

Biodeterioro de cerámica arqueológica de superficie, valle de Antinaco central, La Rioja

Autor:
Soto, Daiana Marilé

Tutor:
Callegari, Adriana B.

2019

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

Grado

**Tesis de licenciatura en Ciencias Antropológicas con
Orientación Arqueológica**



**Biodeterioro de cerámica arqueológica de superficie,
valle de Antinaco central,
La Rioja**

Soto, Daiana Marilé

*Directora Adriana B. Callegari
Codirectora Patricia S. Guiamet*

2018

Índice

Agradecimientos	7
1. Introducción	8
<i>1.1. Objetivo general</i>	9
<i>1.2. Objetivos específicos</i>	9
<i>1.3. Hipótesis principal</i>	10
<i>1.4. Hipótesis secundarias</i>	10
2. Marco geomorfológico y ambiental	11
2.1. La provincia de La Rioja	11
2.1.1. Geopolítica.....	11
2.1.2. Geomorfología.....	11
2.1.3. Suelos.....	12
2.1.4. Clima.....	14
2.1.5. Hidrología.....	16
2.1.6. Vegetación.....	18
2.1.7. Fauna.....	19
2.2. El Valle de Antinaco central	20
2.2.1. Geopolítica.....	20
2.2.2. Geomorfología.....	21
2.2.3. Suelos.....	22
2.2.4. Clima.....	23
2.2.5. Hidrología.....	23
2.2.6. Vegetación.....	24
3. Localidad arqueológica La Cuestecilla	25
3.1. Los sitios arqueológicos	26
3.1.1. Sitio La Cuestecilla (LC).....	26
3.1.2. El área de influencia de LC: las aldeas.....	27
3.1.3. El Pukará de Chañarmuyo (PC).....	28
3.2. Importancia de las investigaciones en la localidad LC	29
4. Biodeterioro	29

4.1. Tipos de biodeterioro	30
4.1.1. Biodeterioro químico (asimilatorio y desasimilatorio)	30
4.1.2. Biodeterioro mecánico	32
4.1.3. Suciedad en las superficies (biofouling)	33
4.2. Relación con los agentes abióticos	34
4.2.1. Agua	34
4.2.2. Temperatura.....	35
4.2.3. Luz.....	35
4.2.4. Viento.....	36
4.2.5. Contaminación y aerosoles.....	36
4.3. Biodeterioro del patrimonio arqueológico a nivel internacional	37
4.4. Biodeterioro en la arqueología a nivel nacional	39
4.5. Peligros para la salud	40
5. Métodos de control del biodeterioro del patrimonio cultural	41
5.1. Medidas preventivas	41
5.2. Medidas curativas	44
5.2.1. Métodos mecánicos.....	45
5.2.2. Métodos físicos	45
5.2.3. Métodos químicos	47
5.2.4. Métodos biológicos	49
5.2.5. Nuevas tecnologías	50
6. Preservación del patrimonio cultural	51
6.1. Legislaciones nacionales	51
6.2. La preservación desde la arqueología	53
6.3. La preservación y el biodeterioro de la cerámica	55
6.3.1. Inicio de las investigaciones sobre el biodeterioro de la cerámica en Argentina	57
7. Materialidad de estudio: la cerámica	58
7.1. Propiedades físicas y mecánicas	58
7.1.1. Porosidad	59
7.1.2. Permeabilidad	60
7.1.3. Dureza	60

7.1.4. Resistencia	61
7.2. Estilos y subestilos del área de estudio.....	61
7.2.1. Aguada.....	61
7.2.2. Ordinario.....	62
7.3. Presencia de agentes biológicos	62
7.4. La muestra	63
8. Metodología.....	67
8.1. Muestreo de agentes biológicos	67
8.1.1. Microorganismos (cuantificación, aislamiento y tipificación)	67
8.2.1. Líquenes.....	68
8.2. Cerámicas.....	69
8.2.1. Análisis estadísticos de variables tecno-morfológicas	69
8.2.2. Análisis petrográfico de las pastas	69
8.3. Análisis de la interfase del sustrato cerámico y los agentes biológicos	69
8.3.1. Microscopías.....	70
8.3.2. Ensayos de laboratorio (INIFTA).....	71
8.4. Análisis ambiental del área de estudio	71
8.4.1. Mediciones de variables ambientales: T, HR y Pt rocío	71
8.4.2. Análisis de los componentes del suelo	72
8.4.3. Muestreo de biota liquénica y tipificación de especies.....	72
8.4.4. Análisis de microorganismo cultivables de sedimento	72
8.5. Ensayos de diversos métodos de control del biodeterioro y limpieza del material	73
8.5.1. Limpieza mecánica de superficies	73
8.5.2. Control del biodeterioro: congelamiento	73
8.5.3. Evaluación de viabilidad de agentes biológicos simulando procesos postdepositacionales.....	73
9. Presentación de resultados	74
9.1. Tipificación de agentes biológicos	74
9.1.1. Microorganismos: hongos y bacterias.....	74
9.1.2. Cianolíquenes	76
9.2. La cerámica.....	78
9.2.1. Análisis de variables tecno-morfológicas	78

9.2.2. Petrografía de las pastas	79
9.3. Microscopías y EDS.....	81
9.3.1. Observaciones por LB	81
9.3.2. Observaciones por MO	84
9.3.3. Observaciones por MEB	85
9.3.4. Análisis de superficie por EDS.....	89
9.4. Ensayos de laboratorio	91
9.4.1. Desarrollo de biofilm por <i>Pseudomonas sp.</i>	91
9.4.2. Test de acidificación	92
9.5. Análisis de variables ambientales	92
9.5.1. Mediciones de T, HR y Pt rocío	92
9.5.2. Análisis de los componentes del sedimento	93
9.5.3. Biota liquénica.....	94
9.5.4. Cultivos microbiológicos de sedimento	95
9.6. Ensayos de diversos métodos de limpieza y control del biodeterioro	96
9.6.1. Limpieza mecánica de superficies	96
9.6.2. Ensayos a bajas temperaturas.....	96
9.6.3. Evaluación de viabilidad de agentes biológicos simulando procesos postdepositacionales.....	96
10. Integración de resultados.....	98
10.1. Mecanismos de biodeterioro	98
10.2 Bioreceptividad de las cerámicas arqueológicas	100
10.3. Origen del biodeterioro	101
10.4. Los procesos postdepositacionales: ¿biodeterioro o bioturbación?.....	102
10.5. Los lineamientos de la conservación preventiva y la preservación de la cerámica biodeteriorada	104
10.6 La aplicabilidad de métodos de control y limpieza a la cerámica biodeteriorada	107
10.7 Cianoliquenes, hongos y bacterias como bioindicadores para la arqueología	109
11. Consideraciones finales.....	110
12. Anexo	114
13. Referencias bibliográficas.....	117

Índice de tablas

1. Factores indirectos de deterioro (Michalski 2006).
2. Grado de porosidad según tipos cerámicos (Grinshaw 1971).
3. Muestreo sistemático estratificado. Frecuencias relativas y absolutas de estilos y subestilos.
4. Muestreo justificado. Frecuencias relativas y absolutas de estilos y subestilos.
5. Muestras analizadas por diferentes microscopías y etapas investigación
6. Resultados conteo de microorganismos.
7. Lista de cianolíquenes identificados y datos ambientales comparativos.
8. Ausencia/Presencia de cianolíquenes por estilos y subestilos cerámicos.
9. Ausencia/Presencia de cianolíquenes por granulometrías de las pastas.
10. Ausencia/Presencia de cianolíquenes por decoración.
11. Ausencia/Presencia de cianolíquenes por tratamiento de superficie.
12. Petrografía.
13. Variables ambientales estadística.
14. Análisis del suelo.
15. Especies de cianolíquenes identificados en otros sustratos.
16. Muestra total de tiestos analizados. Estilos presentes y sectores de los sitios arqueológicos de los que fueron extraídos.

