron más 1092 colectas de hallazgos arqueológicos para la colección de LEACH. En total, la colección del LEACH llegó al final de 2019 con el

registro de 1939 colectas —suma de las excavaciones de 2010, 2011, 2012, 2014, 2017, 2018 y 2019—⁹⁴⁵. Sin embargo, se debe resaltar que el recuento no se basa en la individualización de cada fragmento o de las unidades constituidas por el montaje del fragmento, sino que fue efectuada por medio de la suma de las colectas de campo. En seguida se realizó la suma de los materiales principales y más fácilmente identificables en cada colecta de campo, para generar una proporción de materiales aproximada, no precisa, y que sirve a fines de conservación, pero no corresponde con los resultados de cuño arqueológico.

Es posible decir que algunos materiales presentan proporciones un poco semejantes entre Cerro Sealer 1 y Lima Lima (Figura 153), y entre estos y los otros yacimientos arqueológicos excavados en las expediciones precedentes (Figura 154). Sobresalen las colectas de maderas y huesos, seguidas de las de metal, cuero, textil, piel, vidrios y cerámicas.

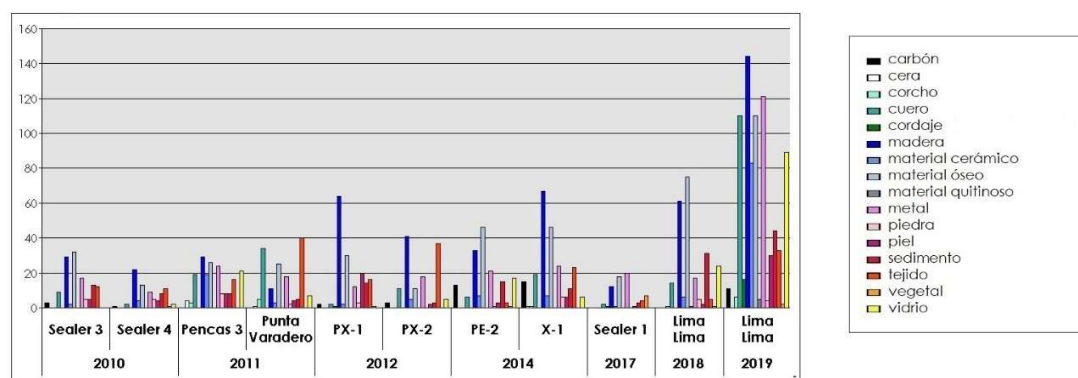


Figura 153. Proporción de materiales excavados de 2010 a 2019

⁹⁴⁵ En 2013 no hubo expedición. En 2015 hubo, pero sin excavación, sino registros de yacimientos.

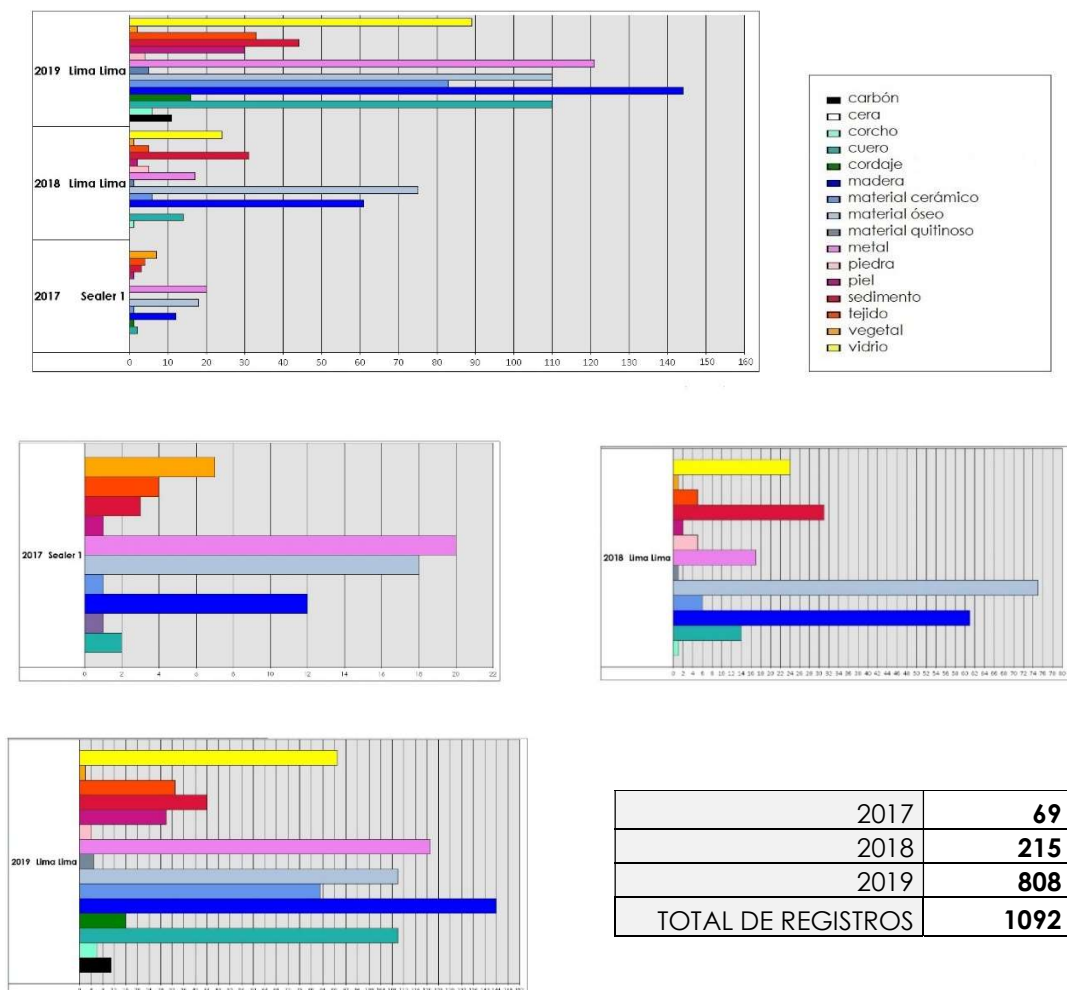


Figura 154. Proporción de materiales excavados de 2017 a 2019

Cueva Lima Lima presentó una concentración mayor de colectas por m² que Cerro Sealer 1. La concentración puede estar relacionada con las características naturales de no dispersión de la cueva y la ocupación más sistemática. Ambos también ya habían pasado por alguna recolecta de material en los años anteriores a las excavaciones del LEACH. Sin embargo, no es posible decir definitivamente que un yacimiento presenta más concentración de artefactos y de incidencia de actividad humana sin la individualización de las unidades formadas por las partes y fragmentos y sin el estudio profundo de la distribución de hallazgos por la extensión de los yacimientos y las capas arqueológicas. De acuerdo con Campbell *et al.* (2011):

«Los sitios arqueológicos pueden ser simples o complejos en términos de características, cronología, propiedades químicas y físicas de los depósitos y procesos de formación del sitio. Estos factores influirán en la supervivencia de diferentes tipos de restos biológicos. Por lo tanto, la preservación determinará en parte los objetivos que se pueden lograr. El material ambiental recuperado de un sitio dependerá de la geología y el entorno de depósito de ese sitio, así como de la naturaleza de la arqueología misma. Si bien la supervivencia de diferentes tipos de evidencia ambiental se puede predecir hasta cierto punto, esto no es una ciencia exacta»⁹⁴⁶.

Una aplicación interesante es usar los datos de la cantidad de números de colecta por yacimiento para pensar en cómo el número de arqueólogos, de días de trabajo y el área excavada producen ciertas cantidades de números de recolecta en cada expedición (Tabla 27). Este análisis es importante porque se relaciona con la cantidad de trabajo necesario de conservación, la cantidad de productos y embalajes de conservación usados y el número de contenedores de transporte de material arqueológico a Brasil que van a ser controlados.

Tabla 27. Síntesis del trabajo de excavación y de colectas producidas

	CAMPO 2017 Sealer 1	CAMPO 2018 Lima Lima	CAMPO 2019 Lima Lima
Meses	enero	febrero-marzo	enero-febrero
N.º días	30 días	30 días	30 días
N.º días de excavación	7	6	14
Área excavada	5 cuadrículas 2 m ²	10 cuadrículas 1 m ² , 8 excavadas parcialmente (camadas superficiales)	20 cuadrículas 1 m ² , 8 iniciadas en el año anterior fueron finalizadas
Cajas generadas	1 caja grande de 80 × 50 × 40 cm, 1 caja pequeña de 60 × 40 × 20 cm y media caja grande de 80 × 50 × 40 cm	3 cajas grandes de 80 × 50 × 40 cm	4 cajas pequeñas de 40 × 40 × 20 cm y 2 cajas grandes de 80 × 50 × 40 cm

⁹⁴⁶ CAMPBELL, Gill; MOFFETT, Lisa y STRAKER, Vanessa. *Environmental Archaeology: a guide to the theory and practice of methods, from sampling and recovery to post-excavation*, op. cit., p. 9 (traducción nuestra).

N.º de arqueólogos	6, siendo 1 con función de conservación	6, siendo 1 con función de conservación	9, siendo 1 con función de conservación
N.º de registros recolectados	69	215	808

Con pocos días de trabajo en Cerro Sealer 1 en el año 2017, 6 arqueólogos retiraron menos colectas que trabajando el mismo número de personas y prácticamente el mismo número de días y área excavadas en Cueva Lima Lima en 2018. Algunas cuadrículas cuya excavación empezó en Lima Lima en 2018 solo pudieron ser finalizadas en 2019. En la excavación de 2019 el número total de colectas fue mucho superior que en los otros dos campos. Hubo más arqueólogos excavando, pero las colectas de Lima Lima en 2019 también fueron mayores por m² excavado. Cerro Sealer 1 es un yacimiento pequeño y la excavación fue concluida en 2017. Lima Lima es un yacimiento mucho mayor. En 2019 se produjeron más de 5 veces más colectas que en Cerro Sealer en 2017, y aún presenta hoy un área arqueológica extensa sin excavar. Sin embargo, los campos de 2017 y 2018, proporcionalmente a la cantidad de registros recolectados, generaron cargas más voluminosas.

Plantilla diagnóstico y tratamiento en campo

En 2019 se probó la plantilla diagnóstico y tratamiento en campo, plantilla construida como síntesis de la práctica de conservación en campo, pensada como un instrumento de toma de decisión para el caso específico de los yacimientos loberos-balleneros de las islas Shetland del Sur (ver capítulo 5, apartado 5.2.2.). El documento contempla las tipologías básicas de objetos encontrados, los factores de degradación que les afectan y una gama de posibilidades de acciones de conservación.

La plantilla fue aplicada en tres muestras diferentes de hallazgos en 2019: metal, cuero y vidrio. El diagnóstico de los factores de degradación representado por los gráficos y los colores apunta la mayor diversidad de colores para el cuero (más factores de degradación) y menor para el vidrio (menos factores de degradación) (Figura 155).

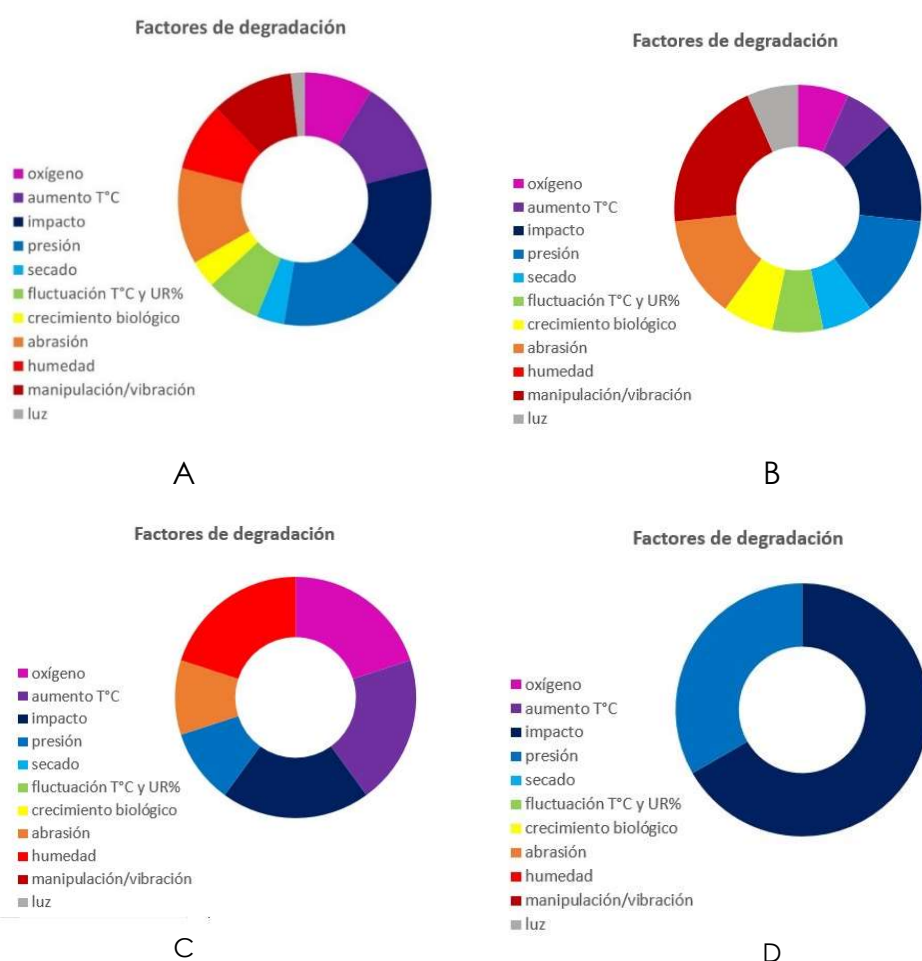


Figura 155. Proporción de factores de degradación

A: proporción de factores de degradación generales; B: factores de degradación para un objeto de cuero mojado; C: factores de degradación para un objeto de hierro; D: factores de degradación para un objeto de vidrio

Desafortunadamente, la aplicación de la plantilla en 2019 fue preliminar y presentó inconsistencias y lagunas en las opciones predefinidas para los materiales arqueológicos, factores de degradación y procedimientos de conservación, siendo la misma reformulada en 2020. Se aconseja que la plantilla sea llevada en las próximas excavaciones en formato impreso, para que se pueda implementar manualmente y después transferir a formato digital. Utilizar ordenadores para rellenar el formulario no resultó muy práctico.

6.1.3. Test de conservación

La conservación en campo se repartió en dos niveles de ejecución. El primero reunió los tratamientos básicos aplicados a todos los hallazgos recolectados, como el registro, la limpieza superficial y el acondicionamiento. El segundo reunió la aplicación de los tratamientos específicos, seleccionados principalmente sobre la experiencia *in situ* de la directora de esta tesis, la Dra. Begoña Carrascosa Moliner, con base en las experiencias de estancias, en CHAM (2017), en ARC-Nucléart (2018), en ICUA (2020) y en la amplia revisión bibliográfica.

Algunos de los métodos de conservación encontrados en la revisión bibliográfica no fueron seleccionados debido a la condición de alejamiento e inhospitalidad geográfica de las islas Shetland. Privilegiamos la aplicación de métodos que atendiesen las características de los tipos de hallazgos loberos-balleneros y las condiciones logísticas y medioambientales de rescate. En total, además de los procedimientos de conservación referidos como básicos, fueron elegidos y testados 25 métodos durante los tres años de campañas. Tales test están descritos en el capítulo 5, pero la síntesis de la evaluación de resultados se resume en la Tabla 28:

Tabla 28. Resultados de los test de conservación en campo entre 2017 y 2019

Descripción		Resultados	Recomendaciones
Uso de consolidantes			
I	Mowilith® 60 del 5 al 10 % en agua, para hueso mojado, aplicación <i>in situ</i>	Malos resultados	No resulta muy útil pues el consolidante no seca rápidamente (Figura 156)
II	Mowilith® 60 del 5 al 10 % en agua, para hueso mojado, aplicación en el laboratorio de campo	Buenos resultados	Eficaz para consolidar y plegar objetos delicados con peligro de desprendimiento, como huesos y materiales muy débiles que no soportarían el traslado (Figura 157)
III	Paraloid® B-72 del 5 al 10 % en acetona, para madera con la superficie seca, aplicación en el laboratorio de campo	Buenos resultados	Eficaz para consolidar y adherir objetos delicados con peligro de desprendimiento y que presenten la superficie seca (Figura 158)
IV	Mowilith® 60 al 5 % en agua, para textil mojado, aplicación en el laboratorio de campo	Buenos resultados	Eficaz para textiles y materiales muy débiles mojados que no soportarían el traslado
V	Paraloid® B-72 al 10 % en acetona, con el uso de	Buenos resultados	Eficaz para la consolidación superficial y unión de piezas de

Descripción		Resultados	Recomendaciones
	gasa, para unir partes y evitar despliegues de hierro roto y pulverulento con la superficie ya seca, aplicación <i>in situ</i>		materiales inorgánicos metálicos después de algunos minutos de exposición al aire <i>in situ</i> para secar la superficie (Figura 159)
VI	Paraloid® B-72 al 10 % en acetona, con el uso de gasa, para unir partes y evitar despliegues de ladrillo roto y pulverulento con la superficie ya seca, aplicación <i>in situ</i>	Buenos resultados	Eficaz para la consolidación superficial y unión de piezas de materiales inorgánicos silíceos después de algunos minutos de exposición al aire <i>in situ</i> para secar la superficie (Figura 160)
Extracción especial			
I	<i>Block lifting</i> por medio de placa de aluminio en conjunto pequeño de hallazgos	Medios resultados	La elección del material de aplicación del <i>block lifting</i> fue un reto. Pensamos que las placas de aluminio podrían facilitar el corte del bloque de tierra. El metal lo facilitó, pero, aun así, el corte de la tierra es difícil pues es limitado por las piedras mezcladas al suelo. Otro problema es que las placas no pueden ser cortadas de acuerdo con la dimensión deseada en campo, deben ser dimensionadas antes de la expedición, lo que representa otro limitante en el uso. Aun así, puede presentar eficacia para extracción en bloque de pequeñas porciones de tierra no muy profundas con muchos hallazgos pequeños (Figura 161)
II	Cajas de plástico, retirada de hallazgos en pequeños bloques de tierra	Buenos resultados	Eficaz para extraer pequeñas porciones de tierra con pequeños fragmentos (Figura 162)
III	Apoyo de material arqueológico plano y frágil en planchas y bandejas	Buenos resultados	Eficaz para mover del suelo textiles, pieles principalmente, materiales delicados que necesitan ser movidos con apoyo uniforme para no romperse
IV	Envoltorio con film de polietileno para objetos con peligro de desplazamiento de partes	Buenos resultados	Eficaz para sostener la conexión de partes durante el proceso de extracción del sitio y antes del traslado al laboratorio de campo. Especialmente eficaz para objetos que se pueden desmontar (Figura 163)

Descripción		Resultados	Recomendaciones
V	Protección/moldeo de objetos grandes con espuma de poliuretano antes de la retirada invertida del suelo	Buenos resultados	Eficaz por formar rápidamente una «cama» moldeada de espuma para acomodar textiles y pieles (Figura 164). Puede ser usada como moldes también para cerámicas, vértebras y otros objetos voluminosos
Limpieza: pasivación de metales			
I	Baños de hierros y bronces con hidróxido de sodio (NaOH) al 2% en agua destilada seguidos de baño secante de disolvente. Aplicado en el laboratorio de campo	No comprobado	Probablemente hubo algún efecto pasivante, sin embargo, no es posible medirlo visualmente
II	Baños de hierros y bronces con carbonato de sodio (Na ₂ CO ₃) al 5% en agua destilada seguidos de baño secante de disolvente. Aplicado en el laboratorio de campo	No comprobado	Probablemente hubo algún efecto pasivante, sin embargo, no es posible medirlo visualmente
III	Acondicionamiento para transporte en hidróxido de sodio (NaOH) al 2%. Aplicado en el laboratorio de campo	No comprobado	Probablemente hubo algún efecto pasivante, sin embargo, no es posible medirlo visualmente
IV	Acondicionamiento para transporte en carbonato de sodio (Na ₂ CO ₃) al 5%. Aplicado en el laboratorio de campo	No comprobado	Probablemente hubo algún efecto pasivante, sin embargo, no es posible medirlo visualmente
Acondicionamiento húmedo			
I	Sobres de Marvelseal® 360 herméticamente cerrados por selladora térmica y con envoltorio interno de Sontara® humidificada. Aplicado en laboratorio de campo en objetos orgánicos húmedos	Buenos resultados	Eficaz para proteger los materiales y aislar de factores externos de degradación y evitar el desecamiento. Sin embargo, los materiales de acondicionamiento utilizados son caros. Las bolsas Ziploc cerradas con un poco de agua destilada en su interior no ofrecen la misma protección que los sobres con materiales especiales, pero también impedirán el secado brusco de los materiales y pueden ser utilizadas sin restricción de costes pues son baratas
II	Sobres de plástico de polietileno herméticamente	Buenos resultados	Eficaz para proteger los materiales y aislar de factores externos de