Índice de figuras

1. Mapa regiones geológicas de La Rioja
2. Mapa suelos de La Rioja
3. Mapa climas de La Rioja
4. Mapa físico de La Rioja
5. Provincias fitogeográficas de La Rioja
6. Ubicación Localidad Arqueológica La Cuestecilla
7. Costras biológicas
8. Vista satelital del área de estudio
9. Plano La Cuestecilla – Callegari *et al.* (2013)
10. Área de influencia de La Cuestecilla – Callegari *et al.* (2013, 2015)
11. Plano Pukará de Chañarmuyo - De la Fuente 1972
12. Biodeterioro químico en papel
13. Biodeterioro mecánico por raíces
14. Cerámicas de La Cuestecilla – Aldea 3. Ordinarios y Aguada
15. Descamación por líquenes en vasijas romanas - Seaward (1988, 2004)
16. Tipos de poros según Rice 2015
17. Piezas Aguada y Ordinarias del Museo de Chañarmuyo.
18. Líquenes en cantos e irregularidades de la superficie – Soto y Guiamet (2018)
19. Líquenes en cantos e irregularidades de la superficie – Soto (2015)
20. Cultivos YGC
21. Especies de cianolíquenes – Guiamet *et al.* (2018).
22. Calcografías Aguada
23. Calcografías Ordinarios
24. Detalle de líquenes por LB – Ordinarios
25. Detalle de líquenes por LB – Aguada
26. Detalle cantos de tiestos Aguada con *biopits*
27. Detalles de líquenes por MO
28. Microfotografías MEB – líquenes
29. Microfotografías MEB – líquenes, hongos y bacterias
30. Microfotografías MEB – hongos
31. Microfotografías MEB – LC y PC
32. Gráfico EDS y tabla de valores
33. *Biofilm* experimental de *Pseudomona aeruginosa* y EDS – Guiamet *et al.* (2018).
34. Ensayo de acidificación del sustrato
35. Gráfico de T, HR y Pt rocío
36. Cianobacterias y talos de cianolíquenes fluorescentes bajo luz UV por MO
37. Diagrama de sinergia de agentes involucrados en el biodeterioro de la cerámica
38. Tiestos con desarrollo de hongos

Agradecimientos

A la Prof. Dra. Adriana B. Callegari por su enorme dedicación y dirección en mi formación.

A la Prof. Dra. Patricia S. Guiamet por haberme aceptado en su equipo y por su gran dedicación y co-dirección de la presente tesis.

Al Instituto de Arqueología (IA) de la Facultad de Filosofía y Letras (FFyL) de la Universidad de Buenos Aires (UBA), CABA, Buenos Aires, Argentina; instituto donde capita mi directora y en dónde he estado trabajando como estudiante investigador desde el 2010.

Al Instituto de Investigaciones Físicoquímicas Teóricas y Aplicadas (INIFTA) de la Universidad Nacional de La Plata (UNLP) y CONICET, La Plata, Buenos Aires, Argentina; sede de investigación dónde mi codirectora capita y dirige el Laboratorio de Deterioro de Materiales; espacio en el que he estado trabajando como estudiante investigador desde finales del 2013.

A la conservadora Norma Pérez de Reynoso por su buena predisposición y sus orientaciones en la temática de la preservación.

A los investigadores de diferentes partes del mundo que colaboraron en el avance de dicha investigación y con quienes participé en congresos y presenté publicaciones en coautoría. Al Dr. Alfredo Passo (Universidad Nacional de Comahue, INIBIOMA, CONICET, Argentina). Al Prof. Dr. Matthias Schultz (Universidad de Hamburgo, Biocentro Klein Flottbek, Alemania). A la Lic. Patricia Battistoni (INIFTA, UNLP, CONICET, Argentina). A la Dra. Anna Otlewska (Instituto de Fermentación Tecnológica y Microbiología, Universidad Tecnológica de Lodz, Polonia). A la Dra. Katarzyna Rajkowska (Instituto de Fermentación Tecnológica y Microbiología, Universidad Tecnológica de Lodz, Polonia)

Finalmente, al conjunto de investigadores y estudiantes que a lo largo de mi carrera me fueron incentivando para abordar esta temática para mi tesis de licenciatura a pesar de todas las dificultades que presentaba, además de las nuevas ideas que compartieron conmigo desde una perspectiva fresca pero siempre científica. A la Prof. Lic. María José Figuerero (IA, FFyL, UBA). A la Prof. Dra. Mónica Adler (Laboratorio de Micología, Fitopatología y Liquenología, UBA, CONICET). A la Dra. Verónica Acevedo (IA, FFyL, UBA). A la Lic. Victoria Ríos Román. A la Lic. Belén Delfino Trovato. A la estudiante Mailén Correa (FFyL, UBA).

Agradecimientos especiales a la Dra. Norma Ratto, quién supo identificar los puntos a mejorar y realizó valiosos comentarios que me permitieron reflexionar sobre las implicancias para la arqueología de mi tesis arqueométrica. A la Dra. Alicia Tapia por sus comentarios. A ambas, mis más sinceras gracias por aceptar ser jurado de mi tesis y ofrecerme una muy grata evaluación.

1. Introducción

El biodeterioro es un proceso a través del cual se produce un daño por la actividad vital de los organismos en las propiedades de un material de diferente naturaleza y composición (Videla 2001; De los Ríos *et al.* 2009). Los microorganismos forman conspicuos *biofilms* o biopelículas (comunidades microbianas complejas rodeadas por una matriz de sustancias poliméricas extracelulares - SPE) en prácticamente todas las zonas climáticas del planeta, en la interfase entre un sustrato y el medio ambiente (De los Ríos *et al.* 2009; Gorbushina 2007; Gorbushina y Broughton 2009; Guimet *et al.* 2013; entre otros).

Los estudios sobre biodeterioro en la disciplina arqueológica a nivel internacional se han centrado en la arquitectura y en el arte mueble e inmueble en las últimas décadas (Dakal y Arora 2012; Gazzano *et al.* 2009; Piervittori *et al.* 1994; 1996; 1998; 2004; St. Clair y Seaward 2004; Videla *et al.* 2000; Villalba y Malagón Forero 2011; Zucconi *et al.* 2012; entre otros) y se han enmarcado en la protección del patrimonio cultural. En consecuencia, se han desarrollado métodos de limpieza, mantenimiento y conservación para monumentos y construcciones (Giacobini *et al.* 1986; Altieri *et al.* 1999), obras artísticas muebles e inmuebles como lo son las estatuas y esculturas (Nishiura *et al.* 1994; Guimet *et al.* 2013), tumbas y lápidas (Bettini y Villa 1981; Guimet *et al.* 2012, 2013), petroglifos y arte rupestre (Childers 1994; Gallego y Oliva 2005; Guimet *et al.* 2008a; Silver y Wolbers 2004) y, mosaicos y murales (Puertas *et al.* 1994, 1995; Rogerio Candellera *et al.* 2011). Estas investigaciones han devenido en proyectos de gestión de sitios arqueológicos y de colecciones en museos, garantizando su preservación para generaciones futuras a la vez que divulgan su papel e importancia como parte del patrimonio cultural de la humanidad (Ballart 1997; Hernández y Tresserras 2008; ICAHM-ICOMOS 1990; Matera *et al.* 2015b) mediante la creación de planes de manejo de sitios (Criado Boado 1993, 1999; Pía Falchi y Torres 2008; Ratto 2007) y colecciones (Cronyn 1990). No obstante, otras materialidades arqueológicas como la cerámica han sido pobremente abordadas respecto a la problemática mencionada (Colonna Preti y Eeckhout 2014; Seaward 1988, 2004), razón por la cual no se han desarrollado estudios sistemáticos que den cuenta de sus condiciones de biodeterioro tanto en el sitio arqueológico del que provienen como durante su estudio, exhibición y/o guarda en los depósitos de museos o áreas de colecciones en tránsito de los institutos de investigación.

Se entiende que la cerámica como la arquitectura, el arte rupestre y otras materialidades, son parte del patrimonio arqueológico y merecen el mismo cuidado, respeto e interés por su preservación en tanto también nos brindan información de los modos de vida pretéritos y de las prácticas sociales involucradas en su creación (Criado Boado 1999; Matera *et al.* 2015a; Ratto 2007). La cerámica manifiesta por medio de sus estilos tecno-morfológicos y decorativos (Wiessner 1988, 1990) no sólo información de la cultura que la creó y usó, sino que representa una manifestación de su identidad y cosmovisión (Baldini y Sempé 2005; Basile 2013; Gordillo 2009; Kusch y Abal 2006; entre otros). Además, la cerámica se constituyó como un indicador de cronología relativa (González 1961, 1977, 1998; Kusch 1991; Nuñez Regueiro y Tartusi 2002; Sempé 1980, 1999; entre otros).