Descripción		Resultados	Recomendaciones
	cerrados con selladora térmica. Aplicado en laboratorio de campo en objetos orgánicos húmedos		degradación y evitar el desecamiento. No es una barrera contra la luz como el Marvelseal® 360, pero el material de acondicionamiento es más barato y puede ser aplicado en un número mayor de objetos (Figura 165)
III	Sobre de tul para estabilización de objetos orgánicos planos y frágiles, como cuerdas, textiles, cueros y pieles. Aplicado en laboratorio de campo en objetos orgánicos	Buenos resultados	Eficaz y necesario para proteger textiles, cueros y pieles de la vibración y movimiento durante el traslado (Figura 166). También ayuda a aplanar los pliegues de estos objetos
IV	Relleno contra pliegues y para recobrar la forma en piezas de piel, cueros y textiles. Aplicado en laboratorio de campo para objetos orgánicos	Buenos resultados	Eficaz pues ayuda en la reconstrucción y remodelación de los calzados (Figura 167)
V	Biocida Eugenol® al 2 % en agua para mitigar el crecimiento biológico en material orgánico húmedo sellado herméticamente. Aplicado en laboratorio de campo	No comprobado	Probablemente hubo algún efecto inhibitor del crecimiento biológico, sin embargo, no es posible comprobarlo visualmente pues las muestras no testadas del mismo fragmento textil no presentaron señales visibles de crecimiento biológico. Tampoco es posible afirmar cómo y en qué medida hubo alguna inhibición al ataque biológico (Figura 168)
Acondicionamiento seco			
I	Sobres hechos de Marvelaseal® 360 cerrados herméticamente y con gel de sílice en el interior. Aplicados en laboratorio de campo para objetos de bronce y hierro secados con baño de disolvente	Buenos resultados	Eficaz para proteger los materiales y aislar de factores externos de degradación y evitar la entrada de humedad (Figuras 169 y 170). Sin embargo, el Marvelaseal® 360 es un material de acondicionamiento caro. El aluminio no es un problema para el acondicionamiento de metales pues presenta menor electronegatividad y más reactividad, siendo utilizado como metal de sacrificio para tratamientos electrolíticos en el tratamiento del hierro arqueológico
II	Sobres hechos de bolsa de polietileno cerrada herméticamente al vacío,	Buenos resultados	Eficaz para proteger los materiales y aislar de factores externos de degradación y evitar la entrada de

Descripción		Resultados	Recomendaciones
	con o sin gel de sílice. Aplicados en laboratorio de campo para objetos de bronce y hierro secados con baño de disolvente		humedad (Figura 171). Las bolsas de polietileno son más baratas que el Marvelaseal® 360 y pueden ser cerradas al vacío, pero no ofrecen protección contra la luz
III	Sobres hechos de bolsa de polietileno cerrados herméticamente al vacío, con gel de sílice y reductores de oxígeno. Aplicados en laboratorio de campo para objetos de bronce y hierro secados con baño de disolvente	Malos resultados	Los absorbedores son eficaces, pero son caros y no son reciclables como el gel de sílice. No resultó nada práctico pues cuando los paquetes con los absorbedores son abiertos es recomendable que su contenido sea todo utilizado inmediatamente, pues los absorbedores empiezan a reaccionar y pierden luego su función. La eliminación de aire es un intento más ambicioso que la eliminación de la humedad
Traslado y protección contra impactos			
I	Espuma de poliuretano. Aplicado <i>in situ</i> y en laboratorio de campo	Buenos resultados	Eficaz, pero con reparos. No debe ser utilizado como material de acondicionamiento a largo plazo y tampoco es recomendable aplicarlo a objetos pequeños y blandos y/o aplicarlos por más de la mitad de la superficie de los objetos, pues su retirada después de seco es difícil. Aunque tome la forma perfectamente del objeto blando cuando se aplica, después hay que utilizar objetos cortantes y cortar la espuma retirándola (Figura 172). Un punto positivo es que es una buena barrera para la variación brusca de temperatura
II	Silicona. Aplicada en laboratorio de campo	Buenos resultados	Eficaz, pero genera más peso que la espuma de poliuretano y demora algunos minutos más para secar. Sin embargo, la silicona es más flexible y resulta más fácil sacar los objetos de la estructura de acondicionamiento. Hay también tipos de siliconas bastante estables a largo plazo disponibles en el mercado. Más recomendado para síliceos frágiles, como las pipas. Los otros síliceos, con estructuras menos delicadas, puede ser suficiente acondicionarlos con plástico de

Descripción		Resultados	Recomendaciones
			burbuja, espumas de polietileno, film de polietileno, cajas rígidas, etc. (Figura 173) La silicona no es recomendable para materiales blando y ligeros, como el hueso fragilizado, pues la solución de silicona es densa y puede deformarlos. En estas situaciones es preferible utilizar la espuma de poliuretano



Figura 156. Problemas con la consolidación *in situ* con Mowilith®, 2017⁹⁴⁷. Fragmentación en el laboratorio de campo



Figura 157. Hueso consolidado superficialmente, LEACH, 2018⁹⁴⁸. En el laboratorio de campo (sup.) y llegada al LEACH (inf.)

⁹⁴⁷ Fuente: Gerusa de A. Radicchi.

⁹⁴⁸ Fuente: Gerusa de A. Radicchi.



Figura 158. Madera consolidada en campo (sup.), llegada al LEACH (inf.), 2018⁹⁴⁹

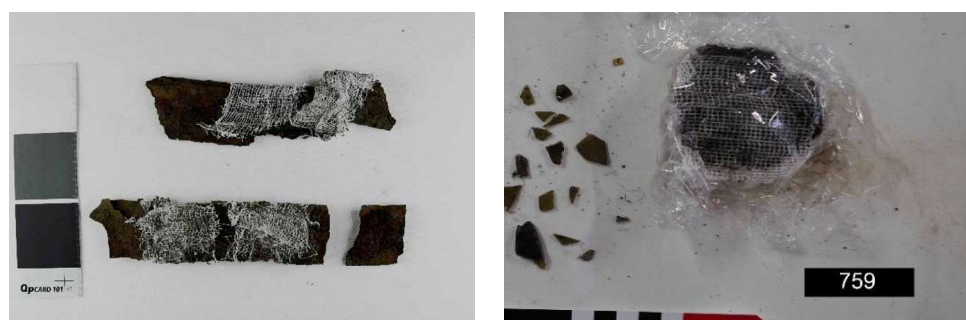


Figura 159. Hierros consolidados, llegada al LEACH, 2017 y 2019⁹⁵⁰

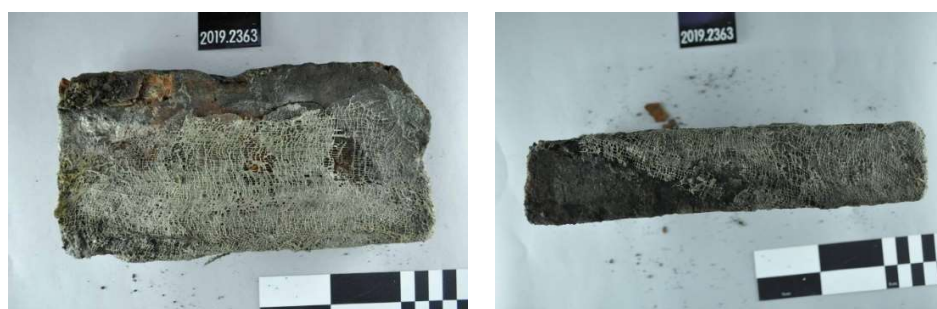


Figura 160. Ladrillo consolidado, llegada al LEACH, 2019⁹⁵¹

⁹⁴⁹ Fuente: Gerusa de A. Radicchi.

⁹⁵⁰ Fuente: Gerusa de A. Radicchi.

⁹⁵¹ Fuente: Gerusa de A. Radicchi.



Figura 161. Evaluación de llegada del *block lifting* al LEACH, 2017⁹⁵²



Figura 162. Llegada al LEACH de objetos frágiles, LEACH, 2019⁹⁵³.
Acondicionados en campo en pequeñas cajas



Figura 163. Apertura del material envuelto en film de polietileno en el LEACH, 2017⁹⁵⁴

⁹⁵² Fuente: Gerusa de A. Radicchi.

⁹⁵³ Fuente: Gerusa de A. Radicchi.

⁹⁵⁴ Fuente: Gerusa de A. Radicchi.



Figura 164. Apertura de bolsa con textil y piel⁹⁵⁵.
Hallazgos extraídos del yacimiento con protección de poliuretano en el LEACH, 2019



Figura 165. Apertura de objetos orgánicos húmedos, LEACH, 2019⁹⁵⁶.
Acondicionados en bolsa plástica de polietileno cerrada herméticamente



Figura 166. Apertura de sobre con textil, LEACH, 2019⁹⁵⁷.
Acondicionado con soporte cosido de tul

⁹⁵⁵ Fuente: Gerusa de A. Radicchi.

⁹⁵⁶ Fuente: Gerusa de A. Radicchi.

⁹⁵⁷ Fuente: Gerusa de A. Radicchi.

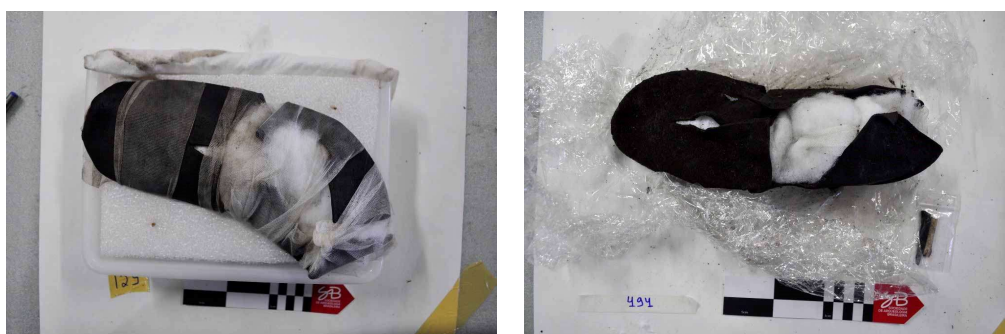


Figura 167. Llegada al LEACH de calzados rellenos con manta acrílica, 2019⁹⁵⁸



Figura 168. Apertura de sobre con la prueba de biocida en el LEACH, 2017⁹⁵⁹



Figura 169. Apertura en el LEACH de acondicionamiento seco para hierro, LEACH, 2017⁹⁶⁰.
La cartela de humedad indica niveles de humedad bajo el 30 %

⁹⁵⁸ Fuente: Gerusa de A. Radicchi.

⁹⁵⁹ Fuente: Gerusa de A. Radicchi.

⁹⁶⁰ Fuente: Gerusa de A. Radicchi.



Figura 170. Apertura en el LEACH de acondicionamiento seco para bronce, LEACH, 2017⁹⁶¹.

La cartela de humedad indica niveles de humedad bajo el 30 %



Figura 171. Llegada al laboratorio de bolsas de polietileno, LEACH, 2019⁹⁶².
Permanencia del vacío y la no entrada de aire



Figura 172. Retirada de material atrapado en espuma de poliuretano, LEACH, 2019⁹⁶³

⁹⁶¹ Fuente: Gerusa de A. Radicchi.

⁹⁶² Fuente: Gerusa de A. Radicchi.

⁹⁶³ Fuente: Gerusa de A. Radicchi.

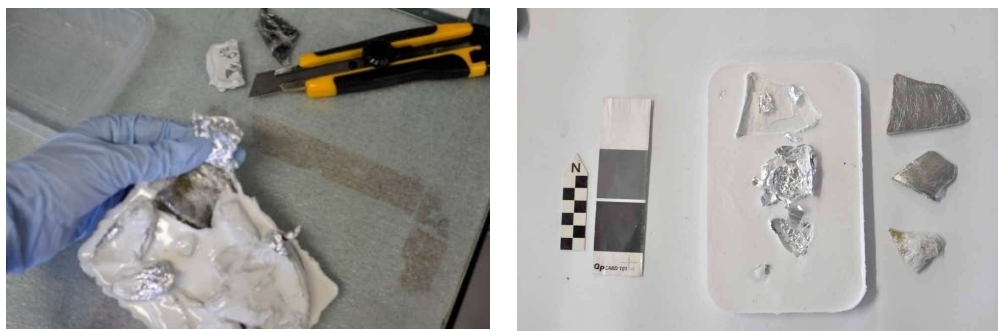


Figura 173. Retirada del molde de silicona de piezas cerámicas, LEACH, 2017⁹⁶⁴

Hay que resaltar que los 25 métodos testados no agotaron las posibilidades de tratamientos en conservación, esta no era la intención. La construcción de los protocolos para la conservación en campo para los yacimientos loberos-balleneros de las Shetland es continua y está basada en la experimentación y el perfeccionamiento. Muchas mejoras acontecieron durante los tres años de práctica, como también algunas ideas iniciales fueron descartadas. Algunos métodos han sido aplicados en apenas un año y otros tuvieron el interés de aplicarse en más años. Otros métodos fueron testados solamente en los años finales de excavación, pues no habían sido considerados desde el principio.

Cada nuevo yacimiento excavado, si bien en contexto ambiental es parecido, implica algún nuevo desafío para la conservación. La mayor diferencia entre la aplicación de métodos entre el yacimiento de Cerro Sealer 1 y la cueva Lima Lima fue que en Cerro Sealer 1 las superficies de los objetos preexcavados se secaban más rápidamente cuando eran expuestas al aire y sol en días sin nieve y lluvia; así, algunos orgánicos pequeños quedaban prácticamente secos durante la exposición.

Los test de conservación quedan con una cuestión aún no solucionada acerca de la consolidación *in situ* de orgánicos mojados. Los protocolos leídos indican ser recomendable evitar secarlos durante el rescate, pero es verdad que algunos hallazgos muy frágiles de los abrigos, como los huesos mojados (con textura de ceniza), no se podrían elevar del suelo sin consolidación y sin romperse. Sin embargo, la aplicación del consolidante antes de la retirada representó la inclusión

⁹⁶⁴ Fuente: Gerusa de A. Radicchi.

de mucha tierra adherida, y las emulsiones acuosas testadas para orgánicos mojados no lograron su objetivo *in situ*, porque no secan en tiempo hábil y los objetos tuvieron que ser levantados antes de que el consolidante hubiera hecho efecto. La alta humedad relativa ambiental también dificultó algunas otras acciones de conservación, como el empleo de yeso.

Muchos protocolos de conservación *in situ* revisados recomiendan también que objetos recién rescatados sean transportados sumergidos en agua o soluciones específicas estabilizadoras. Pero este sistema no fue adoptado en el LEACH por tres razones. Primero, a pesar de mojados, los objetos orgánicos de los yacimientos loberos-balleneros no tienen el medio subacuático como su entorno natural. Segundo, porque algunos materiales están muy pulverulentos para soportar la sumersión sin deshacerse. Tercero, porque acondicionar varios objetos en varias cajas en solución generaría mucho volumen y peso para su traslado a Brasil. Pero se reconoce que los test de acondicionamiento de metales en soluciones pasivantes y los acondicionamientos en inmersión de materiales compuestos de madera y metal son buenas alternativas para estas dos problemáticas de conservación, y podrían haber sido más estudiadas.

Las técnicas de pasivación de metal en campo también pueden ser mejor implementadas. Los efectos de los baños rápidos de metales con sustancias pasivantes en el laboratorio de campo no presentaron efectos visibles que pudieran ser mensurados fácilmente y no hubo cómo afirmar acerca de su cobertura y eficacia. Debería pensarse mejor acerca del control del pH de los baños pasivantes, de los tiempos y en test comparativos que pudieran perfeccionar y orientar su aplicación, así como la apreciación de resultados finales. No fue posible llevar un medidor de pH electrónico a campo, sin embargo, se podría intentar realizar pruebas previas de forma sistemática en el laboratorio y adquirir una unidad portátil para las próximas expediciones.

Finalmente, no ha sido aún posible establecer un método eficaz para aplicar los biocidas. Sin el uso de estos productos en la recolección, el número de muestras que llegan al LEACH de la Antártica con señales visibles de infestación microbiológica es ocasional. No es posible concluir en qué medida esta acción de conservación es una estrategia idónea para sustituir el acondicionamiento fuera

de la refrigeración en los buques de la Marina, o para mitigar los efectos del calentamiento de las cajas con el material arqueológico durante el mes en que el barco sube por el Atlántico en dirección a Río de Janeiro. Habría, primero, que dedicar más esfuerzos apropiados para entender la relación entre los microorganismos que están contaminando los hallazgos en Livingston, y las capacidades de los biocidas para inhibir su crecimiento y permanencia y efectos colaterales a largo plazo. Podría también haber sido testada la posibilidad de acondicionamiento de objetos resistentes en acondicionamiento por inmersión, que representa la ventaja de disminuir la proliferación de microorganismos aeróbicos.

6.1.4. Transporte a Brasil

Las excavaciones efectuadas en estos yacimientos producen una gran cantidad de hallazgos pequeños y frágiles, por ello, la mejor manera de transportarlos es distribuyendo el material en un mayor número de cajas rígidas de menor dimensión. De esta manera, las cajas son más fácilmente transportadas individualmente por cada uno de los arqueólogos del yacimiento al campamento. Cajas menores evitan la excesiva suma de peso de unos hallazgos sobre otros, organizadas en las cajas Marfinite para el traslado de Livingston a Brasil.

Los mayores dilemas en el transporte de las cajas de material arqueológico a Brasil ocurrieron por el aumento y fluctuación de la temperatura de los locales de almacenaje de las cajas Marfinite. Se ha utilizado el termohigrómetro con la función de *data logger* para hacer el diagnóstico de las variaciones de temperatura y de humedad relativa durante el traslado de las cajas de la Antártica a Brasil. Desgraciadamente, durante las campañas de 2018 y 2019 no se pudieron registrar datos durante el transcurso del viaje. En 2018 la batería falló y en 2019 el termohigrómetro no registró con corrección los datos medidos.

Fue posible obtener los datos que resultaron de las campañas de 2017 y 2014. En 2017, un termohigrómetro se colocó en una caja Marfinite que se quedó en el sótano del navío Almirante Maximiano y que llegó a Brasil en abril (Figura 174). Otro se colocó en una de las cajas que viajó con los investigadores en avión de la FAB a Río de Janeiro al final de la expedición (Figura 175). En 2014, el

termohigrómetro se colocó dentro de una caja Marfinite que se quedó en el refrigerador del Navío Ary Rongel (Figura 176).

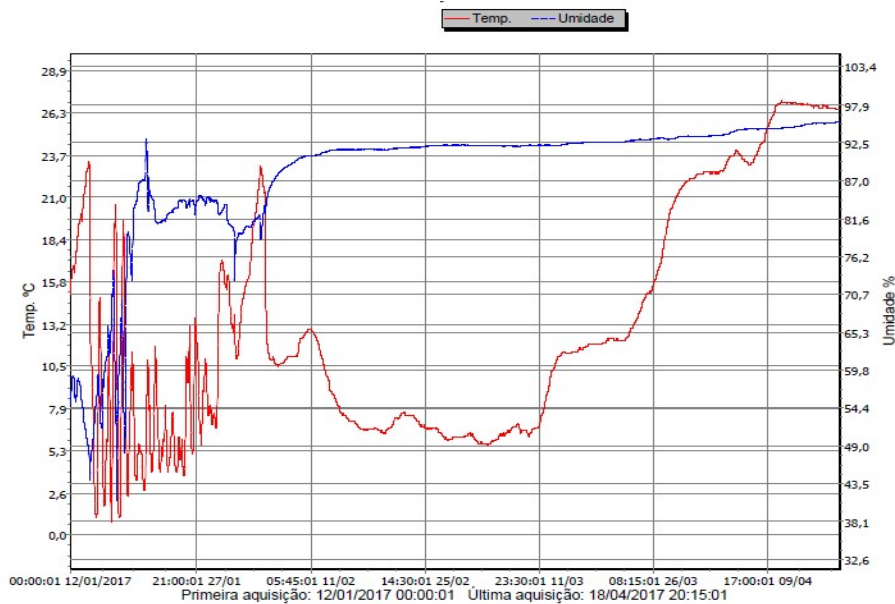


Figura 174. Marfinite en el sótano del navío, enero a abril de 2017

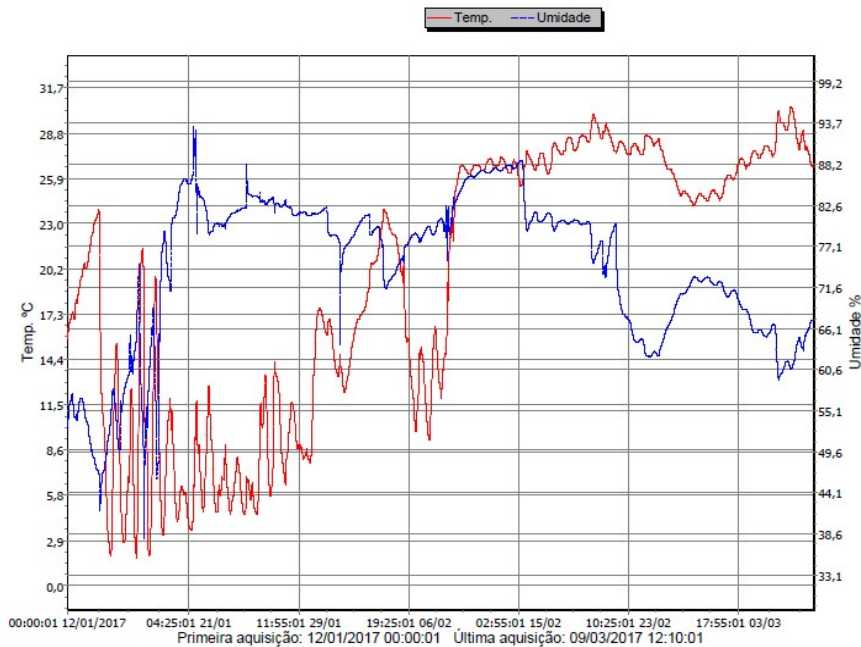


Figura 175. Marfinite que vino con los investigadores en 2017. Apertura de la caja el 15 de febrero en el LEACH

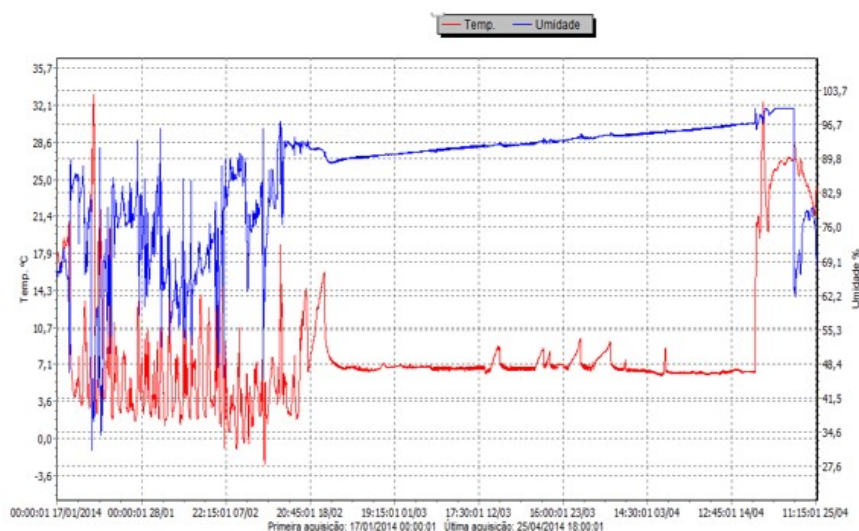


Figura 176. Gráfico de 2014.

Estabilidad de la refrigeración del navío desde el 18 de febrero hasta abril

En el primer gráfico, de 2017, se observó el aumento de la temperatura en el navío Almirante Maximiano a medida que el buque subió por la costa del Atlántico en dirección a Río de Janeiro, durante el mes de marzo. Para el gráfico de 2014, donde las cajas estuvieron refrigeradas, la temperatura sufrió algunos picos, pero estuvo muy estable alrededor de los 7°C, cambiando bruscamente solamente a la llegada a Río de Janeiro, cuando la caja es retirada de la refrigeración. El segundo gráfico de 2017 —de la caja que vino con los investigadores— es donde la caja estuvo más influenciada por las variaciones de temperatura durante el viaje. El segundo gráfico de 2017 también muestra la disminución de la humedad relativa interna de la caja Marfinite cuando esta fue abierta en el laboratorio en febrero.

Las variaciones iniciales de T°C y RH % de los tres gráficos son relativas al período que los termohigrómetros estuvieron en el laboratorio de campo, sufriendo el efecto de las variables ambientales diarias y microclimáticas dentro de la carpa del laboratorio. En los tres casos, cuando las cajas son cerradas la humedad hacía a los termohigrómetros subir hasta el punto de saturación.

Como se ha dicho anteriormente, los mayores daños que pueden ser causados por el aumento de temperatura junto con la gran humedad son el crecimiento biológico y la aceleración de la corrosión de los metales. El análisis realizado pone de manifiesto la premisa de que es mejor que el transporte se

efectúe de la manera más rápida posible, y que esté el mayor tiempo posible en ambientes a baja temperatura.

6.1.5. Llegada al laboratorio

Un conservador en campo es fundamental para la preservación de los hallazgos arqueológicos recién excavados, pues es el responsable de organizar las acciones de mitigación de los daños durante la remoción del objeto en el yacimiento, y también de los daños susceptibles durante el traslado del material al laboratorio. Podemos decir que el trabajo del conservador con los hallazgos recién excavados por el LEACH solamente finaliza con la llegada del material rescatado al laboratorio. En este momento, las cajas son abiertas y el material es debidamente registrado e integrado a la colección. Las acciones ahora quedan a cargo de los tratamientos y estrategias para la preservación de la colección a largo plazo.

Cuando las cajas con los hallazgos arqueológicos de los años de 2017, 2018 y 2019 llegaron al LEACH (Figura 177), los objetos pasaron por otra limpieza superficial, observaciones de diagnóstico, registro fotográfico (Figuras 178 y 179), y fueron nuevamente acondicionados y almacenados en el laboratorio. Los datos de la recolecta y los registros fotográficos se insertaron en la base de datos general de la colección de la Antártica del LEACH, que está programada en Access® (Figura 180). La base de datos es una importante fuente de control de los objetos, mientras el registro fotográfico sirve de referencia para el estado de preservación a la llegada, siendo utilizado como medio de comparación para posibles estados posteriores de degradación.



Figura 177. Llegada de las cajas Marfinite, LEACH, 2017 (sup.) y 2019 (inf.)⁹⁶⁵



Figura 178. Limpieza y acondicionamiento⁹⁶⁶

⁹⁶⁵ Fuente: Gerusa de A. Radicchi.

⁹⁶⁶ Fuente: LEACH, laboratório, 2019.



Figura 179. Registro fotográfico⁹⁶⁷

LEACH	
Nº Registro	2017.1343
Nº Campo	2017.0008
Número da Caixa	Caixa 2017
Localização da caixa	LEACH
Título	Fragmento de madeira
PROCEDÊNCIA	
Campanha	2017
Local	Península Byers
Sítio	Sealer 1
Data da coleta	18/01/2017
Quadra	A1
Nível	Coleta Superfície
Informações adicionais	Escavado por Jimena Cruz

Figura 180. Base de datos del LEACH⁹⁶⁸

El momento de la apertura de las cajas es también el momento de evaluación de cómo los test de conservación soportaron el traslado. En 2018, como no fue posible al equipo traer al final de la expedición las cajas Marfinito con los hallazgos y los test de conservación, la recepción y evaluación no pudieron realizarse por el conservador de campo, que ya no estaba en Belo Horizonte en abril. Frente a esta situación inesperada, la apertura de las cajas y la incorporación del material arqueológico se efectuó por el equipo del LEACH de Belo Horizonte posteriormente, después de la llegada de las cajas en el mes de abril. El material pasó por el mismo procedimiento de recibimiento mencionado, pero no fue posible hacer el registro sistemático de la llegada de los test de conservación de 2018.

⁹⁶⁷ Fuente: LEACH, laboratório, 2019.

⁹⁶⁸ Fuente: LEACH, laboratório, 2019.

Después de registrados, limpios y acondicionados, los hallazgos son clasificados en tres grupos de cuidados y tratamientos de conservación en laboratorio⁹⁶⁹:

- **Orgánicos.** Deben mantenerse húmedos y pasar por secado lento. Deben ser acondicionados en los refrigeradores. Las estrategias de limpieza y consolidación deben ser estudiadas caso a caso.
- **Metales.** Deben mantenerse secos, preferencialmente en sobres herméticamente cerrados y con gel de sílice, y sin contacto entre ellos. Los hierros y cobres deben pasar por limpieza y pasivación, dándose prioridad de tratamiento a los hierros y evaluando estrategias caso a caso.
- **Silíceos.** Compuestos por materiales más estables, pueden lavarse para eliminar la tierra y las impurezas. El acondicionamiento debe enfocarse en la protección contra choques.

El LEACH tuvo que adquirir nuevos refrigeradores en cada año de excavación en la Antártica para preservar el material orgánico (Figura 181). Se prestó especial atención al encaminamiento rápido de los orgánicos más frágiles y los más susceptibles de padecer proliferación de microorganismos en los refrigeradores, pues son los más biodegradables.



Figura 181. Espacio de trabajo y refrigeradores⁹⁷⁰

La bibliografía apunta que la humedad ideal para reservas técnicas de colecciones de metales es de RH del 40-45 %⁹⁷¹, lo que es difícil de lograr en el

⁹⁶⁹ DE ALKMIM RADICCHI, G., DE OLIVEIRA, A. B., CAMPOS, J. C. V., & FARIA, V. M. A chegada da Antártica: primeiros tratamentos de conservação. *Revista de Arqueologia*, 2021, 34(1), 04-17.

⁹⁷⁰ Fuente: LEACH, laboratório, 2018.

⁹⁷¹ LEYGRAF, Christofer; WALLINDER, Inger Odnevall; TIDBLAD, Johan y GRAEDEL, Thomas. *Atmospheric corrosion*, op. cit., p. 96.

LEACH. El laboratorio no está bajo control de aire acondicionado, quedando susceptible al clima tropical húmedo-seco de Belo Horizonte: caliente y con bajos índices de lluvia en invierno (cerca de 15 mm) y altos en verano (más de 200 mm). Los objetos de plomo y cobre son más estables que los de hierro, pero este último, contaminado con cloruros, es más susceptible de sufrir rápidos procesos de corrosión. Así, especialmente los hierros deben estar bajo monitoreo, condicionados en seco, y deben tener prioridad en los tratamientos de pasivación.

Para los vidrios y materiales cerámicos, debe hacerse hincapié en la protección mecánica de estas piezas y en su cuidado en el manejo. Deben ser acondicionados con espumas y cajas amortiguadoras para impactos y vibración. Estas piezas pueden lavarse o sumergirse para la retirada de impurezas. Tales acciones son clave para mantener estas categorías de materiales preservados.

6.2. Conclusiones

La búsqueda de un método de trabajo durante el desarrollo de esta investigación doctoral encontró desafíos, no solamente con respecto a la ejecución de la práctica de conservación, sino también acerca de las definiciones teóricas y cómo estas serían planteadas en la tesis escrita. La conclusión empieza presentando primeramente las soluciones elegidas con respecto a tales desafíos relacionados a la fundamentación teórica y a la organización de algunos conceptos en conservación en arqueología. En seguida, la conclusión expone los principales juegos de fuerzas que actuaron en la toma de decisiones en campo y en la práctica de conservación. Se finaliza con la exposición del protocolo de conservación en campo, que es la síntesis del resultado de esta investigación.

6.2.1. Conceptos clave

La discusión acerca de los conceptos teóricos brindados por la teoría contemporánea de la conservación-restauración permitió asentar la investigación sobre una perspectiva deontológica adecuada. Sin la crítica a los conceptos de la restauración moderna y tradicional, o sin la democratización del concepto de patrimonio revigorada por esta corriente teórica desde las últimas décadas, sería

imposible incluir los objetivos y las discusiones centrales del Proyecto Arqueología Antártica en los debates acerca de la teoría y práctica en conservación-restauración.

El contexto arqueológico, ambiental y material de los depósitos loberos-balleneros de la Antártica tiene gran valor como fuente de investigación arqueológica. El interés del proyecto en la información potencialmente contenida a nivel micro en el suelo y la riqueza de fragmentos orgánicos antrópicos presentes hicieron que la conservación pensara estratégicamente en una manera de sostener tales objetivos del Proyecto Arqueología Antártica. Podemos concluir que la estabilización fue el objetivo central, mientras los objetivos estéticos se quedaron en un papel secundario.

Solucionada la cuestión de la fundamentación epistemológica, el siguiente problema surgió en el momento de construir la estructura de los capítulos 3 y 4 y de separar sus contenidos. Hubo cierta dificultad en establecer una clasificación y una división de materiales arqueológicos y métodos de tratamiento que sonasen adecuadas a los hallazgos de Livingston y de los métodos de tratamiento relacionados a ellos. La dificultad fue debida, en parte, al hecho de no existir muchos trabajos de conservación acerca de materiales orgánicos *in situ*, y al de que las publicaciones que existen hablan más exclusivamente del rescate, no desarrollando extensamente los conceptos acerca de los materiales y sus degradaciones. Tales trabajos, muchos artículos, no detallan y clasifican la variedad de métodos de tratamiento existentes.

Algunos libros y manuales sirvieron como importantes referencias metodológicas para la tesis, como *The Elements of Archaeological Conservation* de Janet. M. Cronyn (1990), *The Archaeologist's Manual for Conservation* de Bradley A. Rodgers (2004), *Physical studies of archaeological materials* (1983) y *Archaeological chemistry* (2006) de Zvi Goffer y también *Archaeological Conservation Using Polymers* (2003) de Chris W. Smith. Mayoritariamente estas referencias no presentan los métodos de tratamiento divididos por sus categorías, como se presentan en esta tesis, sino que los presentan repartidos por materiales arqueológicos. Sin embargo, la elección de presentar los tratamientos repartidos por métodos, y no por materiales, facilitó la discusión de la aplicación de los

tratamientos, como también evitó la redundancia de hablar repetidas veces del mismo método aplicado a materiales diferentes. En realidad, fue un reto exponer varios procedimientos de conservación, preventivos y curativos, relacionados a las distintas categorías de materiales como las que encontramos en Livingston, sin que pareciera confuso o redundante.

Cuando la tesis estaba prácticamente ya escrita, nos topamos con el trabajo de Salvador García Fortes y Núria Flos Travieso⁹⁷², *Conservación y restauración de bienes arqueológicos* (2008), que nos brindó una propuesta de organización de contenidos de conservación similar a la solución que habíamos dado en esta tesis. Los autores desarrollan el tema de los factores de degradación también por medio de apartados sobre factores «intrínsecos» y «extrínsecos» de deterioro, clasifican los materiales arqueológicos entre materias primas y objetos manufacturados, y presentan los métodos de tratamiento en capítulos diferentes de los capítulos de presentación de los materiales arqueológicos. El libro de Salvador García Fortes y Núria Flos Travieso representó una señal positiva, pues indicó que la forma de distribución de los contenidos en esta tesis fue oportuna.

6.2.2. Toma de decisiones en la Antártica

Las decisiones a tomar para el correcto manejo de materiales arqueológicos en la Antártica estuvieron llenas de particularidades y desafíos. Los materiales son en su mayoría frágiles, perecibles, y deben ser transportados al LEACH, que está a muchos paralelos de distancia de la Antártica. Si bien el laboratorio cuenta con la autorización nacional e internacional para excavar, estudiar y conservar el material de interés difuso internacional, es Brasil, como miembro signatario del Tratado Antártico, quien se encarga de garantizar la salvaguarda de la colección internacional. Sin embargo, aún no hay ninguna normativa nacional o internacional que proporcione parámetros claros para orientar las actividades de conservación de materiales desde el sitio arqueológico de la Antártica a un territorio nacional. Estas bases están en pleno desarrollo y el conservador de la Antártica debe ser consciente de realizar parte de este movimiento de vanguardia.

⁹⁷² GARCÍA FORTES, Salvador y FLOS TRAVIESO, Nuria. *Conservación y restauración de bienes arqueológicos*, op. cit.

El segundo reto en la toma de decisiones en la Antártica es la mencionada dificultad de aplicar acciones en un territorio inhóspito. Debe ser esperada la necesidad de cambiar planes y el surgimiento de imprevistos climáticos. Se debe conocer y tener en cuenta el máximo de posibilidades de tratamientos y acciones de conservación posibles y aplicables de acuerdo con las infraestructuras y materiales disponibles en campo. La negociación, la acción en grupo y el sentido de cooperación son también muy importantes para los buenos resultados de conservación, pues el trabajo en la Antártica es física y psicológicamente estresante y limitado. Seguramente todos necesitan de apoyo durante el campo.

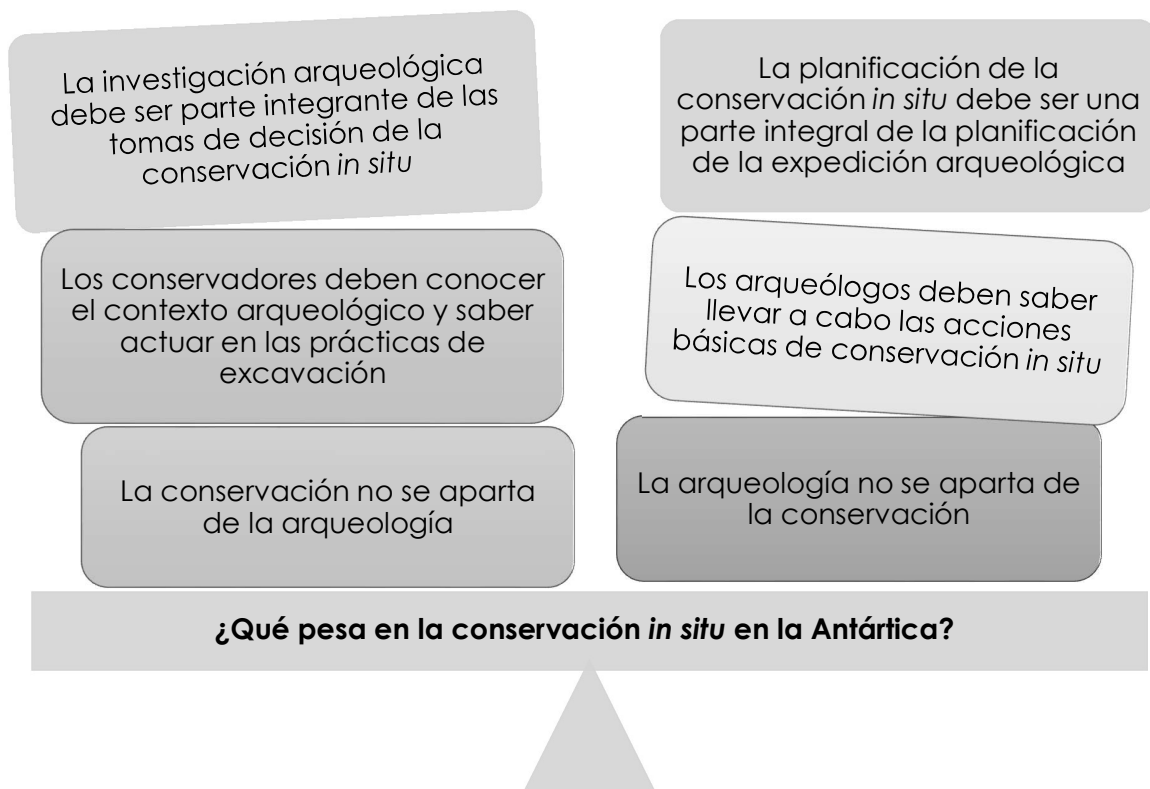
Para ayudar en la toma de decisiones sobre la conservación *in situ* en la Antártica, concluimos la tesis con la aportación del protocolo de conservación *in situ*, el corazón de esta colaboración para el Proyecto Arqueología Antártica.