El presente trabajo encara el estudio del biodeterioro en la cerámica de superficie del valle de Antinaco central (La Rioja) con el objetivo de ampliar el conocimiento sobre la acción del *biofilm* en el registro cerámico y sus repercusiones negativas para la preservación del material. El estudio

de dicha materialidad permitirá a nivel internacional introducirnos en algunos de los efectos del deterioro de objetos muebles como la cerámica, y a nivel local, ayudará a expandir las investigaciones arqueológicas focalizadas hasta reciente en el biodeterioro del arte rupestre (Corbalán *et al.* 2017; Gallego y Oliva 2005; Gallego y Pannizza 2005; Guiamet *et al.* 2008a, 2010b, 2010c) siendo las únicas excepciones los trabajos llevados a cabo por Lucía Magnin *et al.* (2017) y por la autora (Soto 2015; Soto *et al.* 2016; 2017; Soto y Guiamet 2017; Guiamet *et al.* 2018).

1.1. Objetivo general

El problema planteado da cuenta de la falta de conocimiento en lo que respecta al deterioro por agentes biológicos en la cerámica arqueológica. El desconocimiento de la forma de deterioro, el tipo, la intensidad y el tiempo en que ocurre, las especies que lo ocasionan y las variables ambientales y/o procesos post-depositacionales que lo condicionan, impiden poder desarrollar una apropiada gestión del material cerámico de museos y colecciones. Es por eso que el objetivo general de la tesis elaborada es no sólo contextualizar el proceso de biodeterioro como uno más de los procesos postdepositacionales que alteran y destruyen el patrimonio arqueológico cerámico, sino también generar la información base necesaria para avanzar en las particulares técnicas de preservación necesarias para estos casos.

1.2. Objetivos específicos

Los siguientes objetivos específicos representan las etapas necesarias para concretar el objetivo general:

a) Identificar los agentes biológicos impactando la cerámica para poder determinar su ecología, su acción deteriorante y actividades fisiológicas, metabólicas que demuestren su capacidad de desarrollar y colonizar el sustrato cerámico arqueológico.

En esta instancia se recaudó la información básica para iniciar las investigaciones, es decir, identificar las especies de líquenes y evaluar la posible presencia de microorganismos en el interior del sustrato, mediante la cooperación y asistencia de liquenólogos y microbiólogos. Identificar cuáles son los taxones que deterioran es el paso fundamental para poder comprender y analizar cómo operan en el sustrato cerámico.

b) Analizar las características físicas y variables tecno-morfológicas de la cerámica arqueológica del área de estudio para dilucidar los mecanismos de colonización y los tipos de biodeterioro originados por las especies identificadas.

Al igual que se necesita conocer cuáles son los agentes biológicos que deterioran la cerámica arqueológica, también se necesita saber cuáles son las propiedades de la misma que pueden estar condicionando tal acción.

c) Analizar la superficie del material, la interfase ente líquenes y sustrato, como también el interior de la pasta, para evaluar la actividad de los agentes biológicos en la estructura de la matriz y las repercusiones de éstos en su preservación.

Esta segunda etapa previó la realización de estudios arqueométricos específicos como de ensayos de laboratorio. El objetivo fue conocer la viabilidad de los líquenes y de los

microorganismos fuera de su ambiente natural y evaluar los efectos que tienen sobre el material. Se consideró que dicho material no había recibido más tratamiento de limpieza que el cepillado para desprender el sedimento fino de los fragmentos; siendo *a posteriori* almacenado en bolsas de polietileno en cajas de cartón en el área de colecciones en tránsito del IA.

d) Registrar y evaluar características ambientales del área de estudio que puedan estar condicionando la colonización de los fragmentos cerámicos por los agentes biológicos.

Se realizaron análisis edafológicos y mediciones de variables ambientales que son susceptibles para la actividad biológica en relación a las especies identificadas. Asimismo se prospectó el área para tomar muestras de las especies locales y contrastar su viabilidad en la colonización del sustrato cerámico.

e) Testear diferentes métodos de limpieza del material y control del biodeterioro para hallar cuál es el más adecuado para remover los agentes biológicos sin dañar la cerámica.

En esta última etapa se ejecutaron ensayos experimentales con diferentes procedimientos para eliminar los líquenes y los microorganismos de los tiestos arqueológicos teniendo en cuenta su viabilidad.

1.3. Hipótesis principal

El valle de Antinaco Central y sus quebradas circundantes constituyen un ambiente árido de vegetación xerófila desestabilizado por la acción de agentes naturales y antrópicos. En este tipo de circunstancias los líquenes se adhieren a los fragmentos cerámicos arqueológicos porque constituyen un sustrato estable, en tanto presenta una estructura firme y retenedora de humedad en la que pueden subsistir.

1.4. Hipótesis secundarias

A partir de la enunciación de la hipótesis general se desprenden las siguientes hipótesis derivadas:

- A mayor grado de desarrollo de los líquenes en las superficies y bordes de las cerámicas, mayor es el grado de deterioro bioquímico y mecánico sufrido por ésta.
- El sesgo manifestado en el impacto diferencial de tipos de estilos y sub-estilos afectados por los líquenes, responde al método de cocción, oxidante y o reductora, que recibieron las piezas cerámicas al ser manufacturadas.
- La presencia de organismos simbiotes entre hongos y algas como lo son los líquenes en las superficies de las cerámicas, da cuenta que al interior de la matriz también se desarrollan otros microorganismos que no necesariamente tienen que presentar una idéntica relación de simbiosis entre los unos y los otros.

La primera afirmación propone que a medida que se desarrolla el liquen mayor es el deterioro que este ocasiona mecánica y bioquímicamente, no obstante, puede que un tipo de deterioro actúe más que el otro o que no exista realmente correlación con el crecimiento de los líquenes. Siendo una pequeña colonia de líquenes capaces de dañar severamente el material, o viceversa.

El segundo enunciado establece una relación entre características de la propia cerámica, vinculadas al método de cocción que ha recibido, tal vez también relacionable con el tipo de pasta, con el grado de crecimiento de los líquenes en los tiestos. Se realizarán análisis estadísticos sobre el porcentaje del material impactado y los estilos y sub-estilos afectados. Los resultados serán contrastación con las propiedades físicas de la cerámica.

Finalmente, el tercer enunciado hace referencia a la presencia probable de otros microorganismos tales como hongos, algas y bacterias al interior de la matriz que han pasado desapercibidos debido a sus dimensiones microscópicas y que estén contribuyendo al biodeterioro del material a una escala diferente.

2. Marco geomorfológico y ambiental

2.1. La provincia de La Rioja

2.1.1. Geopolítica

La provincia de La Rioja se localiza en el noroeste de la Argentina (NOA) limitando con las provincias de Catamarca al norte, de Córdoba al este, de San Luis al sudeste y de San Juan al sudoeste; mientras que su flanco occidental linda con el país de Chile. Presenta una latitud media alta, a 24° 19' del Trópico de Capricornio, lo que determina la alta insolación durante todo el año, lo cual repercute en su clima y en su economía, a través del elevado índice de heliofanía (presencia de luz solar directa durante un largo período del año).

El último censo del INDEC (2010) tasó la población actual en 333.642 habitantes con su mayor densidad demográfica concentrada en la región de Capital con 180.995 habitantes. Se observa una ocupación no homogénea del espacio acorde a las regiones que presentan mayor humedad, posicionadas en Los Llanos, La Capital y La Costa, frente a las de mayor aridez, Valle del Bermejo y Valle de Famatina. A pesar de que esa es la razón por la cual varios de sus 18 departamentos presentan un descenso poblacional respecto al censo previo en el 2001, las frecuencias absolutas para la provincia corroboran un incremento de 43.659 habitantes, en otras palabras, un aumento del 13% respecto al censo anterior.

2.1.2. Geomorfología

Durante la Era Cenozoica se modelaron los principales rasgos del paisaje actual (Tineo y Aceñalozza 1970). Los diferentes cordones montañosos se alzaron, erosionaron y volvieron a sobre-elevarse alcanzando los niveles actuales junto con los diferentes cursos fluviales. En la etapa final de esta era, en el Cuartario, las cuencas sedimentarias restringieron sus dimensiones por el ascenso continuo de las principales cadenas montañosas de la provincia, la Sierra de Velazco y la Sierra de Famatina, continuando la sedimentación sólo en los valles longitudinales, bolsones y los “llanos” (Figura 1).

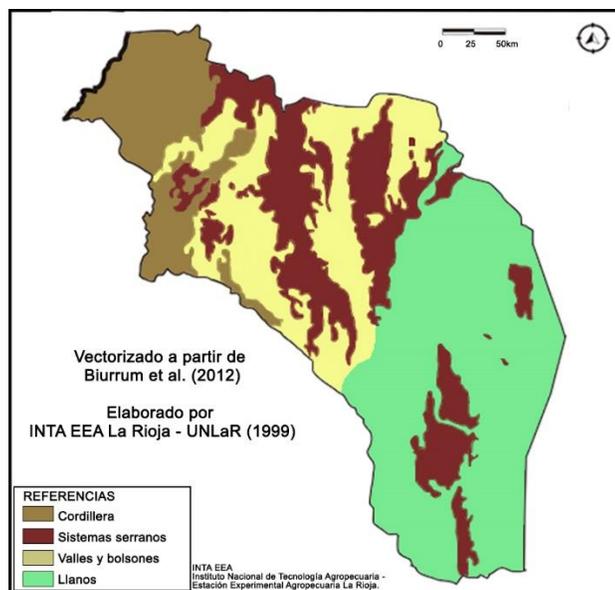


Figura 1. Mapa de las regiones geológica de La Rioja.

Siguiendo a Rosa y Mamaní (2000) podemos decir que la provincia presenta tres grandes zonas: la región cordillerana, precordillerana y transerrana al norte (la puna se incluye aquí); la región central con serranías, valles y bolsones y; los llanos en la zona oriental y sur dónde se encuentran lomadas bajas, los barriales, los médanos y las salinas. Si bien cada uno de estos sectores presenta sus propias características morfológicas y climáticas, lo que todos tienen en común es una morfogénesis dinámica por la actividad de agentes eólicos y fluviales que condicionan el desarrollo de los suelos y la vegetación.

La evidencia de las últimas erupciones volcánicas se remonta al Triásico y acaecieron en la zona cordillerana, cubriendo sus cenizas prácticamente la totalidad del sector occidental de la provincia (Tineo y Aceñalozza 1970).

2.1.3. Suelos

De acuerdo al Instituto Geográfico Nacional (IGN), la superficie de la provincia abarca 89.680 km² de los cuales 36% representan avistamientos rocosos (Rosa y Mamaní 2000). No existen muchas investigaciones que aborden la temática de la formación de suelos en el país (Regairaz 2000). No obstante, en base al mapa de suelos elaborado con los datos del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) (1990), se identificaron tres órdenes taxonómicos predominantes siguiendo la nomenclatura propuesta por el *Soil Survey Staff* (1975): entisoles con el 40,65 %, aridisoles representando el 11,40% y molisoles con tan sólo el 0,27%. Dichos tipos de suelo son concordantes con la morfología del relieve y con el clima de aridez de la provincia (Figura 2). Para mayor información sobre las principales características de estos suelos consultar Regairaz (2000).



Figura 2. Mapa de suelos de La Rioja (Reigaraz 2000).

En todas las unidades geomorfológicas montañosas predominan los suelos con drenaje excesivo debido a su alta pedregosidad y abrupta pendiente que han sido clasificados como haplustoles, ocupando el 40% de laderas y torriortentes, cubriendo el 50-100% de piedemontes. A los suelos torriortentes se les subordinan los torrifluventes en los sectores distales de los abanicos aluviales y los torripsamientos en las áreas intermedias y distales del piedemonte. En cambio, en los llanos, el drenaje excesivo sólo se presenta en los campos de médanos, donde predominan los suelos torripsamientos y torriortentes. Estos también se dan en planicies fluvio-eólicas de materiales loessoides (implica equilibrada proporción de arenas, limos y arcillas) y planicies aluviales de piedemontes de serranías locales. En menor proporción y en relación a los cursos de agua, se dan los torrifluventes, cambortides en sectores planos, paleortides en lomas y haplarginos en depresiones del relieve como los piedemonte de las serranías de los Llanos y los barreales (Regairaz 2000).

No se han reportado suelos con drenaje pobre que constituyan componentes dominantes de paisajes de La Rioja. Sin embargo es posible que no hayan sido identificados por la escala de mapeo del atlas del INTA y que ocupen reducidas extensiones en los sectores de vegas. Los suelos con drenaje imperfecto corresponden a haplargides fuertemente salinos ya que poseen un horizonte argílico arcilloso de reducida permeabilidad. En el resto de las planicies loessoides (relieve llano a suavemente ondulado) la salinidad y sodicidad constituyen limitantes de poca extensión areal (20% de la superficie) y corresponde a haplargides moderadamente salino-sódicos ya que el horizonte subsuperficial es francoarcilloso a arcilloso (Regairaz 2000).

La predominancia de la erosión hídrica o eólica se ve relacionada con el tipo de ambiente y el suelo que este representa. En las serranías y montañas predomina la erosión fluvial debido a la pedregosidad y rocosidad del terreno mientras que en los llanos el potencial erosivo eólico es más fuerte por los suelos arenosos.

La materia orgánica generalmente es escasa con valores inferiores a 1%, si bien excepcionalmente pueden darse encuentran valores mayores en suelos favorecidos por condiciones microclimáticas más húmedas (INTA 1990) o por la predominancia de vegetación arbustiva de la familia de la jarilla (CFI *et al.* 1993). El pH o reacción del suelo fluctúa entre ligeramente ácida (pH 6-3, por ejemplo en el horizonte superficial de algunos torripsamientos, donde la lixiviación parcial se ha favorecido por la granulometría gruesa del suelo) hasta medianamente alcalina (pH 8-5, por ejemplo en los horizontes subsuperficiales de los suelos arenosos debido a la acumulación de elementos solubles removidos del sector superior del perfil). Los menores valores de salinidad y/o sodicidad se encuentran en los horizontes superficiales de algunos torripsamientos en los cuales la lixiviación de elementos solubles se ha favorecido por la granulometría gruesa de los sedimentos. En cambio, altos tenores en sales y sodio generalmente corresponden a los horizontes subsuperficiales de lenta permeabilidad como los suelos haplargides de barreales. El carbonato de calcio es frecuente y en los sectores de bajas precipitaciones suele verse en todo el perfil en tanto en los sectores más húmedos aparece calcáreo inconsolidado entre los 30-40 cm de profundidad (Regairaz 2000).

2.1.4. *Clima*

La provincia de la Rioja se encuadra dentro de la diagonal árida de América del Sur con un clima predominante árido cálido, veranos prolongados y un déficit hídrico permanente. La diferencia de altitud entre los valles y las sierras genera dos variedades de climas áridos. En las zonas de mayor altitud es muy riguroso por la mayor exposición, dándose una marcada amplitud térmica que puede superar los 20 °C diarios. En los valles y elevaciones menores se encuentra la variedad de clima árido y o semi-árido de Sierras y Bolsones, obteniéndose valores de amplitud térmica menores. Según la escala climática de Köppen-Geiger los climas de la provincia son: BWh (árido cálido), BWk (árido frío), BSh (semi-árido cálido), BSk (semi-árido frío), Cwa (templado con inviernos fríos y veranos cálidos), Cfa (templado muy húmedo con veranos calurosos) (Climate-data.org) (Figura 03).