6.2.3. Protocolo de conservación en campo

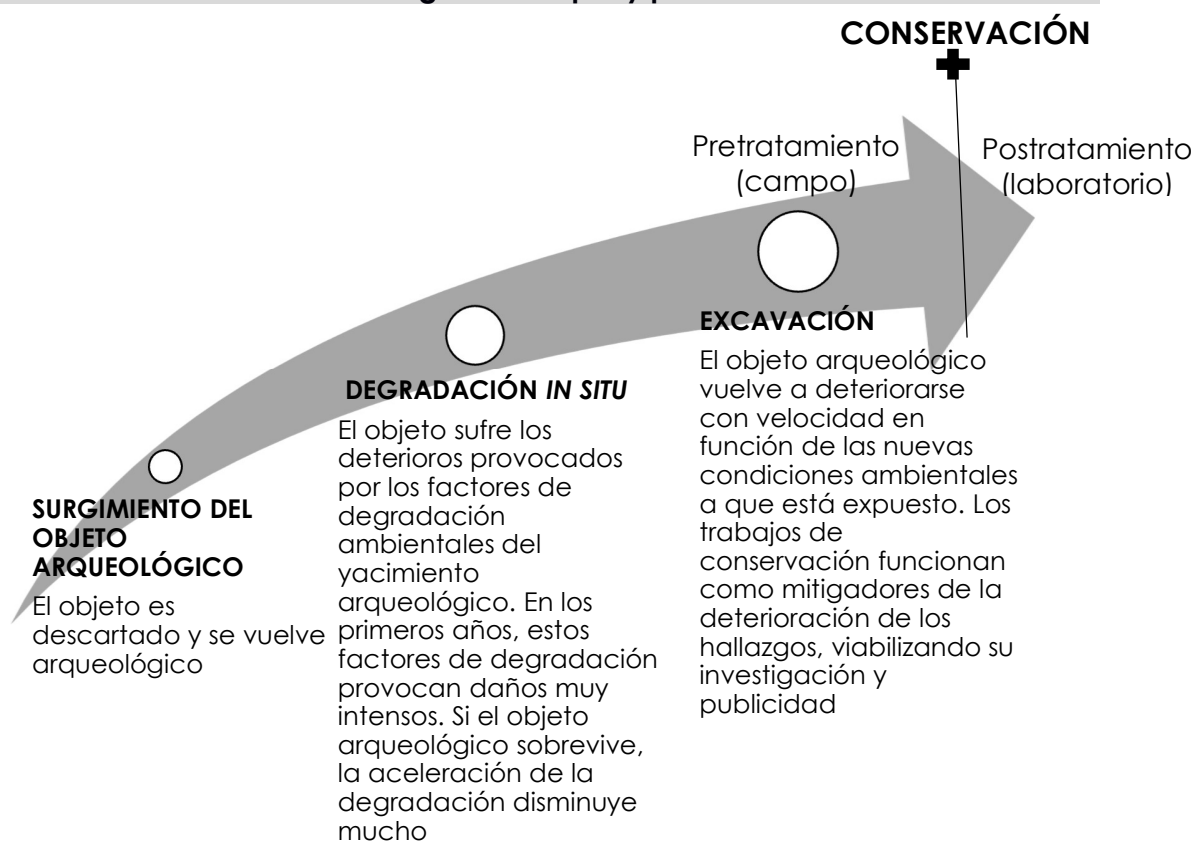
I. Sé parte del equipo arqueológico: planificación de excavación en grupo

¿Qué esperar de una acción colaborativa para lograr un buen trabajo de conservación de campo en la Antártica?

La conservación debe ser parte integral de los objetivos de los proyectos de arqueología. No hay forma de que la arqueología tenga éxito sin una conservación exitosa y viceversa. El objetivo final de todo trabajo de excavación en la Antártica son los compromisos éticos y los propósitos sociales y científicos del proyecto.



II. Factores de degradación pre y posexcavación

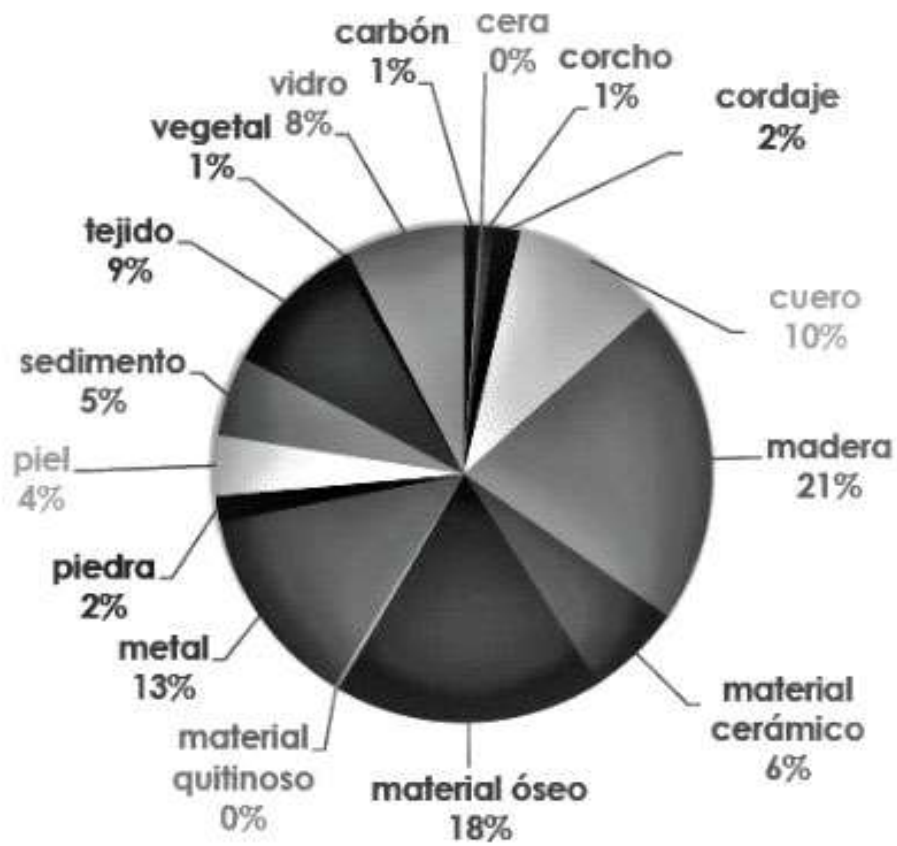


Factores de degradación de los objetos arqueológicos

<i>In situ</i>	Posexcavación
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Hábitat de animales (pinnípedos, pingüinos y otras aves) ✓ Algas y líquenes en la superficie de los yacimientos ✓ Viento, lluvia, nieve y otras intemperies ✓ Acidez del suelo en los yacimientos ✓ Salinidad del ambiente costero ✓ Alta humedad relativa ✓ Fluctuación de temperatura y humedad relativa ✓ Ciclos de congelamiento-descongelamiento ✓ Suelos arenosos: entrada de oxígeno y filtración de agua ✓ Incidencia de luz en los objetos sobre o subsuperficie 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Aumento de la presencia de oxígeno ✓ Humedad en los hallazgos y crecimiento biológico ✓ Luz ✓ Secado descontrolado ✓ Aumento de la fluctuación de temperatura y humedad relativa ✓ Aumento de temperatura, reacciones químicas y crecimiento biológico ✓ Manipulación y transporte (impacto, presión, vibración, abrasión) ✓ Aumento de la reacción de sustancias contaminantes en los materiales (ácidos, iones, sales, etc.)

III. Artefactos y materiales en los yacimientos loberos-balleneros de Livingston

Proporción de materiales excavados entre 2010-2019



Hallazgos típicos	Materia prima y manufactura
Carbón	Carbón
Clavos	Hierro y acero o bronce
Chapas metálicas	Plomo o hierro
Ropa	Guante de lana y cuero Fragmentos de vestuario, de tejido plano o jersey. Hechos de fibra de lana, algodón, y también es posible la presencia de cáñamo, lino u otras fibras vegetales y animales. Algunas veces los hallazgos aún presentan costuras o botones, o alusión a teñidos Fragmento de prenda de cuero o piel
Zapatos	Cuero, probablemente bovino, probablemente curtido con taninos vegetales, con cavillas de madera, clavos metálicos y costura
Botellas	Vidrio de color verde y vidrio de color marrón
Bubbler y material grasiento	Capa gruesa de grasa debajo de la piel de los mamíferos marinos y otras materias grasas
Pipas	Caolín decorado
Huesos y marfiles	Aves, pinnípedos y cetáceos. Muchos de ellos calcinados
Pieles de animales	Pinnípedos: lobos y elefantes marinos
Ollas	Aleación con hierro y aleación de cobre
Recipientes	Gres vidriado
Pedernal	Piedra (para armas de pedernal)
Botones	Madera y bronce
Piezas de juego de dama	Madera
Munición	Bronce y plomo
Barriles	Madera y hierro
Hacha, tenedores y cuchillos	Madera y hierro
Lonas	Tejido (probablemente fibras vegetales) y cuero
Maderas	Madera de diversos tamaños, tablas o fragmentos o restos de actividad artesanal. Muchas de ellas calcinadas
Materiales incinerados	Principalmente generados por medio de huesos de aves y de pinnípedos, grasa y madera
Tapones de botella	Corcho
Velas	Cera
Semillas	Semillas de varios tipos, pero aún no se han identificado las especies vegetales
Otros restos de animales	Uñas y pelos
Otros restos vegetales	Probables restos de tabaco y otras fibras vegetales
Cuerdas	Fibra vegetal
Ladrillo	Cerámica

IV. Checklist para campo

Materiales	Equipos e instrumentos
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Cajas de polietileno de poliondas (varias dimensiones) ✓ Cajas de acrílico (varias dimensiones) ✓ Cajas de polietileno (varias dimensiones) ✓ Manta acrílica ✓ Cajas rígidas tipo Marfinite ✓ Absorbedores de oxígeno ✓ Plastazote ✓ Cuerda de nylon ✓ Papel de aluminio ✓ Espumas de extrusión de poliuretano ✓ Telas de las marcas Tyvek®, Marvelsea®, Sontara®, Nylonnet® ✓ Cintas marcadoras de pH ✓ Plástico de burbuja ✓ Film plástico de polietileno ✓ Cinta adhesiva Tyvek ✓ Papel absorbedor ✓ Bolsas Ziploc en varias dimensiones ✓ Cintas de pegamento para embalaje ✓ Hilo de coser de nylon y de seda ✓ Espuma de polietileno de alta y baja densidad ✓ Tul de texturas delicadas ✓ Cajas plásticas descartables de varias dimensiones ✓ Espuma de poliuretano de extrusión ✓ Gasa ✓ Resinas acrílicas y vinílicas ✓ Solventes: alcohol y acetona ✓ Sustancias pasivantes de metales ✓ Cola caliente (bastón) ✓ Pelón ✓ Hilo de acero ✓ Algodón ✓ Agua destilada ✓ Papel de aluminio ✓ Gel de sílice ✓ Cintas marcadoras de humedad ✓ 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Termohigrómetro(s) ✓ Vidrierías de laboratorio ✓ Calentador eléctrico para soluciones ✓ Bandejas plásticas ✓ EPIs ✓ Instrumentos quirúrgicos ✓ Bolígrafo marcador permanente ✓ Selladora plástica térmica portátil con función vacío ✓ Lupas (objetivos macro) ✓ Plancha de MDF ✓ Cuaderno de registro de campo ✓ Cuaderno de anotaciones ✓ Fichas de diagnóstico y tratamiento en campo ✓ Símbolos de seguridad para traslado de cajas ✓ Set de fotografías ✓ Materiales de costuras ✓ Trinchas, espátulas y pinceles ✓ Ordenador portátil ✓ Planchas de aluminio para extracción en bloque ✓ Planchas plásticas rígidas ✓ Medidor de pH electrónico

V. Documentación de campo

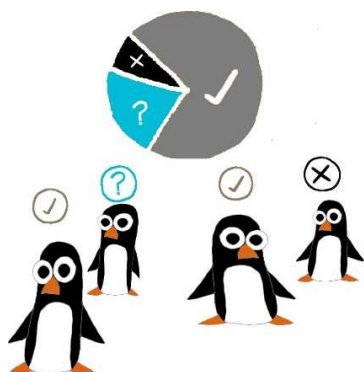
La documentación de conservación consiste en un cuaderno de registro de campo, cuaderno de anotaciones de actividades y la ficha de diagnóstico y tratamiento en campo.



El cuaderno de anotaciones funciona como un diario para registros de la rutina del conservador.

El cuaderno de registro de campo es el 'corazón' de las informaciones de colecta de campo.

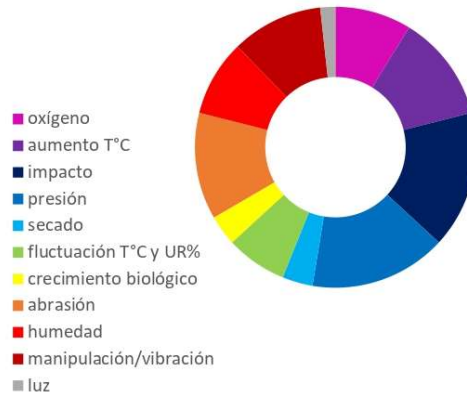
2018 - 001		Local:		Data: __/__/__			
N° Frag.: __		Sitio:		Plotado: <input type="checkbox"/>			
Título:			Material:				
Contexto	Nivel:	Pendiente	Nivel:	Superficie	Quadra:		
	Quadra:		Quadra:				
Arqueólogo:				Obs.:			
					<table border="1"> <tr> <td style="text-align: center;">2018</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center; font-size: 2em;">001</td> </tr> </table>	2018	001
2018							
001							



La ficha de diagnóstico y tratamiento de campo es el principal soporte sugerido para la toma de decisiones en campo.

Diagnóstico y Tratamiento en Campo											
1. identificación											
N° campo:	Registro con taquímetro	<input type="checkbox"/>									
N° fragmentos:	Muestra microbiológica	<input type="checkbox"/>									
pH:	Muestra de suelo	<input type="checkbox"/>									
Otros:											
2. Materiales											
3. Período de actividad											
____/____/____ - ____/____/____											
4. Diagnóstico											
Orgánico seco	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Metálico	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Material cerámico y vidrios	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sufre pliegues (textiles, cueros...)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Material cerámico con sales	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Hierros	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Objetos pesados > 1Kg	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
No metálico y pulverulento/desprendiendo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Metálico y pulverulento/desprendiendo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Orgánico mojado	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Grande dimensión > 50cm	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Delicado	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Marca/inscripción	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Máximo	5	7	9	9	2	4	2	7	5	6	2
Total											
Otros:											
5. Acciones											
Limpieza						Retirada especial del yacimiento					
agua	<input type="checkbox"/>					soporte rígido	<input type="checkbox"/>				
cetona	<input type="checkbox"/>					espuma de poliestireno	<input type="checkbox"/>				
alcohol	<input type="checkbox"/>					<i>lifting</i>	<input type="checkbox"/>				
inmersión	<input type="checkbox"/>					<i>block Lifting</i>	<input type="checkbox"/>				
lavado	<input type="checkbox"/>					<i>bandaging</i>	<input type="checkbox"/>				
superficial	<input type="checkbox"/>					Otros:					
física / mecánica	<input type="checkbox"/>										
pasivadores para metal	<input type="checkbox"/>										
Otros:											
Embalaje											
bolsa de polietileno aluminizado						<input type="checkbox"/>					
bolsa seca						<input type="checkbox"/>					
bolsa húmeda						<input type="checkbox"/>					
Consolidación											
por inmersión						<input type="checkbox"/>	Inmersión				
localizada						<input type="checkbox"/>	inmersión con pasivación para metales				
superficial						<input type="checkbox"/>	hoja de aluminio (pasivación metales)				
emulsión vinílicas						<input type="checkbox"/>	planificación (textiles)				
solución acrílicas						<input type="checkbox"/>	fijación de partes				
gaza u otro textil						<input type="checkbox"/>	relleno (evitar pliegues)				
in situ						<input type="checkbox"/>	sobre de tul para fijar				
laboratorio de campo						<input type="checkbox"/>	sellado herméticamente				
Otros:						sellado a vacío					
						gel de sílice					
						tarjeta medidora de humedad					
						absorbedor de oxígeno					
						amortiguadores (plásticos o espumas)					
Secado											
secado natural						<input type="checkbox"/>	caja de plástico				
evitar secado						<input type="checkbox"/>	aislante para materiales compuestos				
secado alcohol y / o acetona						<input type="checkbox"/>	protección de marcas e inscripciones				
						uso de biocida					
Otros:						Otros:					

Factores de degradación



7. Transporte			
Control termohigrómetro	<input type="checkbox"/>	T°C/UR%:	____/____/____ - ____/____/____
Barco con refrigeración	<input type="checkbox"/>	T°C/UR%:	____/____/____ - ____/____/____
Barco sin refrigeración	<input type="checkbox"/>	T°C/UR%:	____/____/____ - ____/____/____
Avión	<input type="checkbox"/>	T°C/UR%:	____/____/____ - ____/____/____
Carretera	<input type="checkbox"/>	T°C/UR%:	____/____/____ - ____/____/____
N° caja:			Otros:
Categorías de tratamiento en laboratorio: A <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> Más vulnerable (categoría A): estricto control y seguimiento de las condiciones ambientales. Menos vulnerables (categoría B): pueden conservarse en local donde exista menor grado de control ambiental. Materiales resistentes (categoría C): puede soportar las variaciones ambientales de T °C y UR% normales.			
Salida de Livingston: ____/____/____ Llegada en LEACH: ____/____/____			

6. Mapa de daños

VI. Conservación *in situ* en la Antártica: Práctica de Conservación

✿ Consolidación

- Verificar la necesidad de consolidación para asegurar que el objeto pueda ser alzado del yacimiento.
- Verificar la necesidad de consolidación para asegurar que el objeto pueda llegar con integridad al laboratorio de campo.
- Verificar la necesidad de consolidación para asegurar que el objeto llegue con integridad al LEACH.
- Verificar la necesidad de consolidación después de la llegada al LEACH.

La aplicación de los consolidantes no debe realizarse de forma indiscriminada, pues implica siempre un cambio fisicoquímico en el material original. A la hora de elegir el consolidante más adecuado para el tratamiento del objeto arqueológico, debemos considerar los siguientes puntos:

- ✓ La viscosidad del producto.
- ✓ La capilaridad del objeto.
- ✓ La plasticidad del producto.
- ✓ La estabilidad, acidez y tendencia a la degradación y/o amarilleamiento.
- ✓ La concentración necesaria del consolidante.
- ✓ El área superficial y la profundidad que el consolidante debe alcanzar.
- ✓ La porosidad, peso, dureza del objeto o fuerzas actuantes sobre el objeto, como la gravedad.
- ✓ Posibles cambios de apariencia.
- ✓ La reversibilidad.
- ✓ El tiempo de aplicación.
- ✓ Los instrumentos necesarios para la aplicación, por ejemplo, si es necesario aplicación de calentador térmico.
- ✓ El mejor local de aplicación: *in situ* o en laboratorio.
- ✓ El soluto, especialmente si es polar o apolar, o si se trata de emulsión o dispersión acuosa.
- ✓ Si la consolidación corresponde a un procedimiento más amplio de conservación, como las retiradas especiales del yacimiento.
- ✓ Si el objeto está mojado o seco.
- ✓ La tipología de aplicación: por inmersión, inyección, superficial, con spray, pincel u otros.
- ✓ El uso de gasa, textiles o papeles como soporte para el consolidante.
- ✓ El tiempo necesario para la aplicación, reacción completa y secado.
- ✓ La toxicidad del disolvente/evaluación de riesgos en función de la cantidad.

Utilizar disoluciones de baja concentración a de alta concentración, hasta las proporciones de 50 % de solvente y 50 % (% v/v) para el uso como adhesivo. Una disolución del 5 % de consolidantes vinílicos o acrílicos es apropiada para muchos

usos de consolidación superficial, mientras la dilución del 10 % es apropiada para muchas situaciones de adhesión.

✿ Retirada del material del suelo

- Decidir acerca del uso o no de las técnicas de extracción especiales en el momento de la excavación.
- Cuidar para que los hallazgos rescatados bajo extracción especial lleguen al laboratorio de campo y después al LEACH en condiciones estables.
- Utilizar técnicas de microexcavación en laboratorio para limpiar los hallazgos bajo técnicas de extracción especial.

Las técnicas de extracción especial sirven para la estabilización *in situ* de objetos frágiles y fragmentados antes del levantamiento. También tiene como objetivo extraer los artefactos enterrados juntos, para evitar la deconstrucción. Los principales materiales y técnicas son *block lifting*, *lifting*, *back*, cajas o bandejas para suspensión, acompañamiento o no de consolidaciones *in situ*, u otras técnicas que se entiendan como necesarias.

Las técnicas pueden ser aplicadas junto a las consolidaciones superficiales *in situ*, con o sin apoyo de gasas. La más simple de estas consiste simplemente en añadir un soporte bajo o alrededor del objeto para evitar su ruptura al moverlo (*lifting*). Las más complejas ocurren por medio de la retirada de grandes bloques de tierra (*block lifting*).