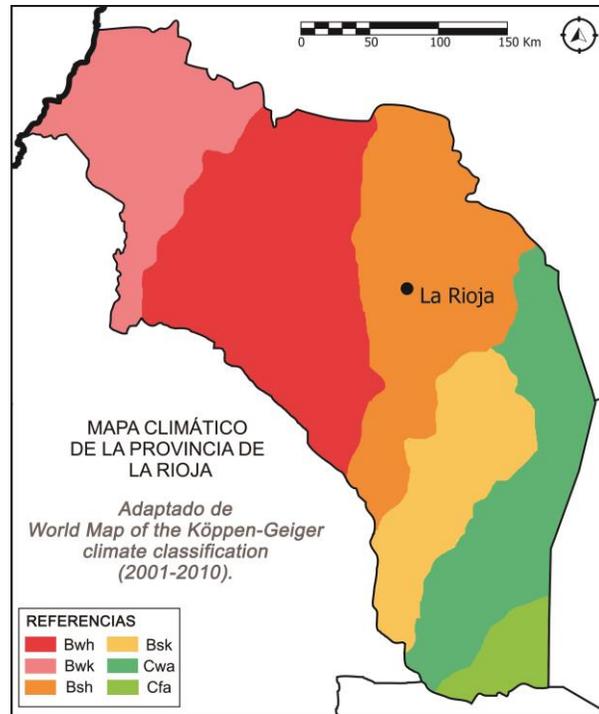


Figura 3. Mapa climático de La Rioja adaptado a partir de Kottke *et al.* (2006).

Las precipitaciones varían estacionalmente y por latitud. Por un lado se focalizan en la época estival de forma torrencial (concentrándose el 80% entre los meses de noviembre a marzo), por otro lado disminuyen de este a oeste, de 300 ml en la zona de contacto con Córdoba y Catamarca a 100 ml contra la Cordillera de los Andes, siempre manteniendo un carácter esporádico, escaso y estacional (Lafón 1970; Turner 1971). Estudios de los regímenes de lluvias a nivel provincial a lo largo de decenios ha mostrado, por lo demás, una alternancia entre periodos secos y húmedos, siendo los ciclos secos muy severos (Rosa 2000).

Las nevadas son habituales en los sectores occidentales cordilleranos y en las altas cúspides de las Sierras de Famatina y las heladas son habituales durante el invierno (mayo a agosto), si bien pueden extenderse por periodos de hasta seis meses. Los inviernos son benignos en tanto las temperaturas medias para esa estación son superiores a los 10 °C. Los vientos soplan del norte y del sur con mayor frecuencia, siendo los últimos los que predominan durante el invierno (Lafón 1970). El viento característico es el Zonda, seco y caliente, de incidencia anual pero de mayor frecuencia en primavera y verano. Es común que al soplar levante gran cantidad de polvo en suspensión y opaque las cimas de los cerros y oscurezca el sol, provocando también reacciones desfavorables en el ser humano (Lafón 1970). En los Llanos, en el sector de médanos, son frecuentes los remolinos.

En este tipo de región árida, la radiación solar media expresada en Kg/cal/cm² por año, alcanza los 180; equiparables a las cifras del Kalahari (África), Arizona (USA) y Atacama (Chile), los cuales se caracterizan por ser desiertos cálidos de aridez extrema con escasa nubosidad (Rosa 2000).

La nubosidad media se encuentra directa relación con el régimen de precipitaciones. La época estival con régimen monzónico es la que presenta mayor nubosidad, siendo la época invernal, la

más seca, la de índice más bajo. Los días despejados presentan una frecuencia relativa alta indicando una buena heliofanía de la zona (De la Fuente 1972). En líneas generales se puede decir que la nubosidad es mayor en las sierras que en valles y planicies, pero no excede el 15 o 18% anual (Rosa 2000).

La marcada amplitud térmica puede favorecer en ciertos microambientes el incremento de la humedad a causa del rocío matinal. No obstante, al darse altas temperaturas el nivel de materia orgánica de los suelos es bajo y la vida microbiana se ve reducida a condiciones de humedad medianamente aceptables. Ésta marcada amplitud térmica contribuye al proceso de meteorización atmosférica de las rocas por exfoliación. Los constantes procesos de enfriamiento del agua acumulada en fisuras durante la noche y el posterior descongelado y evaporación durante el día, colocan bajo constante tensión las capas externas de las rocas que terminan resquebrajándose y desprendiéndose de la estructura principal. La meteorización mecánica es uno de los procesos formadores de suelos más habituales del paisaje riojano.

2.1.5. Hidrología

De acuerdo a las características geomorfológicas se desprende que los cursos fluviales provinciales se originan en las altas cumbres de los cordones montañosos y descienden por los faldeos hacia las depresiones de los bolsones, valles y llanuras (Figura 4). En los trayectos por las quebradas, usualmente curso medio, las corrientes caudalosas se encajonan y van socavando el lecho del río y adquiriendo mayor potencia que le permite acarrear detritos de grandes dimensiones desprendidos de las laderas hasta su desembocadura. Estos potentes cauces al dejar de estar constreñidos por los faldeos de las quebradas adquieren un carácter meandroso y dinámico que imprime el paisaje con un sinfín de canales y cárcavas que se extienden como amplios abanicos fluviales hacia el interior de bolsones y valles. A pesar de que estas corrientes presentan una elevada potencia y son copiosas en su trayecto superior y medio, particularmente en el verano por las lluvias torrenciales y el deshielo de las nieves, sus aguas se van perdiendo por infiltración a lo largo de su recorrido por el buen drenaje de los suelos riojanos. Es así que salvos los cauces que alimentan a las cuencas principales, el resto es intermitente y de un caudal efímero la mayor parte del año.

La falta de aguas superficiales en las extensas planicies por la rápida filtración se contrapone a la existencia de vastos acuíferos subterráneos que llegan a abarcar el 40% de la superficie de la provincia, lo que equivale decir 36.150 km² (Zambrano y Torres 2000).

Las características del relieve, la composición petrográfica de los suelos y el régimen de precipitaciones son los elementos que hace a la formación y configuración de los recursos hídricos riojanos. La aridez de la región favorece la evaporación diurna, acentuada por una elevada temperatura y una vegetación rala en la que predomina una fisonomía vegetal xerófila (Suárez y Suárez 1970). El ciclo hídrico inicia en las altas cumbres donde afloran vertientes naturales y se producen los deshielos estivales, se trata del ambiente de escurrimiento hasta la línea de máxima depresión. Este curso superior es accidentado y de régimen torrencial, debido a los grandes desniveles que deben superar las aguas en sus descensos desde las cumbres, lo cual imprime gran velocidad a sus corrientes determinando el escurrimiento acelerado (Suárez y Suárez 1970) y la potencia para desplazar detritos de grandes tamaños. El pasaje de las aguas continúa por el ambiente pedemontano donde el cauce se acrecienta por la confluencia de vertientes y la

2.1.6. Vegetación

Siguiendo a Cabrera (1976) la vegetación de La Rioja se divide en cinco provincias fitogeográficas vinculadas a diferentes geoformas, suelos y climas: Altoandina, Puneña, Prepuneña, Monte y Chaqueña (Figura 5) de acuerdo a su ubicación en el paisaje y a la altura sobre el nivel del mar.

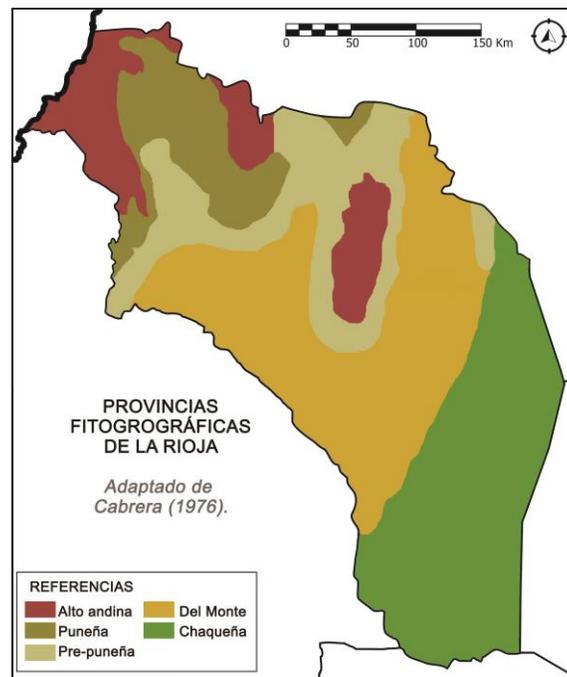


Figura 5. Mapa de las provincias fitogeográficas de La Rioja.