✿ Limpieza

- Limpieza para extracción del objeto del yacimiento (decapado).
- Primera limpieza superficial en el laboratorio de campo.
- Segunda limpieza en el momento del inventariado en el LEACH.
- Limpieza en profundidad, con o sin baño por inmersión, en el LEACH.

Se utilizan pinceles medios para limpieza superficial e instrumentos quirúrgicos para remoción de concreciones. La limpieza en campo no va más allá de la superficial. La limpieza mecánica con aparatos con ultrasonido, microtornos y las limpiezas con agentes químicos ocurren también en el laboratorio.

Por precaución, en caso de interés para la investigación arqueológica, toda la tierra removida en la limpieza puede ser guardada y debidamente etiquetada para estudios arqueológicos posteriores.

✿ Pasivación de metales

- Neutralización de hierros y bronce limpios superficialmente con baños alcalinos, seguida de baños secantes para el acondicionamiento seco.
- Baños secantes para hierros y bronce con disolventes de baja toxicidad, como el alcohol.
- Evaluar la posibilidad/necesidad del transporte de hierros en inmersión con solución pasivante.
- Tener precaución con los residuos de los artefactos de plomo debido a su toxicidad.

Los cuidados mayores son dados a los hierros, que son los más deformados, corroídos internamente y más susceptibles a la corrosión posexcavación. La corrosión puede ser ligeramente mitigada por medio de soluciones como el hidróxido de sodio o el carbonato de sodio a baja proporción (2-5 %, p/v). En el laboratorio de campo, intentar que el objeto pueda permanecer algunas horas en la solución pasivante. El pH de la solución debe permanecer alcalino (alrededor o ligeramente superior a 8). Utilice el medidor de pH si está disponible.

Para los hierros y bronce que serán acondicionados en seco, secarlos por medio del baño de alcohol y acetona. Intentar que el objeto pueda permanecer algunas horas en baño secante.

✿ Acondicionamiento: ¿seco, mojado o sumergido?

- Elegir los objetos de metal que recibirán embalaje especial seco.
- Mantener los orgánicos rescatados mojados en bolsas de acondicionamiento que mitiguen la pérdida de agua.
- Acondicionar todos los objetos orgánicos mojados en bolsas cerradas e impedir el secado brusco.
- Utilizar pequeñas porciones de agua destiladas en las bolsas de orgánicos mojados para evitar que sequen durante el traslado.
- Utilizar embalajes hechos con plástico de polietileno, o films y textiles de las marcas Marvelseal®, Sontaral®, u otras, para mayores cuidados en el acondicionamiento de metales secos u orgánicos mojados.
- Utilizar el gel de sílice para bolsas de acondicionamiento en seco de metales.
- Retirar al máximo el aire en todas las bolsas antes de cerrarlas.
- Insertar cartelas indicadoras de RH % en las bolsas de acondicionamiento seco para verificar la eficacia del cierre hermético y del baño secante.

- Utilizar el cierre hermético con selladora térmica para las bolsas secas (para metales acondicionados en seco) o húmedas (orgánicos mojados).
- Acondicionar objetos de fibras, textiles, cuero y pieles, secos o mojados, en sobre de tul suave cosido en los bordes del objeto para evitar que se mueva. El método también ayuda a aplanar los pliegues indeseados.
- Rellenar los zapatos con espuma de acrílico para ayudar en la reestructuración de su forma original.
- Evitar utilizar biocidas, pero intentar que las cajas con los hallazgos estén a bajas temperaturas durante el transporte de la Antártica al LEACH.

El secado puede representar el colapso de los objetos arqueológicos orgánicos frágiles y mojados. Se debe apenas garantizar que estos sean acondicionados en bolsas o sobres que eviten las corrientes de aire y humedad. La actividad con orgánicos húmedos va acompañada de esfuerzos para mantener los objetos a bajas temperaturas (menos de 10°C).

De acuerdo con la bibliografía, es recomendable el acondicionamiento de objetos mixtos (madera y metal) bajo inmersión de agua. Esta es una buena alternativa al acondicionamiento estable para ambos materiales, una vez que la parte orgánica no puede ser secada, lo que afectaría a la parte metálica por corrosión. Además, el acondicionamiento evita el ataque biológico inhibiendo la proliferación de los microorganismos aeróbicos.

✳ Embalajes de protección contra choque, presión y vibración

- Hacer el acondicionamiento protegiendo exhaustivamente los hallazgos más pesados, más grandes, los más frágiles, los vidrios y cerámicas contra riesgos de choques y vibración.
- Utilizar cajas, papeles plásticos inertes, como los hechos de acrílico y polietileno.
- Utilizar silicona para hallazgos como pipas y otros cerámicos muy delicados y pequeños.
- Utilizar espuma de poliuretano como protección en el acondicionamiento para objetos grandes y pesados, pero dedicando atención a las dificultades de corte de la espuma después de seca.
- Separar los materiales en cajas plásticas de poliondas por nivel de fragilidad, peso y tipología de material debido a que es necesario apilarlas.
- Separar las cajas de poliondas en las cajas Marfinite por peso. Las más pesadas quedan en la parte inferior y las más ligeras en la parte

superior. Intenta apilar las cajas de Marfinite siguiendo esta misma lógica.

Buscar un buen aprovechamiento del espacio en las Marfinite, buscando producir el menor número de cajas para el traslado a Brasil. Esto ayuda en el control del material durante las etapas de transporte.

✿ Control de la carga en el traslado a Brasil

- Insertar el termohigrómetro *datalogger* en las cajas para el posterior diagnóstico de las condiciones de temperatura y humedad relativa.
- Realizar listas de las cajas Marfinite y de los contenidos de las cajas e instrucciones especiales para cada una de ellas.
- Instalar en las Marfinite los iconos representativos de los códigos de seguridad para el transporte.
- Acompañar las cajas Marfinite en todas las etapas del traslado desde la Antártica hasta Brasil.
- Separar las Marfinite por niveles de exigencia de control de las variables ambientales (principalmente límites de T°C y RH%) y buscar que, principalmente la que tiene los contenidos más susceptibles al aumento de temperatura, permanezcan en condición de refrigeración en los navíos y durante otras etapas del transporte.
- Negociar con la Marina la posibilidad de que todas las Marfinite vengan al LEACH al final de la expedición con los miembros del equipo.
- Use un termohigrómetro para registrar la T°C y RH% y diagnosticar las condiciones de traslado.
- Los objetos de mayor interés de presentación para el laboratorio también deben estar juntos en las mismas Marfinite para que, en caso de separación del traslado a Brasil en etapas, estos sean los que viajen con los miembros del LEACH a Brasil en el vuelo de la FAB.

Debemos realizar constantes *checklists* y monitorear el traslado y almacenamiento de cajas en el barco, avión u otro medio de transporte. Para lograr un buen traslado del material arqueológico es necesaria una buena exposición a los responsables de la Armada y la FAB, que ayudan a mover la carga, los cuidados con en movimiento y almacenamiento.

VII. Llegada de campo

TODOS. Tiene lugar la reevaluación de daños, segunda limpieza superficial, fotografía, inscripción en el banco de datos del laboratorio, apertura de las bolsas de acondicionamiento. Deben ser estudiadas las condiciones ambientales del laboratorio (clima, contaminación, iluminación, etc.) y buscarse adaptar el local de acondicionamiento a los límites ambientales recomendables que garanticen la conservación del material arqueológico a largo plazo.



VIDRIOS Y CERÁMICAS. Los vidrios y cerámicas deben lavarse para eliminar las sales y las impurezas. Debe hacerse hincapié en la protección mecánica para estas categorías de materiales.



METALES. Los metales deben mantenerse secos (se recomienda humedad relativa inferior al 50 % y la menor posible para los hierros). Cada objeto y fragmento de metal debe embalarse por separado entre sí para que la diferencia de electronegatividad entre ellos no favorezca la corrosión. La aplicación de baños pasivadores y desecantes con alcohol y acetona, y luego acondicionamiento en bolsas plásticas selladas con el agregado de gel de sílice en el interior para secar el objeto, es recomendable para objetos pequeños. El uso de dispositivos deshumidificadores es una gran alternativa para bajar el RH% en los locales de acondicionamiento de metales. El acondicionamiento en inmersión puede ser una alternativa en laboratorio. Deben ser planificadas en laboratorio las limpiezas profundas y la aplicación de sustancias reductoras de la corrosión, como el ácido tánico, o tratamientos electrolíticos.



ORGÁNICOS. Los hallazgos orgánicos deben mantenerse húmedos y refrigerados (menos de 10°C) y han de secar lentamente. Los baños de limpieza pueden ser una opción si los objetos lo toleran. Pueden ser tratados con consolidante en solución acuosa antes del secado, preferiblemente resinas sintéticas, como vinilos, acrílicos, PEG, etc. El control básico de secado consiste en la extracción de los objetos húmedos de las bolsas plásticas y su exposición diaria temporal al aire libre. Se acompaña de la medición del peso del objeto, tanto al inicio como hasta el final de la exposición, comprobando así la velocidad de salida del agua hasta la estabilización.



Consideraciones finales

Consideraciones finales

"Well, what does thou think then of seeing the world? Do ye wish to go round Cape Horn to see any more of it, eh? Can't ye see the world where you stand?"

Captain Peleg

Moby Dick. Herman Melville, 1851

(Collector's Library, 2004)

El siglo XIX representó un período intenso de conquistas, luchas y revoluciones relacionadas con la expansión de la influencia capitalista en el mundo, ya fuera en la búsqueda de recursos para el avance tecnológico e industrial, o para la articulación de estructuras de poder sobre las sociedades y los rincones del mundo. Sin embargo, a pesar de la influencia de las estructuras dominantes del capitalismo, la presencia lobera-ballenera en las islas Shetland del Sur estuvo bajo las acciones de personas cuyas identidades no se debe subestimar. Experiencias en los límites del 'desconocido' en la Antártica dibujaron hábitos y tipos sociales particulares. Las motivaciones relacionadas con las primeras ocupaciones se relacionaron a la apertura de rutas de caza de mamíferos marinos al alrededor del planeta. Estas han sido medios históricos de construcción de identidades adaptadas a la experiencia marítima, al riesgo, y a la experiencia intercontinental. Revelan lo que pensaron y quienes fueron los primeros exploradores del continente antártico.

Además de los esfuerzos para reconocer quiénes eran estas personas, el otro gran reto de la investigación arqueológica y de la conservación es mostrar a la gente del presente las varias dimensiones de los efectos (violentos) que conllevaron la caza en las Islas Shetland del Sur en el pasado. Eso coincide con los retos de las instituciones gubernamentales y las otras áreas de la investigación científica para la preservación de los yacimientos e de los ecosistemas del archipiélago.

Las dificultades para rescatar hallazgos en las Islas Shetland del Sur y preservarlos son diversas. Las excavaciones arqueológicas son oportunidades raras, que implican una gran inversión de intereses y apoyos. Hacer llegar a lo mayor

número de personas información acerca de la colección lobo-ballenera y los resultados de los estudios es entonces imprescindible. Mientras no sea posible realizar el rescate, la preservación de los yacimientos debe seguir siendo la primera opción. En este sentido, el Tratado Antártico ha sido un gran aliado, pues inhibió actividades de explotación de los recursos naturales con fines económicos desde el siglo XX y ha sido un organismo clave para el fomento de la actividad científica y para la preservación del continente y de las islas en las adyacencias.



Bibliografía

Bibliografía

- ADAMS, Byron J.; BARDGETT, Richard D.; AYRES, Edward; WALL, Diana H.; AISLABIE, Jackie; BAMFORTH, Stuart; BARGAGLI, Roberto; CARY, Craig; CAVACINI, Paolo; CONNELL, Laurie; CONVEY, Peter; FELL, Jack W.; FRATI, Francesco; HOGG, Ian D.; NEWSHAM, Kevin K.; O'DONNELL, Anthony; RUSSELL, Nicholas; SEPPELT, Rodney D. y STEVENS, Mark I. Diversity and distribution of Victoria Land biota. *Soil Biology and Biochemistry*. 2006, vol. 38, n.º 10, pp. 3003-3018.
- ALEXANDER, Caroline. *The endurance: Shackleton's legendary Antarctic expedition*. Nueva York (Estados Unidos): Knopf, 1998.
- AMARAL, Luciani Alnano. *Alternativas para o tratamento de resíduos de couro curtido ao cromo: hidrólise enzimática e ação de bactérias* [tesina de fin de máster]. Porto Alegre (Brasil): Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2008.
- ANTARCTIC HERITAGE TRUST. *Antarctic Heritage Trust*, ©2020 [consulta: 16/09/2021]. Disponible en: <https://www.nzah.org/about-us>.
- ANTHONY, John W.; BIDEAUX, Richard A.; BLADH, Kenneth W. y NICHOLS, Monte C. *Handbook of Mineralogy*. Tucson (Estados Unidos): Mineral Data Publishing, 2003.
- ARC-NUCLÉART. *Les polyéthylène glycols* [en línea]. Grenoble (Francia): ARC-Nucléart [consulta: 21/09/2121]. Disponible en: <https://bit.ly/2YluLlu>.
- ARGYROPOULOS, V.; RAMEAU, J. J.; DALARD, F. y DEGRIGNY, C. Testing Hostacor IT as a corrosion inhibitor for iron in polyethylene glycol solutions. *Studies in Conservation*. 1999, vol. 44, n.º 1, pp. 49-57.
- ASCHER, Robert. Time's Arrow and the Archaeology of a Contemporary Community. En: K. C. CHANG, ed. *Settlement Archaeology*. Palo Alto (Estados Unidos): National Press Books, 1968, pp. 43-52.
- AUSTRALIAN GOVERNMENT. *National Heritage* [en línea]. Home of the Blizzard. Australasian Antarctic Expedition [consulta: 16/09/2021]. Disponible en: <https://mawsonshuts.antarctica.gov.au/national-heritage>.
- BAÑÓN, Manuel; JUSTEL, Ana; VELÁZQUEZ, David y QUESADA, Antonio. Regional weather survey on Byers Peninsula, Livingston Island, South Shetland Islands, Antarctica. *Antarctic Science*. 2013, vol. 25, n.º 2, pp. 146-156.
- BASKIN, Yvonne. *Under ground: How creatures of mud and dirt shape our World*. Washington, DC (Estados Unidos): Island Press, 2005.
- BERGUÑO, Jorge. Las Shetland del Sur. El ciclo lobero. *Boletín Antártico Chileno*. 1993, vol. 12, n.º 1, pp. 5-13.
- BERNADET, Renaud y MILLET, Émilie. Un laboratoire mobile pour l'archéologie préventive. Retour d'expérience spécialiste d'un archéologue spécialiste du mobilier métallique. *Les Nouvelles de l'archéologie*. 2020, n.º 162, pp. 12-19.
- BORGIOI, Leonardo. *Agentes Complejantes*. Doc. Act. 02/05/18 [en línea]. CTS [consulta: 23/09/2021]. Disponible en: <https://bit.ly/3BEhVmr>.
- BRAGANÇA, S. R.; ZIMMER, A. y PEDRASSANI, J. Uma revisão sobre a terminologia e classificação das cerâmicas brancas. *Cerâmica*. 2019, vol. 65, n.º 375, pp. 485-497.
- BRITO, Cristina. Medieval and early modern whaling in Portugal. *Anthrozoös*. 2011, vol. 24, n.º 3, pp. 287-300.

- CAMPBELL, Gill; MOFFETT, Lisa y STRAKER, Vanessa. *Environmental Archaeology: a guide to the theory and practice of methods, from sampling and recovery to post-excavation* (ed. David M. Jones). 2.ª ed. Swindon (Reino Unido): English Heritage Publishing, 2011.
- CANO, E. y LAFUENTE, D. Corrosion inhibitors for the preservation of metallic heritage artefacts. En: P. DILLMANN, D. WATKINSON, E. ANGELINI y A. ADRIAENS, eds. *Corrosion and conservation of cultural heritage metallic artefacts*. Sawston (Reino Unido): Woodhead Publishing, 2013, pp. 570-594.
- CARPENTER, J.; GODFREY, I. M.; MACLEOD, I. D.; RICHARDS, V. L. *Wet Materials* [en línea]. Western Australian Museum; Western Australian Government [consulta: 20/09/2021]. Disponible en: <https://bit.ly/3v5OG9R>.
- CARPENTER, J.; GODFREY, I. M.; MACLEOD, I. D. y RICHARDS, V. L. *Packing for Storage* [en línea]. Western Australian Museum [consulta: 21/09/2021]. Disponible en: <https://manual.museum.wa.gov.au/book/export/html/147>.
- CARRASCOSA MOLINER, Begoña. *Investigación sobre tratamientos de conservación y restauración de piezas cerámicas y arqueológicas* [tesis doctoral]. Valencia (España): Universitat Politècnica de València, 1996.
- CARRASCOSA MOLINER, Begoña. *Iniciación a la conservación y restauración de objetos cerámicos*. Valencia (España): Universitat Politècnica de València, 2006.
- CARRASCOSA MOLINER, Begoña. *La conservación y restauración de objetos cerámicos arqueológicos*. Madrid (España): Tecnos, 2009.
- CARRASCOSA MOLINER, Begoña y LASTRAS PÉREZ, Montserrat. Tratamientos de extracción *in situ* de materiales óseos Mayas. En: J. P. LAPORTE, B. ARROYO y H. MEJÍA, eds. *XXII Simposio de Investigaciones Arqueológicas en Guatemala, 2008: Museo Nacional de Arqueología y Etnología*. Ciudad de Guatemala (Guatemala): Ministerio de Cultura y Deportes; Instituto de Antropología e Historia; Asociación Tikal, 2009, pp. 830-841.
- CARRASCOSA MOLINER, María Begoña; ÁNGEL PERIS, Ana Isabel y FLORS URENA, Enric. La extracción de materiales arqueológicos *in situ*. Yacimientos de Torre la Sal y Costamar, Cabanes (Castellón). *Arché*. 2010, n.º 4-5, pp. 53-60.
- CASTRO, Isabela Alves. *Resíduo de couro Wet Blue após a extração do cromo: Uso como fertilizante nitrogenado em plantações de eucalipto* [trabajo de fin de máster]. Lavras (Brasil): Universidade Federal de Lavras, 2011.
- CENTRO DE TECNOLOGIA DA INDÚSTRIA QUÍMICA E TÊXTIL. *Introdução às Fibras Têxteis* [material didáctico]. Río de Janeiro (Brasil): SENAI/CETIQT, 2009.
- CIATTI, Marco y SCARPELLI, Susanna Conti (eds.). *Tessuti archeologici: i frammenti copti Roca-Puig dell'Abbazia di Montserrat: conservazione e restauro*. Florencia (Italia): Edifir, 2014.
- CLOUGH, Rod. Formation Processes of the Archaeological Record. 1991. Review: SCHIFFER, Michael B. Formation processes of the archaeological record. 1987. *The Journal of the Polynesian Society*. 1991, vol. 100, n.º 2, pp. 209-212.
- COLES, John M. (ed.). *Waterlogged wood: guidelines on the recording, sampling, conservation, and curation of structural wood*. Swindon (Reino Unido): English Heritage Publishing, 1990.
- CONSERVATION SUPPORT SYSTEMS. *Marvelseal 360®* [en línea]. S. f. [consulta: 21/09/2021]. Disponible en: <https://bit.ly/3aBKSn3>.

- COOK, Cliff. *Preparing Silica Gel for Contained Storage of Metal Objects*. Ottawa (Canadá): Canadian Conservation Institute; Government of Canada, 2019.
- CORNING MUSEUM OF GLASS. *The Stages of Crizzling* [en línea]. Nueva York: The Corning Museum of Glass, 8/12/2011 [consulta: 13/05/2021]. Disponible en: <https://www.cmog.org/article/crizzling>.
- CORTELLA, Laurent; ALBINO, Christophe; TRAN, Quoc Khoi y FROMENT, Karine. 50 years of French experience in using gamma rays as a tool for cultural heritage remedial conservation. *Radiation Physics and Chemistry*. 2020, vol. 171, p. 108-126.
- COSGROVE, Denis E. A geografia está em toda parte: cultura e simbolismo nas paisagens humanas. En: R. L. CORRÊA y Z. ROSENDHAL, orgs. *Paisagem, Tempo e Cultura*. Río de Janeiro (Brasil): Eduej, 1998, pp. 92-123.
- COSTA, Ricardo Manuel Madruga da. *A Ilha do Faial na logística da frota baleeira americana no Século Dabney*. Lisboa: Centro de História de Além Mar; Horta: Observatório do Mar dos Açores, 2012.
- CRONYN, Janet Margaret. *Elements of archaeological conservation*. Londres: Routledge, 2004.
- CTS. B.D.G. 86 [en línea]. S. f. [consulta: 23/09/2021]. Disponible en: <https://www.ctseurope.com/it/67-bdg-86>.
- CTS. *Catálogo General* [en línea]. 2018 [consulta: 18/09/21]. Disponible en: <https://bit.ly/2YTujki>.
- CURRIE, Stephen. *Thar She Blows: American Whaling in the Nineteenth Century*. Minneapolis (Estados Unidos): Lerner Publications Company, 2001.
- CUTLER, David F.; BOTHA, Ted y STEVENSON, Dennis W. *Anatomia vegetal: uma abordagem aplicada*. Porto Alegre (Brasil): Artmed, 2009.
- DE ALKMIM RADICCHI, G., DE OLIVEIRA, A. B., CAMPOS, J. C. V., & FARIA, V. M. A chegada da Antártica: primeiros tratamentos de conservação. *Revista de Arqueologia*, 2021, 34(1), 04-17.
- DE FIGUEIREDO, João Cura D'Ars; OLIVEIRA, Juliana Alves dos Santos; DE SOUZA, Gláucia Silva Marques; FRONER, Yacy-Ara; SOUZA, Luiz A. C. y ZARANKIN, Andrés. Characterization of corrosion products on metals excavated from seal hunters' occupation in Antarctica in the eighteenth and nineteenth centuries. *Studies in Conservation*. 2015, vol. 60, n.º 3, pp. 211-216.
- DE GUICHEN, Gaël. Conservación Preventiva. ¿En qué punto nos encontramos en 2013? *Patrimonio cultural de España*. 2013, n.º 7, pp. 15-24.
- DE ROO, Berdien; VAN DE WEGHE, Nico; BOURGEOIS, Jean y DE MAEYER, Phillippe. The temporal dimension in a 4D archaeological data model: Applicability of the geoinformation standard. En: U. ISIKDAG, ed. *ISPRS 8th 3D GeoInfo Conference & WG II/2 Workshop*. S. l.: International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 2013, vol. 2, pp. 111-121.
- DENTEGO. *Eugénol. définition et posologie* [en línea]. S. f. [consulta: 18/09/21]. Disponible en: <https://bit.ly/3mP0KbJ>.
- DICKINSON, Anthony B. Early nineteenth-century sealing on the Falkland Islands: attempts to develop a regulated industry, 1820-1834. *The Northern Mariner*. 1994, vol. IV, n.º 3, pp. 39-49.

- DOMÉNECH, Antonio; LASTRAS PÉREZ, Montserrat; RODRÍGUEZ, Francisco y OSETE, Laura. Mapping of corrosion products of highly altered archeological iron using voltammetry of microparticles. *Microchemical Journal*. 2013, vol. 106, pp. 41-50.
- EGGER, Bárbara; MAARLEVELD, Thijs J. y GUÉRIN, Ulrike (eds.). *Manual para actividades dirigidas al Patrimonio Cultural Subacuático: directrices para el Anexo de la Convención de la UNESCO de 2001*. París (Francia): UNESCO, 2013 [consulta: 16/09/2021]. Disponible en: <https://bit.ly/3mLHD2a>.
- ENGLISH HERITAGE. *Waterlogged Organic Artefacts: Guidelines on their recovery, analysis and conservation*. Swindon (Reino Unido): Historic England, 2018.
- ESPAÑA, Tomás; MONTIEL, Vicente; LÓPEZ-SEGURA, Marcelo y ALDAZ, Antonio. Limpieza y restauración electroquímica de objetos arqueológicos metálicos. *Lucentum*. 1985, n.º 4, pp. 185-190.
- EUROPEAN CONFEDERATION OF CONSERVATOR-RESTORERS ORGANISATIONS. E.C.C.O., ©2021 [consulta: 25/09/2021]. Disponible en: <http://www.ecco-eu.org>.
- FARIA, André Luiz Lopes de. *Solos, geomorfologia e relações ecológicas na parte sudoeste da península de Byers, Ilha Livingston, Antártica Marítima* [tesis doctoral]. Viçosa (Brasil): Universidade Federal de Viçosa, 2010.
- FEIJOO FEIJOO, C. E.; ARMIJOS, D. D. R.; Cofrep, D. A. P. Guía para cortes anatómicos de la madera. Universidad Nacional de Loja. Loja, Ecuador. Enero, 2019
- FERNANDES, Alexandre. *A medida de pH e Condutividade* [en línea]. GEHAKA, Sanepar, 2013 [consulta: 23/09/2021]. Disponible en: https://www.gehaka.com.br/downloads/apresentacao_sanepar.pdf.
- FERNÁNDEZ LÓPEZ, Sixto Rafael. *Temas de tafonomía*. Madrid: Universidad Complutense, 2000.
- FIGUEIREDO JUNIOR, João. C. D. *Química aplicada à conservação e restauração de bens culturais: uma introdução*. Belo Horizonte: São Jerônimo, 2012.
- FLORIAN, Mary-Lou E. The mechanisms of deterioration in leather. En: R. THOMSON y M. KITE, eds. *Conservation of leather and related materials*. Londres (Reino Unido): Routledge, 2006, pp. 36-54.
- FOSTER, Mark. *Whale Port: A History of Tuckanuckeet*. Boston: Houghton Mifflin, 2007.
- FUKUSHIMA, Romualdo Shigueo; GARIPPO, Geraldo; HABITANTE, Ana Mônica Quinta Barbosa y LACERDA, Roseli Sengling. Extração da lignina e emprego da mesma em curvas de calibração para a mensuração da lignina em produtos vegetais. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 2000, vol. 29, pp. 1302-1311.
- FUNARI, Pedro Paulo A. Teoria e métodos na Arqueologia contemporânea: o contexto da Arqueologia Histórica. *Mneme-revista de humanidades* [en línea]. 2005, vol. 6, n.º 13 [consulta: 21/09/2021]. Disponible en: <https://www.periodicos.ufrn.br/mneme/article/view/267/243>.
- FUNDACIÓN HISTAMAR. Los objetos de la Cueva Lima-Lima, Isla Livingston, Shetland del Sur: una descripción y análisis (1995). [consulta: 02/11/2021]. Disponible en: <http://www.histamar.com.ar/SubArch/Cueva/LimaLimaBase.htm>.
- GARCÍA BREIJO, Francisco José. Web docente, UPV. Tema 1. *La Célula Vegetal: Estructura Celular e intercomunicaciones* [asignatura docente]. Biología Vegetal [consulta: 20/09/21]. Disponible en: <https://bit.ly/3mQeolO>.

- GARCÍA FERNÁNDEZ, Isabel M. Historia de la conservación preventiva. Parte II. *Ge-conservación*. 2014, n.º 6, pp. 5-18.
- GARCÍA FORTES, Salvador y FLOS TRAVIESO, Nuria. *Conservación y restauración de bienes arqueológicos*. Madrid: Síntesis [eBook Kindle], 2008.
- GHS SYSTEM. *GHS Classification* [en línea]. S. f. [consulta: 21/09/2021]. Disponible en: https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/ghs/#_ha.
- GOFFER, Zvi. Physical studies of archaeological materials. *Reports on Progress in Physics*. 1983, vol. 46, n.º 10, pp. 1193-1234.
- GOFFER, Zvi. *Archaeological chemistry*. 2.ª ed. Hoboken (Estados Unidos): John Wiley & Sons, 2006.
- GONZAGA, Armando Luiz. *Madeira: uso e conservação*. Brasília (Brasil): IPHAN, 2006.
- GRAVES, Dorothy J. A comparative study of consolidants for waterlogged wood: polyethylene glycol, sucrose and silicon oil. *SSCR journal: the news magazine of the Scottish Society for Conservation and Restoration*. 2004, vol. 15, n.º 3, pp. 13-17.
- GREVEY, A. L.; VIGNAL, V.; KRAWIEC, H.; OZGA, P.; PECHE-QUILICHINI, K.; RIVALAN, A. y MAZIÈRE, F. Microstructure and long-term corrosion of archaeological iron alloy artefacts. *Heritage Science*. 2020, n.º 8, artículo 57, pp. 1-19.
- GRUPO ESPAÑOL DE CONSERVACIÓN. *Timol* [en línea]. GE-IIC, s. f. [consulta: 18/09/21]. Disponible en: <https://www.ge-iic.com/fichas-tecnicas/biocidas-herbicidas-etc/timol>.
- GRUPO ESPAÑOL DE CONSERVACIÓN. *Cianoacrilato* [en línea]. GE-IIC, s. f. [consulta: 18/09/21]. Disponible en: <https://www.ge-iic.com/fichas-tecnicas/adhesivos/cianoacrilato>.
- GRUPO ESPAÑOL DE CONSERVACIÓN. *Symperonic* [en línea]. GE-IIC, s. f. [consulta: 18/09/21]. Disponible en: <https://www.ge-iic.com/fichas-tecnicas/detergentes/symperonic>.
- GRUPO ESPAÑOL DE CONSERVACIÓN. *Teepol* [en línea]. GE-IIC, s. f. [consulta: 18/09/21]. Disponible en: <https://www.ge-iic.com/fichas-tecnicas/detergentes/teepol>.
- GRUPO ESPAÑOL DE CONSERVACIÓN. *Triton-X 100* [en línea]. GE-IIC, s. f. [consulta: 18/09/21]. Disponible en: <https://www.ge-iic.com/fichas-tecnicas/detergentes/triton-x-100>.
- GRUPO HAIYANG YINHAI ESPAÑA. *Gel de sílice con indicador de color naranja (WG-2)*. Gel de sílice [en línea], s. f. [consulta: 23/09/2121]. Disponible en: <https://bit.ly/3oSed55>.
- GUIDI, Alessandro. *I metodi della ricerca archeologica*. Bari (Italia): Laterza, 1999.
- HALL, Joseph S. *The Book of the Feet: A History of Boots and Shoes*. Nueva York (Estados Unidos): Willian H. Graham, 1847.
- HAMILTON, Donny L. *Methods of conserving archaeological material from underwater sites*. Texas (Estados Unidos): Texas A&M University, 1999.
- HARRIS, Edward C. *Principles of archaeological stratigraphy*. Londres (Reino Unido): Academic Press, 1989.
- HIJAZIN, Carlos Atalla Hidalgo; SIMÕES, Aline Tonial y SILVEIRA, Diogo Rhoden. Hidrólise ácida, alcalina e enzimática. *Revista Atitude*. 2010, vol. 4, n.º 7, pp. 89-94.
- HIRAM, H. Ackley, *4th mate died at sea Aug. 11, 1844. MS220 Log 252, Log of the ship Washington* [en línea]. Internet Archive, 1842 [consulta: 16/09/2021]. Disponible en: <https://archive.org/details/ms220log252/page/n1/mode/2up>.

- HOARE, Philip. *Leviatán o la ballena* (trad. Joan Eloi Roca). Barcelona: Ático de los Libros, 2010.
- HODDER, Ian y HUTSON, Scott. *Reading the past: current approaches to interpretation in archaeology*. 3.ª ed. Cambridge (Reino Unido): Cambridge University Press, 2003.
- HOLLIDAY, Vance T. *Soils in Archaeological Research*. Nueva York (Estados Unidos): Oxford University Press, 2004.
- Home. Melting History, ©2020 [consulta: 25/09/2021]. Disponible en: <https://meltinghistory.org>.
- HOSTACOR IT. *Corrosion inhibitor for metal working fluids* [en línea]. Clariant, 2013 [consulta: 23/09/2021]. Disponible en: <https://www.clariant.com/en/Solutions/Products/2013/12/09/18/28/Hostacor-IT>.
- IÁÑEZ, Enrique. *Agentes Físicos. Microbiología General* [en línea]. Universidad de Granada, actualizado el 09/05/2005 [consulta: 18/09/21]. Disponible en: https://www.ugr.es/~eianez/Microbiologia/13agfisicos.htm#_Toc59451638.
- IBÁÑEZ, Carmelo Fernández. La alteración del hierro por sales: ayer y hoy; problemas y soluciones. *Monte Buciero*. 2003, n.º 9, pp. 277-302.
- ICOM COMMITTEE FOR CONSERVATION. *15th Triennial Conference New Delhi, 22-26 Septiembre 2008, Preprints* [en línea]. 2 vols. [consulta: 25/01/2019]. Disponible en: <https://doi.org/10.4000/ceroart.1218>.
- INSECTA. *Insetos de solo* [en línea]. Insecta, s. f. [consulta: 18/09/21]. Disponible en: http://www.insecta.ufv.br/Entomologia/ent/disciplina/ban%20160/AULAT/aula15/inseto_SoloAquatico.html
- INSTITUTO DE CONSERVACIÓN DE BALLENAS. *Barba* [en línea]. Ballenas.org, 28/06/2018 [consulta: 20/09/2021]. Disponible en: <https://ballenas.org.ar/glossary/barba>.
- INSTITUTO VALENCIANO DE MICROBIOLOGÍA. *Microorganismos psicrófilos y psicrotrofos em alimentos y aguas. Cultivo cualitativo y cuantitativo; Identificación molecular (PCR y secuenciación)* [en línea]. Ivami.com, actualizado el 06/05/2018 [consulta: 18/09/21]. Disponible en: <https://bit.ly/3Dx3IO5>.
- INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ANTARCTICA TOUR OPERATORS. Home [en línea], s. f. [consulta: 16/09/2021]. Disponible en: <https://iaato.org/home>.
- ISHIDA, Kelly. EDISCIPLINAS USP. Universidade do Estado de São Paulo. Ecologia, Fisiologia e Metabolismo de Fungos, s. f. [consulta: 18/09/21]. Disponible en: <https://bit.ly/30jwH4q>.
- JACOB HOLM AND SONS. *Sontara®* [en línea]. Jacob Holm, s. f. [consulta: 21/09/2021]. Disponible en: <https://www.jacob-holm.com/emea/en-us/our-brands/sontara/>.
- JOHNSON, Jessica S. Soluble salts and deterioration of archaeological materials. *Conserve O Gram*. 1998, vol. 6, n.º 5, pp. 2-4.
- JOHNSON, A. B. Jr. y FRANCIS, B. *Durability of metals from archaeological objects, metal meteorites, and native metals* [informe técnico: PNL-3198. UC-70]. Battelle Pacific Northwest Labs., Richland (Estados Unidos), 1980.
- KAVKLER, Katja. A comparison of three commonly used treatments for waterlogged wood. *WOAM Newsletter*. 2020, n.º 59, pp. 7-11.
- KAYE, Barry. Conservation of waterlogged archaeological wood. *Chemical Society Reviews*. 1995, vol. 24, n.º 1, pp. 35-43.

- KAYSE, Dave y MURPHY, Emily (eds.). *Pickled fish and salted provisions*, vol. 11, n.º 2: *Oil and Bone: Salem's Whaling Industry* [número completo], 2010 [consulta: 24/05/2021]. Disponible en: <http://npshistory.com/publications/sama/newsletter/v11n2.pdf>.
- KHAN, Muhammad Kamran. *Plant Systematics, Anatomy & Development*. S. l.: Amazon [eBook Kindle], 2020.
- KOČÁRKOVÁ, Helena. *Stability of glass foams: experiments at the bubble scale and on vertical film* [tesis doctoral]. París (Francia): Université Paris Est, 2011.
- KOSTADINOVA, N.; KRUMOVA, E.; TOSI, S.; PASHOVA, S. y ANGELOVA, M. Isolation and identification of filamentous fungi from island Livingston, Antarctica. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*. 2009, vol. 23, n.º supl. 1, pp. 267-270.
- LABORATÓRIO DE CERÂMICA ARTÍSTICA À DISTÂNCIA. *Glossario Alfabético* [en línea]. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, s. f. [consulta: 17/09/2021]. Disponible en: <http://www.ufrgs.br/lacad/matprglossario.html>.
- LABORATORIO DE CORROSIÓN Y PROTECCIÓN DE CÁDIZ. *Seminario 2. Procesos Redox. Diagramas de predominancia, Latimer, Frost y Pourbaix* [en línea]. Cádiz: Universidad de Cádiz, s. f. [consulta: 10/10/2021]. Disponible en: https://www.ugr.es/~mota/QIA_SEMINARIO-2.pdf.
- LASTRAS PÉREZ, Montserrat. *Proyectos II Conservación y Restauración de escultura y arqueología. Conservación y Restauración de metales* [material didáctico]. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, 2013-2014.
- LASTRAS PÉREZ, Montserrat; MARTÍNEZ BAZÁN, María Luisa; MARTÍNEZ CABEZUELO, Esther y SIMÓN CORTÉS, José Manuel. Estudio de reintegrantes pictóricos aplicados en la restauración de azulejería expuesta al exterior. *Arché*. 2011, n.º 6, pp. 221-228.
- LAURA JERNEGAN: GIRL ON A WHALESHIP. The History of whaling [en línea]. Martha's Vineyard Museum, 2010 [consulta: 10/12/2014]. Disponible en: <http://www.girlonawhaleship.org>. [Collecting Payment cont].
- LEPP, Heino. *Two Major Groups. Classifying fungi into ascomycetes and basidiomycetes* [en línea]. Canberra (Australia): Australian National Botanic Gardens and Australian National Herbarium, actualizado el 22/06/2011 [consulta: 18/09/21]. Disponible en: <https://www.anbg.gov.au/fungi/ascomycetes-basidiomycetes.html>.
- LEVEAU, Pierre. Problèmes ontologiques de la conservation-restauration des biens culturels. *Conservation restauration des biens culturels*. 2009, n.º 27, pp. 3-20.
- LEYGRAF, Christofer; WALLINDER, Inger Odnevall; TIDBLAD, Johan y GRAEDEL, Thomas. *Atmospheric corrosion*. 2.º ed., Hoboken (Estados Unidos): John Wiley & Sons, 2016.
- LIBRARY OF CONGRESS. *Whaling industry links early 19th – Century Portuguese Settlements* [en línea]. S. f. [consulta: 27/11/2014]. Disponible en: <http://www.loc.gov/rr/hispanic/portam/industry.html>.
- LINCOLN, Yvonna S.; LYNHAM, Susan A. y GUBA, Egon G. Paradigmatic controversies, contradictions, and emerging confluences, revisited. *The Sage Handbook of Qualitative Research*. 2011, n.º 4, pp. 97-128.
- LOGAN, Judy. Identifying Archaeological Metal. *CCI Notes* [en línea]. 2007, vol. 4, n.º 1 [consulta: 10/10/2021]. Disponible en: <https://bit.ly/3iQbjdm>.
- LOGAN, Judy. N9/5 Tannic Acid Coating for Rusted Iron Artifacts, formerly published under the title Tannic Acid Treatment. *CCI Notes* [en línea]. 2013, vol. 9, n.º 5 [consulta: 10/10/2021].