Siguiendo a Biurrun *et al.* (2012) podemos decir que las provincias fitogeográficas Altoandina ocupa cotas entre 4650 a 3600 msnm y la puneña entre 3600 a 3000 msnm en la región cordillerana. Sin embargo, en los cordones serranos de gran altitud como las sierras de Famatina (Cerro General Belgrano: 6097 msnm y el Negro Overo 5900 msnm) y Velasco (Cerro El Melao: 4157 msnm), se suman pisos altitudinales que comparten esta vegetación, incluyendo en algunos casos sectores de comunidades Chaqueñas. Lo común a estas dos provincias fitogeográficas cordilleranas, son los suelos no desarrollados de estratos pedregosos y arenosos, la escasa vegetación conformada por estepas de gramíneas, camefitos o herbáceas, heterogeneidad de biota líquénica, el clima frío y seco y temperaturas medias anuales de entre 8 a 10 °C (Cabrera 1971). En los lugares donde existen manantiales o se acumula agua se forman praderas anegadas de poca profundidad llamadas vegas. Se trata de formaciones vegetales que se establecen en un ambiente edáfico principalmente orgánico, caracterizado por una condición hídrica de saturación permanente, presentando una gran diversidad biológica respecto al entorno y especies vegetales propias (Caziani y Derlindati 1999). Dependiendo de la altura, habrá precipitaciones durante todo el año en forma de nieve o granizo, provincia Altoandina, o disminuirá de este a oeste con un promedio de entre 100-300 mm anuales, provincia Puneña.

La vegetación de los valles y bolsones, en cambio, corresponde exclusivamente a la provincia del Monte, pasando a la provincia Prepuneña en los sectores serranos ca. 2000-3400 msnm

(Cabrera 1971). Aquí el clima es cálido seco y las precipitaciones se concentran en la época estiva y varían entre 80-250 mm anuales. Los suelos son pobres y susceptibles a la erosión eólica con formación de médanos y a la erosión fluvial con formación de cárcavas. La fisonomía vegetal es una heterogenia estepa arbustiva xerófila con abundancia de cactáceas columnares, especialmente el cardón (*Cereus* sp. y *Trichocereus* sp.), bosquecillos enanos y cojines de bromeliáceas y bosques marginales de algarrobos o sauces. El género predominante de arbusto es la jarilla, principalmente en suelos pedregosos y arenosos pero, existe una gran heterogeneidad de especies.

Mientras que en el área de los Llanos domina la provincia fitogeográfica Chaqueña, tanto en las serranías bajas como en las planicies. En este sector también se presentan en localizaciones puntuales una vegetación de Monte, probablemente relicto de un periodo paleoambiental previo (Lowe *et al.* 1973). La vegetación está conformada por bosques xerófilos dispersos en el paisaje, algunos palmares, estepas halófilas y sabanas edáficas inducidas por incendio o desmontes. Las especies principales son el quebracho blanco y colorado que pueden alcanzar los 20 metros de altura, y, el quimil y el cardón entre las cactáceas.

2.1.7. Fauna

La rigurosidad climática, elevadas temperaturas y escasa humedad, funciona como factor determinante en la etología de la fauna riojana. La división zoogeográfica prevaleciente es la realizada por Díaz (1970), la cual divide a la provincia en un distrito andino, el sector netamente cordillerano, y el distrito subandino, sierras, valles, bolsones y llanos. De estos dos distritos, el que posee mayor cantidad y diversidad de especies, lo que se correlaciona con su más amplia extensión espacial, es el distrito subandino.

El típico ecosistema andino son las vegas de agua dulce y las lagunas de agua salada detrás, humedales que funcionan como zonas de forrajeo y nidificación de numerosas especies amenazadas como la vicuña (*Lama vicugna*), el guanaco (*Lama guanicoe*) y la gran cantidad de aves migratorias en verano entre las que destacan los flamencos. Los mamíferos se encuentran especialmente adaptados a estas condiciones rigurosas: poseen pelambres aislantes, los rebaños poseen alta movilidad y, sus necesidades de hidratación y limitaciones alimenticias son bajas.

En general, los mamíferos son de hábitos nocturnos como los pumas (*Puma concolor puma*) o zorros (*Pseudalopex gracilis* y *Dusicyon culpaeus*), únicos depredadores naturales, o se refugian durante el día en cuevas u hoyos en el suelo, como es el caso de los tucu tucu (*Ctenomys azarai*) y otros roedores. Los principales herbívoros son los camélidos y viven en los sectores montañosos y serranos: el guanaco y las vicuñas. Ente la copiosa avifauna y especies de reptiles, destaca el cóndor (*Vultur gryphus*), ave rapaz que vive en los sectores serranos y montañosos y una especie de rana de apenas 9 cm de largo que sobrevive en la estación seca invernal.

2.2. El Valle de Antinaco central

2.2.1. Geopolítica

El área de estudio se localiza en el valle de Antinaco Central, departamento de Famatina, noroeste de la provincia de La Rioja (Figura 6), entre las actuales localidades de Pituil y Angulos. El sector occidental lo constituye el cordón de Famatina, un macizo con cumbres de más de 6000 metros de altura reconocidas por su gran disponibilidad de recursos mineros que vienen siendo explotados desde tiempos prehispánicos. Es así que el vocablo "*Famatina*" proviene de la voz quechua "*Huamatinag*" o posiblemente "*wamatinag*" que significa "*madre de los metales*".

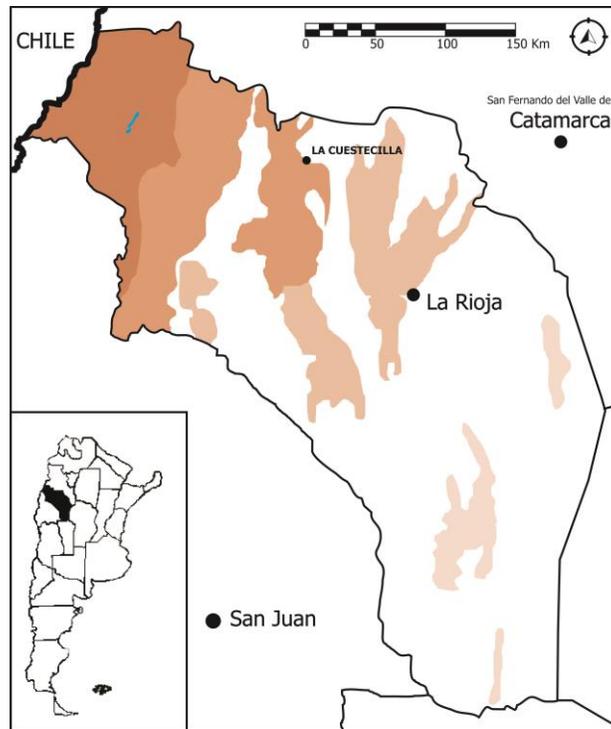


Figura 6. Ubicación del área de estudio en La Rioja.

Al oeste se ubica Pituil con una densidad demográfica de 849 habitantes (INDEC 2010) y manifiesta la tasa de descenso más elevada llegando al 16% respecto a los 1008 habitantes del 2001. Esta localidad es cruzada por la ruta provincial N° 39, ruta que se encuentra a dos kilómetros del poblado de Chañarmuyo. El cual fue reconocido en el 2014 por el Instituto Nacional de Vitivinicultura en función de las características ambientales aptas para el cultivo de viñedos para la producción de vinos finos. Según el último censo del INDEC del 2010, su población cuenta con 268 habitantes y presenta un incremento del 6,3% frente a los 252 habitantes del censo anterior (INDEC 2010). Incremento poblacional que se contrapone al descenso registrado en el departamento para el resto de poblados cercanos también dedicados a la agricultura. Finalmente, en la naciente del río Chañarmuyo-Pituil al este, el poblado de Angulos cuenta con 127 habitantes (INDEC 2010) y presenta un descenso del 7,3% frente a los 137 pobladores registrados en el 2001.

Fuera del área de estudio pero separada por 8 km., se encuentra la ciudad de Campanas en la ladera oriental de las Sierras de Famatina. Su densidad poblacional es similar a la de Pituil, con

892 habitantes (INDEC 2010) y evidencia un descenso del 10% frente a los 991 pobladores censados en el 2001.