- LONDON, Jack. *O Lobo do Mar*. S. l.: Amazon [eBook Kindle], 2011.
- LOREDO, Wanda M. *Manual de conservação em arqueologia de campo*. Río de Janeiro (Brasil): Instituto Brasileiro do Patrimônio Cultural, 1994.
- LORENZO MORA, Francisca y CARRASCOSA MOLINER, Begoña. Influencia de los aditivos orgánicos naturales en la resistencia a la cristalización de sales en morteros tradicionales de cal con distinto árido. Análisis del caso: sitio arqueológico La Blanca, Petén, Guatemala. *Devenir-Revista de estudios sobre patrimonio edificado*. 2019, vol. 6, n.º 12, pp. 11-26.
- LUDLEY, Katherine E. y ROBINSON, Clare H. 'Decomposer' basidiomycota in Arctic and Antarctic ecosystems. *Soil Biology and Biochemistry*. 2008, vol. 40, n.º 1, pp. 11-29.
- MAQUEDA, Marjorie; PROUST, Clotilde y TOUZEAU, Julie. La conservation-restauration au cœur de la problématique archéologique. *Les nouvelles de l'archéologie*. 2020, n.º 162, pp. 8-11.
- MASSCHELEIN-KLEINER, Liliane. *Les solvantes*. Santiago de Chile (Chile): Centro Nacional de Conservación y Restauración, 2004.
- MAUSS, Marcel. *Sociologia e Antropologia*. São Paulo (Brasil): Cosac Naify, 2003.
- McCULLOCH, John Ramsay. *Dictionary, practical, theoretical, and historical, of commerce and commercial navigation*. Londres (Reino Unido): Longman, Rees, Orme, Brown, Green, and Longman, 1835 [consulta: 04/12/2014]. Disponible en: http://americanhistory.si.edu/onthewater/exhibition/3_7.html.
- McIVOR, Ewan; HUGHES, Kevin A.; ORTÚZAR, Patricia; PENHALE, Polly y TERAUDS, Aleks. *Zonas especialmente protegidas y gestionadas de la Antártida* [en línea]. Antarctic Environments Portal, 06/04/2014 [consulta 16/09/2021]. Disponible en: <https://bit.ly/3FCHFz>.
- MENEGAZZO, Maira Amanda Benedet. *Estudo do tingimento de lã com corante natural de camomila (matricaria recutita l.)* [trabajo fin de máster]. Maringá (Brasil): Universidade Estadual de Maringá, 2014.
- MENNUCCI, Marina Martins. *Estudo da corrosão do cobre em meios de sulfato e de cloreto com auxílio do microeletrodo com cavidade e de uma microcélula* [tesis doctoral]. París (Francia): Université Pierre et Marie Curie-Paris, 2011.
- METEOBLUE. *Mapa de Clima modelado. Velocidad del viento en Meteoblue* [en línea]. S. f. [consulta: 19/09/2021]. Disponible en: <https://bit.ly/2YLJax6>.
- MICHALSKI, Stefan y ROSSI-DORIA, Mateo. Using decision diagrams to explore, document, and teach treatment decisions, with an example of their application to a difficult painting consolidation treatment. En: *ICOM Committee for Conservation, ICOM-CC, 16th Triennial Conference, Lisbon, 19-23 September 2011*. Almada: Critério, 2011, pp. 1-8.
- MICHEL, Amanda. Skin deep: an outline of the structure of different skins and how it influences behaviour in use. *Why leather, The material and cultural dimensions of leather*. En: S. HARRIS y A. J. VELDMEIJER, eds. *Why Leather?* Leiden (Países Bajos): Sidestone Press, 2014, pp. 23-40.
- MIRAMBELL, Lorena y SÁNCHEZ MARTÍNEZ, Fernando. *Materiales arqueológicos de origen orgánico: textiles*. México DF (México): Instituto Nacional de Antropología e Historia, 1986.

- MORAIS EZQUERRO, Sergi Beñat; NOGUERA MURRAY, Patricia Silvestre; TORTAJADA GENARO, Luis Antonio; ATIENZA BORONAT, María Julia y HERRERO VILLEM, María Asunción. *Propiedades ácido-base de las sales* [artículo docente]. Valencia: Universitat Politècnica de València, 2015.
- MOURA, Pedro Adnet. *Solos Criogênicos da Porção Norte da Península Byers, Ilha Livingston* [trabajo fin de máster]. Río de Janeiro (Brasil): Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2010.
- MUÑOZ PORTERO, María José. *Características y usos de los diagramas de Pourbaix* [recurso didáctico en línea]. Valencia: Universitat Politècnica de València, 2011 [consulta: 20/09/2021]. Disponible en: <https://bit.ly/3v6huic>.
- MUÑOZ VIÑAS, Salvador. *Teoría contemporánea de la restauración*. Madrid: Síntesis, 2003.
- MUÑOZ VIÑAS, Salvador. Imperfect Conservation. *E-Conservation Journal*. 2014, n.º 2, p. 5.
- MUÑOZ VIÑAS, Salvador. *Pride and Prejudice and Patina* [vídeo]. Nueva York: Institute of Fine Arts, 09/02/2015 [consulta: 17/09/2021]. Disponible en: <https://vimeo.com/119253627>.
- MUSTOE, George y ACOSTA, Marisa. Origin of petrified wood color. *Geosciences*. 2016, vol. 6, n.º 2, artículo 25.
- MYCOANTAR. *Liquenosfera: um microambiente protegido que abriga hongos nos ambientes extremos da Antártica* [en línea]. Mycoprojector, 2015 [consulta: 19/09/2021]. Disponible en: <https://bit.ly/3DC1qrU>.
- NAVARRO, Douglas Boniek Silva. *Bioprospecção de estirpes bacterianas com capacidade de dessulfurização em amostras de solo e sedimentos do Continente Antártico* [trabajo fin de máster]. Ouro Preto (Brasil): Universidade Federal de Ouro Preto, 2010.
- NEWTON, Charlotte y COOK, Clifford. *Caring for archaeological collections* [en línea]. Ottawa (Canadá): Canadian Conservation Institute, 2018 [consulta: 24/05/2021]. Disponible en: <https://bit.ly/3lyuwCd>.
- NICOSIA, Cristiano y STOOPS, Georges (eds.). *Archaeological soil and sediment micromorphology*. Hoboken (Estados Unidos): John Wiley & Sons, 2017.
- NÚCLEO DE ESTUDOS DA VEGETAÇÃO ANTÁRTICA. *Flora Antártica* [en línea]. Bagé (Brasil): Universidade Federal do Pampa. S. f. [consulta: 04/12/2019]. Disponible en: <https://sites.unipampa.edu.br/neva/flora-antartica>.
- PEACOCK, Elizabeth E. Freeze-drying archaeological textiles: the need for basic research. En: S. A. O'CONNOR y M. M. BROOKS, eds. *Archaeological textiles*. Londres (Reino Unido): UKIC, 1990, pp. 22-30.
- PEACOCK, Elizabeth E. Drying archaeological textiles. En: M. BROOKS y D. EASTOP, eds. *Changing Views of Textile Conservation*. Los Ángeles (Estados Unidos): Getty Conservation Institute, 2011, pp. 359-369.
- PEACOCK, Elizabeth E. Investigation of Conservation Methods from a Textile Recovered From the American Civil War Submarine *HL Hunley* (1864). En: P. HOFFMANN, K. STRAETKVERN, J. A. SPRIGGS y D. GREGORY, eds. *Proceedings of the Ninth ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials*. Bremerhaven (Alemania): Verlag H. M.; Hauschild for the International Council of Museums; Committee for Conservation Working Group on Wet Organic Archaeological Materials, 2005, pp. 497-509.
- PEARSON, Michael. Conservation challenges in the South Shetland Islands, Antarctica [ponencia en congreso en línea]. En: *Australia ICOMOS Extreme Heritage Conference*,

- Camberra, 2007 [consulta: 16/09/2021]. Disponible en: <https://www.aicomos.com/wp-content/uploads/michaelpearsonpolarheritagepaper.pdf>.
- PEARSON, Michael. 19th-century sealing vessels in the Southern oceans: An introduction to their history, wrecks and archaeological potential. *Australasian Journal of Maritime Archaeology*. 2018, n.º 42, artículo 25.
- PES, Luciano Zucuni y ARENHARDT, Marlon Hilgert. *Solos*. Santa Maria (Brasil): Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria, 2015.
- PHILBRICK, Nathaniel. *A vingança da Baleia* (trad. Rubens Figueiredo). São Paulo (Brasil): Companhia das Letras, 2003.
- PORTO TENREIRO, Yolanda. *Medidas urgentes de conservación en intervenciones arqueológicas*. Santiago de Compostela (España): Universidad de Santiago de Compostela, 2000.
- PROUST, Clotilde. *Intervention du conservateur-restaurateur sur une fouille préventive* [en línea]. En: *Actes des XXIIIèmes Journées des restaurateurs en archéologie, novembre 2007* [consulta: 21/09/2021]. Disponible en: http://www.art-conservation.fr/colloques/2007/04_PROUST.pdf.
- QUIMIDROL. *Absorbedores de oxígeno* [en línea]. Quimidrol, s. f. [consulta: 23/09/2121]. Disponible en: https://www.quimidrol.com.br/media/blfa_files/Absorvedor_de_Oxigenio_1.pdf.
- PUTZKE, Jair y PEREIRA, Antonio Batista: Fungos muscícolas na ilha elefante-Antártica. *Caderno de Pesquisa*. 2012, vol. 24, n.º 1, pp. 155-164.
- REMAZEILLES, Céline; LEVEQUE, Françoise; MINJACQ, Maylis; REFAIT, Phillippe; SÁNCHEZ, Corinne y JÉZÉGOU, Marie Pierre. Characterisation of iron (II) sulfides in wet archaeological woods: the wreck of Mandirac (IV th century, antique ports of Narbonne, France). En: E. WILLIAMS y E. HOCKER, eds. *Proceedings of the 13th ICOM-CC Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference, Florence 2016*. París (Francia): International Council of Museums, 2018.
- RENFREW, Colin y BAHN, Paul. *Archeology. Theories Methods and Practice*. 3.ª ed. Londres: Thames and Hudson, 2000.
- RENFREW, Colin y BAHN, Paul. *Arqueología: Teorías, Métodos y Prácticas*. 2.ª ed. Madrid: Akal, 2011.
- RICK, Torben C. y FITZPATRICK, Scott M. Archaeology and coastal conservation. *Journal of Coastal Conservation*. 2012, vol. 16, n.º 2, pp. 135-136.
- RODGERS, Bradley A. *The archaeologist's manual for conservation: a guide to non-toxic, minimal intervention artifact stabilization*. Nueva York (Estados Unidos): Springer, 2004.
- RUBIO REDONDO, Maria. Is minimal intervention a valid guiding principle? *E_conservation*. 2008, n.º 5, pp. 33-37.
- SALAZAR-JIMÉNEZ, José Alberto. Introducción al fenómeno de corrosión: tipos, factores que influyen y control para la protección de materiales. *Revista Tecnología en Marcha*. 2015, vol. 28, n.º 3, pp. 127-136.
- SALERNO, Melisa Anabella. *Arqueología de la Indumentaria: Prácticas e Identidad en los Confines del Mundo Moderno (Antártida, siglo XIX)*. Buenos Aires (Argentina): Del Tridente, 2006.
- SALERNO, Melisa Anabella. Identidades extremas: moda, vestido e identidad en los confines de la sociedad moderna (Antártida, siglo XIX). *Arqueología*. 2007, n.º 13, pp. 185-211.

- SALERNO, Melisa Anabella. *Persona y cuerpo-vestido en la modernidad: un enfoque arqueológico* [tesis doctoral]. Buenos Aires (Argentina): Universidad de Buenos Aires, 2011.
- SALERNO, Melisa Anabella; SENATORE, Maria Ximena y ZARANKIN, Andrés. Historias bajo cero. Arqueología de las primeras ocupaciones humanas en Antártida. En: L. A. BORRERO y N. V. FRANCO, comps. *Arqueología del Extremo Sur del Continente Americano. Resultados de nuevos proyectos*. Buenos Aires (Argentina): Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, 2008, pp. 117-130.
- SALINAS FLORES, Yuber Omar. *Bases teóricas para la descripción del suelo de la parcela*. Otuzco (Perú): El Puquio, 2018.
- SANDSTRÖM, Magnus; FORS, Yvonne; JALILEHVAND, Farideh; DAMIAN, Emiliana y GELIUS, Ulrik. Analyses of sulfur and iron in marine-archaeological wood. En: P. HOFFMANN, K. STRAETKVERN, J. A. SPRIGGS y D. GREGORY, eds. *Proceedings of the Ninth ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials*. Bremerhaven (Alemania): Verlag H. M.; Hauschild for the International Council of Museums; Committee for Conservation Working Group on Wet Organic Archaeological Materials, 2005, pp. 181-199.
- SANTABÁRBARA MORERA, Carlota. Difusión y repercusión de la teoría de la restauración de Cesare Brandi. *Cuadernos de arte de la Universidad de Granada*. 2018, vol. 49, pp. 285-303.
- SANTA CRUZ, Miguel San Claudio y GALLERO, Raúl González. *Arqueología subacuática en el Parque Nacional Marítimo Terrestre de las Islas Atlánticas de Galicia*. Madrid: Ministerio para la Transición Ecológica; Organismo Autónomo Parques Nacionales, 2011.
- SCHIFFER, Michael Brian. Archaeological context and systemic context. *American Antiquity*. 1972, vol. 37, n.º 2, pp. 156-165.
- SCHIFFER, Michael Brian. *Cultural formation processes of the archaeological record: applications at the Joint Site, east-central Arizona*. Tuson (Estados Unidos): The University of Arizona, 1973.
- SCHIFFER, Michael Brian. Toward the identification of formation processes. *American Antiquity*. 1983, vol. 48, n.º 4, pp. 675-706.
- SCHOENUNG, Julie M. Lead Compounds. En: J. F. SHACKELFORD y R. H. DOREMUS, eds. *Ceramic and glass materials: structure, properties and processing*. Boston: Springer, 2008, pp. 151-168.
- SCOTT POLAR RESEARCH INSTITUTE. Home. University of Cambridge, s. f. [consulta: 16/09/2021]. Disponible en: <https://www.spri.cam.ac.uk>
- SEASE, Catherine. *Conservation Manual for the field archaeologist*, vol. 4, *Archaeological Research Tools*. Los Ángeles (Estados Unidos): University of California, 1987.
- SECRETARÍA DEL TRATADO ANTÁRTICO. *Tratado Antártico*. Washington DF (Estados Unidos), 1959, artículo 3.º [en línea] [consulta: 16/09/2021]. Disponible en: https://documents.ats.aq/keydocs/vol_1/vol1_2_AT_Antarctic_Treaty_s.pdf.
- SECRETARÍA DEL TRATADO ANTÁRTICO. Recommendation ATCM VII-9, Wellington, 1972 [en línea] [consulta: 16/09/2021]. Disponible en: <https://bit.ly/2YMeWKC>.
- SECRETARÍA DEL TRATADO ANTÁRTICO. *Guidelines for the designation and protection of HSM*. Appendix to Resolution 3, 2009 [en línea] [consulta: 16/09/2021]. Disponible en: https://documents.ats.aq/cep/Guidelines_HSM_V2_2009_e.pdf.

- SECRETARÍA DEL TRATADO ANTÁRTICO. *Status of Antarctic Specially Protected Area and Antarctic Specially Managed Area Management Plans* [en línea], 2014 [consulta: 16/09/2021]. Disponible en: https://documents.ats.aq/ATCM37/WW/atcm37_ww002_e.pdf.
- SECRETARÍA DEL TRATADO ANTÁRTICO. *Plan de gestión para la zona antártica especialmente protegida n.º 126: Península Byers, Isla Livingston, Islas Shetland del Sur* [en línea], 2016 [consulta: 16/09/2021]. Disponible en: https://documents.ats.aq/recatt/att185_s.pdf.
- SECRETARÍA DEL TRATADO ANTÁRTICO. *Lista de Sitios y Monumentos Históricos revisada* [en línea], 2016 [consulta: 16/09/2021]. Disponible en: https://documents.ats.aq/recatt/att596_s.pdf.
- SELWYN, Lyndsie S.; SIROIS, P. I. y ARGYROPOULOS, Vasilike. The corrosion of excavated archaeological iron with details on weeping and akageneite. *Studies in Conservation*. 1999, vol. 44, n.º 4, pp. 217-232.
- SENATORE, María Ximena. Antarctic Historical Sealing Industry and Material Culture. In: *Historical Antarctic Sealing Industry*. Headland, R. (Ed). Scott Polar Research Institute, Occasional Publication, pp. 61-71. Cambridge University, Cambridge. 2018.
- SENATORE, María Ximena y ZARANKIN, Andrés. Arqueología histórica y expansión capitalista. Prácticas cotidianas y grupos operarios en Península Byers, Isla Livingston, Shetland del Sur. En: F. A. ACUTO y A. ZARANKIN, eds. *Sed Non Satiata: teoría social en la arqueología latinoamericana contemporánea*. Buenos Aires (Argentina): Del Tridente, 1999, pp. 171-188.
- SIERRA MÉNDEZ, Juan Luis. La conservación de la madera en arqueología subacuática: Museo y Centro Nacional de Investigación Arqueológicas Submarinas. *Monte Buciero*. 2003, n.º 9, pp. 225-266.
- SIMMONS, Breana L.; WALL, Diana H.; ADAMS, Byron J.; AYRES, E.; BARRETT, J. E. y VIRGINIA, R. A. Long-term experimental warming reduces soil nematode populations in the McMurdo Dry Valleys, Antarctica. *Soil Biology and Biochemistry*. 2009, vol. 41, n.º 10, pp. 2052-2060.
- SIQUEIRA, André. *Histórias embriagadas: uma análise diferenciada sobre garrafas de sítios foqueiros na Antártica nos séculos XVIII e XIX* [trabajo fin de grado]. Belo Horizonte (Brasil): Universidade General de Minas Gerais, 2014.
- SLICA GEL-DESECANTES INDUSTRIALES DEL NORTE. *Gel de Sílice con Indicador de color Naranja* [en línea]. S. f. [consulta: 23/09/2021]. Disponible en: https://silicagel.com.mx/gel_de_silice_indicador_saturacion_naranja.aspx.
- SMOLE, M. Sfiligoj; HRIBERNIK, S.; KLEINSCHEK, Karin Stana y KREŽE, Tatjana. Plant fibres for textile and technical applications. En: S. GRUNDAS y A. STEPNIIEWSKI, eds. *Advances in agrophysical research*. Londres: InTech, 2013, pp. 369-398.
- STACKPOLE, Edouard A. *The voyages of the Huron and the Huntress: the American sealers and the discovery of the continent of Antarctica*. Connecticut (Estados Unidos): Marine Historical Society, 1955.
- STAROPOLI, Laura. Síntesis sobre el análisis de microvestigios en arqueología. *La zaranda de ideas*. 2013, vol. 9, n.º 2, pp. 139-144.
- STONE, Tom. Care of Ivory, Bone, Horn, and Antler. *CCI Notes* [en línea]. 2010, vol. 6, n.º 1 [consulta: 10/10/2021]. Disponible en: <https://bit.ly/3mLXcqu>.

- STRANG, Thomas J. K. y DAWSON, John E. *Controlling museum fungal problems. Le contrôle des moisissures dans les musées*. Ottawa (Canadá): Canadian Conservation Institute, 1991.
- THE INTERNATIONAL POLAR HERITAGE COMMITTEE. *Home* [en línea]. S. f. [consulta: 16/09/2021]. Disponible en: <http://iphc.icomos.org>.
- THOMAS, Joseph D.; SAULNIERS, Alfred H.; MCCABE, Marsha L.; WHITE, Natalie A. y AVILA, Jay. *A Picture History of New Bedford, 1602-1925*, vol. 1. New Bedford (Estados Unidos): Spinner, 2013.
- THOMSON, Roy y KITE, Marion (eds.). *Conservation of Leather and Related Materials*. Londres (Reino Unido): Routledge, 2011.
- TÍMÁR-BALÁZSY, Ágnes y EASTOP, Dinah. *Chemical principles of textile conservation. Part 2, Ceaning*. Londres: Routledge, 1998.
- TRUEMAN, Clive N. y MARTILL, David Michael. The long-term survival of bone: the role of bioerosion. *Archaeometry*. 2002, vol. 44, n.º 3, pp. 371-382.
- UK ANTARCTIC HERITAGE TRUST. *Home* [en línea]. S. f. [consulta: 16/09/2021]. Disponible en: <http://www.ukaht.org>.
- URBONAITĖ-UBĖ, Miglė. Stoneware from the 14th to the 17th centuries found in archaeological excavations in Vilnius. *Archaeologia Baltica*. 2018, vol. 25, pp. 191-202.
- URŽI, Clara y KRUMBEIN, Wolfgang E. Microbiological impacts on the cultural heritage. En: W. E. KRUMBEIN, P. BRIMBLECOMBE, D. E. COSGROVE y S. STANFORTH, eds. *Durability and change: The science, responsibility, and cost of sustaining cultural heritage*. Nueva York (Estados Unidos): John Wiley and Sons, 1994, pp. 107-135.
- VASS, Arpad A. Y en polvo nos convertiremos. *Investigación y Ciencia*. 2010, n.º 410, pp. 44-47.
- VELÁZQUEZ, D., JUNGBLUT, A. D., ROCHERA, C., RICO, E., CAMACHO, A., & QUESADA, A. (2017). Trophic interactions in microbial mats on Byers Peninsula, maritime Antarctica. *Polar Biology*, 40(5), 1115-1126.
- VENEGAS, Patricia N. Olvera y HERNÁNDEZ CRUZ, Leticia E. El Caolín y sus aplicaciones industriales. *PÁDI Boletín Científico Ciencias Básicas e Ing. del ICBI* [en línea]. 2014, vol. 1, n.º 2. Doi: <https://doi.org/10.29057/icbi.v1i2.503>.
- VILLAGRAN, Ximena S.; SCHAEFER, Carlos E. G. R. y LIGOUIS, Bertrand. Living in the cold: Geoarchaeology of sealing sites from Byers Peninsula (Livingston Island, Antarctica). *Quaternary International*. 2013, vol. 315, n.º 27, pp. 184-199.
- WAISMAN, Marina (dir.). *El patrimonio modesto*. Bogotá (Colombia): Cuadernos Escala, 1992.
- WALLER, Robert. *Preventive conservation planning for large and diverse collections* [en línea]. Preservation of Collections: Assessment, Evaluation, and Mitigation Strategies, Preprints of the June 10-11, 1996 workshop, American Institute for Conservation, Washington, pp. 1-9 [consulta: 10/10/2021]. Disponible en: <https://www.museum-sos.org/docs/WallerAIC1996.pdf>.
- WATKINSON, David; RIMMER, Melanie B. y KERGOURLAY, Florian. Alkaline desalination techniques for archaeological iron. En: P. DILLMANN, D. WATKINSON, E. ANGELINI y A. ADRIAENS, eds. *Corrosion and conservation of cultural heritage metallic artefacts*. Sawston (Reino Unido): Woodhead Publishing, 2013, pp. 407-433.

- WAYNE SMITH, Chris. *Archaeological Conservation Using Polymers: Practical Applications for Organic Artifact Stabilization*. College Station (Estados Unidos): Texas A&M University Anthropology, 2003 [eBook Kindle].
- WERZ, Bruno E. J. S. y SEEMANN, Ute A. Organic materials from wet archaeological sites: the conservation of waterlogged wood. *The South African Archaeological Bulletin*. 1993, vol. 48, pp. 37-41.
- WEYER, Angela; ROIG PICAZO, Pilar; POP, Daniel; CASSAR, Joann; ÖZKÖSE, Aysun; VALLET, Jean-Marc y SRŠA, Ivan. *EwaGlos-European illustrated glossary of conservation terms for wall paintings and architectural surfaces*. Petersberg (Alemania): Michael Imhof Verlag, 2015.
- WHITRIDGE, Peter. The prehistory of Inuit and Yupik whale use. *Revista de arqueología americana*. 1999, n.º 16, pp. 99-154.
- WIRILANDER, Heidi. Preventive conservation: A key method to ensure cultural heritage's authenticity and integrity in preservation process. *E-conservation Magazine*. 2012, vol. 6, n.º 24, pp. 33-44.
- ZAMBRANO, Luis Carlos. Estabilización del cuero húmedo mediante impregnación con polisiloxanos. Plastinación de un zapato militar del navío Fougueux, Cádiz, siglo XIX. En: F. X. NIETO PRIETO y M. BETHENCOURT NÚÑEZ, coords. *Arqueología subacuática española: Actas del I Congreso de Arqueología Náutica y Subacuática Española, Cartagena, 14, 15 y 16 de marzo de 2013*. Cádiz: Editorial UCA, 2014, pp. 403-412.
- ZARANKIN, Andrés; HISSA, Sarah; SALERNO, Melisa Anabella; FRONER, Yacy-Ara; DE ALKMIM RADICCHI, Gerusa; DE ASSIS, Luis Guilherme Resende y BATISTA, Anderson. Paisagens em branco: arqueologia e antropologia antárticas-avanços e desafios. *Vestígios*. 2011, vol. 5, n.º 2, pp. 11-51.
- ZARANKIN, Andrés y SENATORE, María Ximena. Hasta el fin del mundo; Arqueología Antártica. *Præhistoria*. 2000, vol. 3, pp. 219-236.
- ZARANKIN, Andrés y SENATORE, María Ximena. Archaeology in Antarctica, 19th Century Capitalism Expansion Strategies. *International Journal of Historical Archaeology*. 2005, vol. 9, n.º 1, pp. 43-56.
- ZARANKIN, Andrés y SENATORE, María Ximena. *Historias de un pasado en blanco: Arqueología Histórica Antártica*. Belo Horizonte (Brasil): Argumentum, 2007.
- ZARANKIN, Andrés; SENATORE, María Ximena y SALERNO, Melisa Anabella. Tierra de nadie: Arqueología, lugar y paisaje en Antártida. *Revista chilena de Antropología*. 2011, vol. 24, n.º 2, pp. 147-171.
- ZUPAN DE SALDÍAS, Vladimira. *Manual de conservación preventiva de material arqueológico in situ*. Lima (Perú): Instituto Nacional de Cultura; Centro Nacional de Información Cultural, 2005.



Índice de tablas

Índice de tablas

Tabla 1. Granulometría según distintos sistemas de clasificación	49
Tabla 2. Preservación en ambientes alagados de acuerdo con el pH	52
Tabla 3. Porcentaje aproximado de preservación de materiales en yacimientos secos y mojados	82
Tabla 4. Degradación posexcavación	85
Tabla 5. Productos de la corrosión del hierro arqueológico	111
Tabla 6. Productos de la corrosión del cobre arqueológico	116
Tabla 7. Productos de la corrosión del plomo arqueológico	119
Tabla 8. Objetivos y tipologías de análisis fisicoquímicos	145
Tabla 9. Consolidantes en arqueología	147
Tabla 10. Clasificación de los solventes por Masschelein-kleiner de acuerdo con el poder de penetración-retención	150
Tabla 11. Materiales y pH de acondicionamiento	163
Tabla 12. Biocidas utilizados en conservación en arqueología	175
Tabla 13. Ventajas y desventajas de lavar materiales orgánicos en campo	178
Tabla 14. Clasificación de la suciedad	179
Tabla 15. Principales agentes de limpieza química recomendados en la bibliografía	182
Tabla 16. Conductividad de sales en agua	186
Tabla 17. Resultados de la consolidación de madera arqueológica (KAVKLER, 2020)	192
Tabla 18. Excavación en Cerro Sealer 1, 2017	228
Tabla 19. Excavación en cueva Lima Lima, 2018	232
Tabla 20. Métodos de consolidación	243
Tabla 21. Métodos de extracción especial	248
Tabla 22. Métodos de pasivación de metales	255
Tabla 23. Métodos de acondicionamiento húmedo	257
Tabla 24. Métodos de acondicionamiento seco	262
Tabla 25. Métodos de protección contra impactos	268
Tabla 26. Cajas producidas por año de excavación	270
Tabla 27. Síntesis del trabajo de excavación y de colectas producidas	297
Tabla 28. Resultados de los test de conservación en campo entre 2017 y 2019	300



Índice de figuras

Índice de figuras

Figura 1. Península Byers	11
Figura 2. Sitio Punta Elefante 2, isla Livingston	12
Figura 3. Persecución de ballenas representada en el logbook del buque Washington mantenido por James G. Coffin (1842-1844)	14
Figura 4. Colección del LEACH	19
Figura 5. Mapa topográfico de la península Byers	23
Figura 6. Matriz de Harris y discontinuidad de las capas arqueológicas (capa A)	46
Figura 7. Clima en las islas Shetland del Sur	61
Figura 8. Geomorfología de Byers.	63
Figura 9. Esteras de briófitas en Livingston	64
Figura 10. Pingüinos papúa en Livingston	66
Figura 11. Elefantes marinos (izq.) y lobos marinos (der.) en Livingston	67
Figura 12. Proporción de materiales en la colección del LEACH hasta 2014	75
Figura 13. Campamento lobero-ballenero del siglo XIX	77
Figura 14. Fogón principal, yacimiento Punta Elefante 2, Livingston	78
Figura 15. Representación de tipos de materiales naturales preservados de acuerdo con las condiciones ambientales	83
Figura 16. Degradación de material orgánico en el secado	89
Figura 17. Piel de ganado (ampliación de 25x)	94
Figura 18. Piel de oveja (ampliación de 25x)	95
Figura 19. Piel de cerdo (ampliación de 25x)	95
Figura 20. A: tafetán; B: sarga; C: malla	100
Figura 21. Cortes de la madera y su apariencia	101
Figura 22. Representación de una célula electroquímica	105
Figura 23. Diagrama de Pourbaix para el oro, cobre, plomo y hierro	106
Figura 24. Fragilidad de artefactos con clavos	110
Figura 25. Concreción en el hierro arqueológico	112
Figura 26. Presencia de cloruros en hierro arqueológico (20x)	114
Figura 27. Degradación de aleación del cobre	117
Figura 28. Enfermedad del bronce	118
Figura 29. Daños hechos por la salida de la sal	122
Figura 30. Uso de láser scanner, Byers, 2017	140
Figura 31. Uso de Estación Total, Punta Elefante, 2014	140
Figura 32. Fotografía de hallazgos <i>in situ</i> , Byers, 2011	141
Figura 33. Numeración de hallazgo, yacimiento PX-1, 2014	142
Figura 34. Cuaderno de campo	142
Figura 35. Uso de cuaderno de campo electrónico, Punta Elefante, 2014	143
Figura 36. Daño generado por el uso de adhesivo fuerte inadecuadamente	154
Figura 37. <i>Set up</i> para reconstrucción de objetos	155
Figura 38. Protección con film de polietileno	157
Figura 39. Uso de soporte rígido	157
Figura 40. Backing	158
Figura 41. <i>Block lifting</i>	159
Figura 42. <i>Block lifting</i> con aplicación de sustancia de relleno	159
Figura 43. Aplicación de atadura (<i>bandaging</i>)	160
Figura 44. Sobre hecho de Marvelseal 360®, 2017	164

Figura 45. Sobre de tul en vestigio de cuero, UPV, 2018	166
Figura 46. Termohigrómetro con registro <i>datalogger</i> , 2014	166
Figura 47. GHS, <i>hazard symbols</i> y ASTM, <i>packaging symbols</i>	167
Figura 48. Embalaje con OxySorb (izq.) y gel de sílice (der.), Livingston, 2018	172
Figura 49. Abrasión por bisturí y lupa, UPV, 2016	180
Figura 50. Limpieza con alcohol e hisopo, UPV, 2016	184
Figura 51. Baño de desalinización de madera marina, ICUA, 2020	187
Figura 52. Baño estático de hallazgos arqueológicos	187
Figura 53. Resultados de la salida del agua de la madera bajo o no tratamientos de control del secado	191
Figura 54. Remodelación de pieza de calzado, laboratorio de campo, 2019	193
Figura 55. Problemas de exudación de PEG, 2018	195
Figura 56. Mapa de daños e identificación de productos de corrosión.	197
Figura 57. Radiografía de artefacto metálico del LEACH, Lacicor-UFMG, 2017	197
Figura 58. Aplicación de ácido tánico, 2017, LEACH	203
Figura 59. Aplicación de ácido tánico: antes/después, LEACH, 2017	204
Figura 60. Limpieza electrolítica de un metal corroído	206
Figura 61. Yacimientos loberos-balleneros identificados en las islas Shetland del Sur en 2021	213
Figura 62. Equipo en el barco desde el NApOc Almirante Maximiano, 2017	215
Figura 63. Bote de transporte para Byers, 2017	216
Figura 64. Llegada de cajas con helicóptero, Byers, 2018	216
Figura 65. Montaje del campamento, Punta Elefante, 2014	217
Figura 66. Cargamento de material excavado, final del campo, Byers, 2017	218
Figura 67. Estructura del campamento, Punta Elefante, 2014	219
Figura 68. Laboratorio de campo, Byers, 2017	219
Figura 69. Revisión de los objetivos en campo, Byers, 2017	220
Figura 70. Caminata de regreso después de un día de trabajo, Byers, 2018	221
Figura 71. Arqueólogas llevando equipamiento de excavación, Byers, 2018	221
Figura 72. Relajación y amistad, Punta Elefante, 2014	222
Figura 73. Limpieza de suelo para la excavación, Punta Elefante, 2014	223
Figura 74. Grabación fotográfica <i>in situ</i> , yacimiento en Byers, 2014	224
Figura 75. Numeración de campo, Livingston, 2014	224
Figura 76. Celebraciones entre los tres proyectos en campo, Byers, 2018	226
Figura 77. Laboratorio del navío NApOc Almirante Maximiano, 2017	229
Figura 78. Complejidad de la disposición de los hallazgos, Lima Lima, 2019	234
Figura 79. Fragmentos de hueso en un pequeño espacio, Lima Lima, 2019	234
Figura 80. Gran cantidad de fragmentos y materiales en un único punto de colecta, LEACH, 2019	235
Figura 81. Bolsas Ziploc preparadas con espumas de polietileno, Byers, 2018	235
Figura 82. Demarcación de retirada de suelo (izq.) y fricción del algodón para muestra biológica (der.), Lima Lima, 2018	237
Figura 83. Colecta de suelo, cueva Lima Lima, 2019	240
Figura 84. Plantilla de diagnóstico en campo	241
Figura 85. Parte 4: diagnóstico	242
Figura 86. Parte 5: acciones de conservación	242
Figura 87. Mapa de daños, laboratorio de campo, 2018	243
Figura 88. Consolidación de huesos mojados <i>in situ</i> con Mowilith® 60 al agua, cerro Sealer 1, 2017	245

Figura 89. Consolidación de huesos con Mowilith® 60 en agua, laboratorio de campo, 2018	245
Figura 90. Madera seca adherida con Paraloid® B-72 en acetona, laboratorio de campo, 2018	245
Figura 91. Textil consolidado con Mowilith® 60, LEACH, 2017	245
Figura 92. Hierro consolidado <i>in situ</i> con gasa y Paraloid® B-72, cerro Sealer 1, 2017	246
Figura 93. Hierro consolidado <i>in situ</i> con gasa y Paraloid® B-72, Lima Lima, 2019	246
Figura 94. Ladrillo consolidado <i>in situ</i> con gasa y Paraloid® B-72, Lima Lima, 2019	246
Figura 95. Perfil del suelo (piedras y arena), excavación de Lima Lima, 2019	247
Figura 96. Placa de aluminio para test de retirada en bloque, cerro Sealer 1, 2017	249
Figura 97. Caja de retirada en bloque cerrada, LEACH, 2017	249
Figura 98. Pequeñas retiradas con cajas plásticas, cerro Sealer 1, 2017	250
Figura 99. Retirada con soporte de bandeja, cerro Sealer 1, 2017	250
Figura 100. Vértebra de ballena con protección de film de polietileno, Lima Lima, 2018	250
Figura 101. Textil para ser extraído, Lima Lima, 2019	251
Figura 102. Aplicación del polietileno en la cara expuesta del textil, Lima Lima, 2019	251
Figura 103. Retirada y giro del textil, Lima Lima, 2019	251
Figura 104. Embalaje final del textil, Lima Lima, 2019	252
Figura 105. Herramientas de limpieza, campo, 2017 y 2018	253
Figura 106. Test de acidez con cintas de pH, laboratorio de campo, 2018	253
Figura 107. Hidrofobia de tejido (materia grasosa)	254
Figura 108. Impregnación de tierra en tejido (10x), 2016	254
Figura 109. Profundidad del daño y suciedad en tejido (40x), 2016	254
Figura 110. Inmersión de botón de bronce en baño secante, laboratorio de campo, 2019	256
Figura 111. Hierro en inmersión para traslado, laboratorio de campo, 2018	256
Figura 112. Aplicación del espray de agua destilada textil <i>in situ</i> , cerro Sealer 1, 2017	259
Figura 113. Protección de objeto orgánico con film de polietileno, laboratorio del navío Almirante Maximiano, 2017	259
Figura 114. Sobre de Sontara® humidificado, laboratorio del navío Almirante Maximiano, 2017	259
Figura 115. Marvelseal® 360 sellado, laboratorio del navío Almirante Maximiano, 2017	260
Figura 116. Sobre de Sontara® y bolsa plástica, laboratorio de campo, 2019	260
Figura 117. Sobre de tul, laboratorio de campo, 2018	260
Figura 118. Relleno de calzado con manta acrílica, laboratorio de campo, 2019	261
Figura 119. Madera húmeda y presencia microbiológica, LEACH, 2016	261
Figura 120. Prueba con biocida en tejido mojado: aplicación en fragmento menor, laboratorio del navío Almirante Maximiano, 2017	261
Figura 121. Protección de hierro con film de polietileno, laboratorio de campo, 2018	264
Figura 122. Acondicionamiento de metal en Marvelseal® 360 sellado, LEACH, 2018	264
Figura 123. Selladora doméstica, laboratorio de campo, 2018	264
Figura 124. Acondicionamiento al vacío, antes de la extracción de aire, laboratorio de campo, 2018	265
Figura 125. División de materiales en cajas <i>in situ</i> , Lima Lima, 2019	266
Figura 126. Reparto de cajas de hallazgos por investigadores, Lima Lima, 2019	266
Figura 127. Objeto arqueológico mayor en mochila, Byers, 2019	266
Figura 128. Trayecto entre yacimiento y campamento, Byers, 2019	267

Figura 129. Trayecto cuesta arriba de regreso al campamento, Byers, 2019	267
Figura 130. Embalaje de vértebra con espuma de poliuretano <i>in situ</i> , Lima Lima, 2019	268
Figura 131. Vidrio acondicionado con silicona, laboratorio de campo, 2017	269
Figura 132. Material separado por fragilidad y tamaño, laboratorio de campo, 2019	269
Figura 133. Material separado por fragilidad y tamaño, laboratorio de campo, 2018	270
Figura 134. Control de carga en NApOc Ary Rongel, 2018	271
Figura 135. Descenso de carga en la grúa del NApOc Ary Rongel, 2019	272
Figura 136. Cajas menores (azules) y dos cajas mayores, avión de la FAB, 2019	273
Figura 137. Termohigrómetro, laboratorio de campo, 2018	274
Figura 138. Almacenamiento en la Estación Frei Montaña, 2019	274
Figura 139. Photomicrographs (PPL) de Sealer 3.	283
Figura 140. Textiles (prob. lana) en media-buena condición, LEACH, 2017 y 2019	284
Figura 141. Corderías en malas condiciones de preservación, LEACH, 2017	284
Figura 142. Estado de conservación de pieles y cueros, LEACH, 2017 y 2019.	285
Figura 143. Fragmentos de madera, LEACH, 2012	286
Figura 144. Maderas, LEACH, 2012.	286
Figura 145. Madera que sufrió la acción de la intemperie, LEACH, 2012	287
Figura 146. Hueso frágil (izq.) y colmillo de pinnípedo fisurado (der.), LEACH, 2018	288
Figura 147. Huesos y otros materiales calcinados, LEACH, 2012	288
Figura 148. Orgánicos estables.	289
Figura 149. Hierros de cerro Sealer 1, LEACH, 2017.	290
Figura 150. Estado de conservación de síliceos.	292
Figura 151. Elefantes marinos en las playas y encuestas rocosas, Byers, 2017	293
Figura 152. Bioma en los yacimientos y hallazgos.	293
Figura 153. Proporción de materiales excavados de 2010 a 2019	295
Figura 154. Proporción de materiales excavados de 2017 a 2019	296
Figura 155. Proporción de factores de degradación	299
Figura 156. Problemas con la consolidación <i>in situ</i> con Mowilith®, 2017.	305
Figura 157. Hueso consolidado superficialmente, LEACH, 2018.	305
Figura 158. Madera consolidada en campo (sup.), llegada al LEACH (inf.), 2018	306
Figura 159. Hierros consolidados, llegada al LEACH, 2017 y 2019	306
Figura 160. Ladrillo consolidado, llegada al LEACH, 2019	306
Figura 161. Evaluación de llegada del <i>block lifting</i> al LEACH, 2017	307
Figura 162. Llegada al LEACH de objetos frágiles, LEACH, 2019.	307
Figura 163. Apertura del material envuelto en film de polietileno en el LEACH, 2017	307
Figura 164. Apertura de bolsa con textil y piel.	308
Figura 165. Apertura de objetos orgánicos húmedos, LEACH, 2019.	308
Figura 166. Apertura de sobre con textil, LEACH, 2019.	308
Figura 167. Llegada al LEACH de calzados rellenos con manta acrílica, 2019	309
Figura 168. Apertura de sobre con la prueba de biocida en el LEACH, 2017	309
Figura 169. Apertura en el LEACH de acondicionamiento seco para hierro, LEACH, 2017.	309
Figura 170. Apertura en el LEACH de acondicionamiento seco para bronce, LEACH, 2017.	310
Figura 171. Llegada al laboratorio de bolsas de polietileno, LEACH, 2019.	310
Figura 172. Retirada de material atrapado en espuma de poliuretano, LEACH, 2019	310
Figura 173. Retirada del molde de silicona de piezas cerámicas, LEACH, 2017	311
Figura 174. Marfinite en el sótano del navío, enero a abril de 2017	314
Figura 175. Marfinite que vino con los investigadores en 2017.	314

Figura 176. Gráfico de 2014.	315
Figura 177. Llegada de las cajas Marfinite, LEACH, 2017 (sup.) y 2019 (inf.)	317
Figura 178. Limpieza y acondicionamiento, Jéssica Campos, LEACH, 2019	317
Figura 179. Registro fotográfico, Amanda Bravo, LEACH, 2019	318
Figura 180. Base de datos del LEACH	318
Figura 181. Espacio de trabajo y refrigeradores, LEACH, 2018	319