2.2.2. Geomorfología

El valle de Antinaco-Los Colorados se posiciona entre los 28°50'- 29°57'S y los 67°23'- 67°06'W. Constituye una gran depresión tectónica con un relieve plano de inclinación gradual y continua en sentido norte-sur (Varela et al. 2015) que alcanza los 1500-1600 msnm en su sector norte y los 660 msnm en su sector sur. Su planicie se extiende aproximadamente 3200 km² y se encuentra delimitada por dos geoformas pertenecientes a la formación de las Sierras Pampeanas: la Sierra de Velazco al este y la cadena montañosa Paimán en su extremo centro-norte. Las sierras que bordean al valle, producto de fallas de la época Pliopleistocénica (De la Fuente 1972), se presentan en bloques accidentados y elevados que manifiestan un aspecto macizo cuyas extremidades se hundeen de manera gradual en los materiales que les han sido arrancados. El contacto entre ambas geoformas, valle y sierras, se define por una serie de glacis o conos de deyección que forman un relieve inclinado en las salidas de las quebradas y sobre el cual se escurren las aguas, cargadas de aluviones provenientes de las cuencas y laderas. Dispersos en el fondo del valle, entre la cadena montañosa Paimán y la Sierra de Famatina, también existen abiotamientos de Edad Terciaria, tal es el caso de Los Mogotes Colorados (Los Colorados) en la Sierra de Velasco, donde en su ladera occidental se visualizan areniscas coloradas (Bondenbender 1911).

La quebrada de Chañarmuyo que corre en sentido norte, certifica una de nombradas fallas al presentar diferencia de cotas entre las cumbres de ambos márgenes del cauce del río homónimo y la presencia de una franja de alteración del sustrato rocoso de más de 100 m de ancho en la margen derecha. La margen derecha se compone de un macizo granítico elevado que en sus zonas más altas alcanza supera los 2600 msnm, elevándose unos 800 m sobre el lecho del río, con conos de deyección que se hallan cubiertos de detritos desprendidos en su parte inferior. La margen izquierda, en cambio, no posee conos de deyección y su altura sobre el lecho del río es de escasos 250 m; en consecuencia, se evidencian escasos detritos (De la Fuente 1972). Mientras que la quebrada se encuentra compuesta por granitos, el lecho del río lo está por aluviones limo-arcillosos arenosos de origen Cuaternario.

La cadena montañosa de Paimán comprende un cordón poco elevado y estrecho de rocas graníticas de la Era Precámbrica, de no más de 80 km de largo y 20 km de ancho en su tramo septentrional y con poco más de un km en su recorrido austral. Su cúspide más elevada es el cerro Anguinán o Paimán con 2771 msnm.

La Sierra de Velazco también se compone de rocas graníticas y metamorfoseadas (esquistos cristalinos como las filitas) que se remontan a la Era Paleozoica. Inician en la provincia de La Rioja, localidad de Patquía, y se prolonga hacia el norte como una "Y" llegando hasta la provincia de Catamarca. Sus laderas orientales limitan con el valle y se caracterizan por ser áridas, mientras que las occidentales por ser húmedas al condensar los vientos frescos provenientes de las yungas. La cúspide cuya de máxima altura es el cerro El Cota, de 4275 metros.

La principal característica geomorfológica del valle de Antinaco es que el fondo del mismo se encuentra recubierto por grandes depósitos aluvionales que se hallan seccionados, por cárcavas visibles desde imágenes satelitales (Figura 7). Hay zonas en que estos depósitos llegan a alcanzar

entre 60 y 400 metros de espesor. En el sector occidental, las depresiones interserranas son de menor extensión pero se encuentran rodeadas de cadenas montañosas más elevadas, predominando los depósitos de gravillas, arenas y limos de entre tres y cinco km de extensión. Mientras que al este, al centro del valle, la llanura se vuelven más extensas y preponderan frecuentemente texturas más finas en los depósitos de arenas y arenas limosas eólicas que alcanzan la misma extensión que en el sector pedemontano (Rosa y Maimani 2000).



Figura 7. Imagen satelital del área de estudio. Los puntos marcan sitios arqueológicos, el círculo destaca el área central de LC.

2.2.3. Suelos

El mapa de la edafología de la provincia elaborado del INTA (1990) nos informa los suelos correspondiente al valle de Antinaco son los entisoles. La marcada presencia de estos suelos de escaso desarrollo ha sido vinculada a la pedregocidad del terreno, al marcado drenaje y a la fuerte erosión fluvial por escorrentías superficiales (Regairaz 2000). El área pedemontana y las planicies adyacentes del valle, debido a sus pendientes inclinadas que pueden llegar hasta un 40%, la pedregosidad de sus depósitos a veces de hasta el 100%, las tornan más susceptibles a la erosión fluvial. Este tipo de suelos entisoles se llama torriortentes. En consecuencia, la textura de estos suelos es la franca (gravillas en las zonas más altas y, limos y arcillas en las áreas más bajas) y la materia orgánica es escasa con valores promedios de entre 0,2 y 0,3% en suelos gravillosos o inclinados (Regairaz 2000).

Al pie de las sierras y quebradas, los conos aluviales especialmente del sector oeste del valle contienen suelos de una arena muy fina (limosa) no consolidada, salpicada de gravas de diverso grosor, presentando un gradiente de minerales que los hacen aptos para el trabajo agrícola (Gonaldi

et al. 2008) y al desarrollo de la vegetación debido a la retención de humedad por las arenas finas; favoreciéndose la formación de humus en algunos casos (Rosa 2000).

Respecto a sus características químicas. Los suelos torriortentes poseen un pH entre ligeramente ácido hasta levemente alcalino (pH 6). Mientras que los valores de sodicidad suelen ser bajos y se hallan vinculados a los horizontes superficiales en los cuales la lixiviación de elementos solubles se ha favorecido por la granulometría gruesa de los sedimentos, los valores de carbonato de calcio (CaCO₃) son elevados, en especial en los sectores con exiguas precipitaciones (ello se debe a una reacción positiva al ácido clorhídrico en superficie).

2.2.4. *Clima*

El valle de Antinaco se sitúa entre la isoterma media de verano de 24° a 25° C y la media de invierno de 8° a 9° C correspondiendo según Davis (1910) a la región climática Andina. Si bien la continentalidad de la provincia hace que su régimen térmico sea seco y cálido con una T de 18° C anual, existe una notoria amplitud térmica diaria y estacional, producto de las fluctuaciones bruscas que acompañan el cambio de viento de norte a sur, a la excesiva falta de humedad ambiente de no más del 42% (Cabrera 1971) y a la baja nubosidad. Las temperaturas durante el día son generalmente altas, especialmente en el verano debido a la intensa insolación; en el invierno a veces descienden por debajo de los 0° C durante la noche. Las heladas son habituales durante seis meses del año y casi diarias entre mayo y agosto. Los vientos predominantes son los del norte y los del sur. Los primeros, denominados viento Zonda, soplan durante el día y son secos, cálidos y muy intensos. Los del sur, soplan al atardecer o de noche y son fríos, de corta duración u poco intensos (Gonaldi *et al.* 2008). Los milímetros de precipitaciones estimadas para el área por Cabrera (1971) rondan entre 80 y 185 mm anuales, raramente excediendo los 200 mm.

En síntesis, la presencia de vientos desecantes intensos y las elevadas temperaturas diurnas sumadas al débil manto vegetal cuya evaporación y transpiración aceleran la pérdida de humedad de los suelos ya de por sí fuertemente permeables por la composición de sus depósitos, acentúa el proceso de aridización y el balance hídrico negativo de todo el valle (Rosa 2000).

2.2.5. *Hidrología*

La red hidrográfica está compuesta por los ríos de la pendiente oriental del Famatina, presentan un recorrido largo y muy caudaloso; de norte a sur son: el Campanas y el Blanco. Estos dos últimos se unen en la localidad de Angulos formando el río Chañarmuyo o Pituil, el cual constituye el cauce principal del área de estudio. Otros ríos menores son el Campanas, el de los Talas y el de Las Playas (Gonaldi *et al.* 2008).

El escurrimiento de la cuenca Angulos-Famatina es generalmente al sur, aunque hidrológicamente es un sistema endorreico, algunas de sus aguas de arrastre pasan a la cadena montañosa Paimán, la cual presenta evidencias del activo proceso de transporte de materiales hacia el sur, si bien el escurrimiento tiene una tendencia marcada al este. Los cursos de los ríos se dan con un rumbo sudoeste-noroeste y los caudales superficiales permanentes no superan los conos aluviales porque se insumen a través de los materiales altamente permeables del terreno; contribuyendo a las amplias reservas de agua potable del subsuelo (Bondenbender 1911). El caudal de estos ríos, fluctuante por las características previamente enunciadas, también se ve afectado por

el consumo intensivo debido al notorio desarrollo agrícola del valle, principal en la provincia. El déficit hídrico de la región obliga a desarrollar una agricultura de regadío a partir de la captación por diques niveladores de agua de sus cauces permanentes, la cual es regulada por canales abovedados de piedra hasta estanques de redistribución.

La potencial del caudal del río Chañar muyo en la época estival genera una fuerte carga erosiva que le permite acarrear bloques desprendidos de las laderas de grandes dimensiones. En sus primeros kilómetros se encuentra encajonado por la quebrada de Chañar muyo, donde se ha creado un dique, pero al salir a la planicie aluvial su cauce se torna meandroso y da lugar a la formación de albardones entre canales antiguos y actuales antes de que sus aguas se filtren por la gran pedregosidad del terreno.

El valle de Antinaco constituye, entonces, una extensa planicie aluvial enmarcada en tres de sus puntos cardinales por las serranías de Paimán-Famatina al suroeste y por la Sierra de Velazco al este.

2.2.6. Vegetación

El valle pertenece a la provincia fitográfica de Monte que se extiende por el sector centro-oeste de La Rioja (Cabrera 1971), ocupando valles intermontanos, conos de deyección, fondos de quebradas y serranías bajas. La vegetación es xerófila, compuesta por arbustos bajos, resinosos y espinosos, con alturas de entre 1-4, 5 m (Varela *et al.* 2015), predomina en los pies de monte y en las pendientes que conforman los conos aluviales. Se trata de zonas con suelos sueltos, de gravillas y arenas muy permeables típicos de ambientes secos (Gonaldi *et al.* 2008). Las jarillas, especies de zigofiláceas (especies como *Larrea divaricata*, *L. cuneifolia* y *L. nitida*), son las plantas más características de este tipo de ambientes y crecen en zonas donde el nivel de la napa es profundo y los suelos arenoso-arcillosos tengan bajos niveles de salinidad. La vegetación se torna más heterogénea en su extremo sur por la confluencia de las vertientes de la Sierra de Famatina y Velazco (Varela *et al.* 2015).

Mientras que en sectores con mayor humedad, en los márgenes de los ríos, suelos levemente más arcillosos o recovecos de los cerros, se evidencian relictos de bosque de algarrobos (especies tales como *Prosopis nigra*, *P. strombulifera* y *P. alba*), chañares (*Geoffroea decorticans*) y otras especies adaptadas a la aridez como sauces (*Salix humboldtiana*), visco, tala (*Celtis tala*), retamo (*Bulnesia retama*) y brea (*Caesalpinia praecox*) (Cabrera 1971). Si bien al ser especies freatófitas los algarrobos disminuyen el nivel de humedad del suelo con su evapotranspiración, favorece por otro lado el desarrollo de microambientes disminuyendo los efectos de vientos desecantes tan típicos de la zona (Rosa 2000). La tala de estos bosques por su madera de altos valores calóricos o por el desarrollo de grandes obras de infraestructura no sólo acentúa la erosión y contribuye a la formación de “barreales”, sino que también provoca el ascenso de la napa de agua, su consiguiente descarga y la depositación de sodio excedente contribuyendo a la formación de salinas y salitres. Lo que conlleva graves implicancias para las actividades agrícolas.

Aunque la biota líquénica del valle de Antinaco no ha sido relevada en su totalidad, es parte de la vegetación local y representa una variada cantidad de especies sobre sedimento, ramas secas y sustratos rocosos. Su presencia es evidente en el caso de las costras biológicas sobre sedimento consolidado; comunidades microbianas complejas características de ambientes áridos que

funcionan como elementos estabilizadores de suelos fuertemente erosionados o simplemente pobres por sus elementos composicionales (Figura 8).



Figura 8. Costras biológicas en el sitio arqueológico La Cuestecilla – Aldea 3.

3. Localidad arqueológica La Cuestecilla

La localidad arqueológica LC se localiza en el sector noroccidental del valle de Antinaco, en las inmediaciones del caserío de Chañarmuyo, al pie de la Sierra Paimán. Comprende la quebrada de Chañarmuyo y Angulos y, se extiende a lo largo de las márgenes del río Chañarmuyo-Pituil por al menos 20 km del curso de este río (Figura 7).

A pesar de que ha sido intensamente impactada por la construcción de una acequia desde el Dique de Chañarmuyo hasta Pituil, su posterior refacción moderna, la Ruta Provincial N°39 y el puente del río Chañarmuyo, la localidad presenta en general un buen estado de conservación lo que ha permitido identificar en más de tres décadas de investigaciones un sitio principal denominado LC, aldeas que lo circundan, campos de cultivos, manifestaciones de arte rupestre (Callegari *et al.* 2017) y geoglifos o estructuras de piedras de colores (Callegari *et al. en prensa*; Callegari y Raviña 2000). Además del ya nombrado Pukará de Chañarmuyo (PC) (De Aparicio 1934; De la Fuente 1972; 2002; Reyes 1918) en la quebrada homónima.

Todos los sitios que integran esta localidad se caracterizan por presentar abundante material arqueológico en superficie (cerámico y lítico), principalmente los sectores adyacentes a estructuras arquitectónicas, observándose mayor abundancia en los sectores con recintos (R) de carácter doméstico de LC, el PC y las aldeas, y en los espacios públicos y semi-públicos de LC y algunas aldeas.

En consonancia con los materiales recuperados de intervenciones arqueológicas y de superficie (cerámica, líticos, metales, restos faunísticos, óseos humanos y restos botánicos), como con la información obtenida a partir del relevamiento arquitectónico y de arte rupestre, los sitios arqueológicos de esta localidad han sido adscriptos a la Cultura Aguada Meridional *circa* 550 al

1200 DC. No obstante, hay evidencias de algunos sectores que fueron ocupados más tempranamente 100 AC (LC-G6) alcanzando en otros sectores el inicio del periodo tardío en 1250 DC (LC-Montículo) (Callegari *et al.* 2015).

3.1. Los sitios arqueológicos

3.1.1. Sitio La Cuestecilla (LC)

El sitio presenta en general un muy buen estado de conservación, si bien presenta sectores que han sido afectados por una erosión fluvial intensa. Se compone por un área residencial de grandes dimensiones con un patrón arquitectónico disperso en el paisaje y de complejidad interna diferenciada. Esta última se manifiesta en la presencia y/o ausencia de pequeñas plataformas en su interior; espacios públicos con rasgos de monumentalidad (Una plaza, una gran plataforma y un Montículo) que por su tamaño y características formales nítidamente se recortan de la trama arquitectónica y espacios productivos hacia el ámbito liminar del sitio (Callegari *et al.* 2010, 2013, 2015; Gonaldi *et al.* 2008). Los límites sur, este y oeste están señalizados por círculos de piedras apoyadas de 8-9,3 metros de diámetro y el límite norte por un gran Montículo recubierto de piedras de colores (Callegari *et al.* 2010, 2013) que es parte de la barranca del río Chañarmuyo (Figura 9).

Se han marcado cuatro diferentes *buffers* de influencia que marcan la disminución de la concentración de construcciones de carácter doméstico desde una zona central de LC hacia la periferia (Figura 10) donde predominan las construcciones de carácter productivo (Callegari *et al.* 2013, 2015).

Las dataciones de inicio de la era en LC dan cuenta como una pequeña aldea formativa fue ganando importancia y creciendo como centro religioso subregional hasta albergar una población estimada de 2334 habitantes entre las estimaciones de grano fino y grueso realizadas (Rodríguez 2011) autoabastecida por sus propias actividades agrícolas. Dicha densidad poblacional es casi diez veces mayor al último censo del INDEC del 2010 para el poblado actual de Chañarmuyo, censado en 268 habitantes.

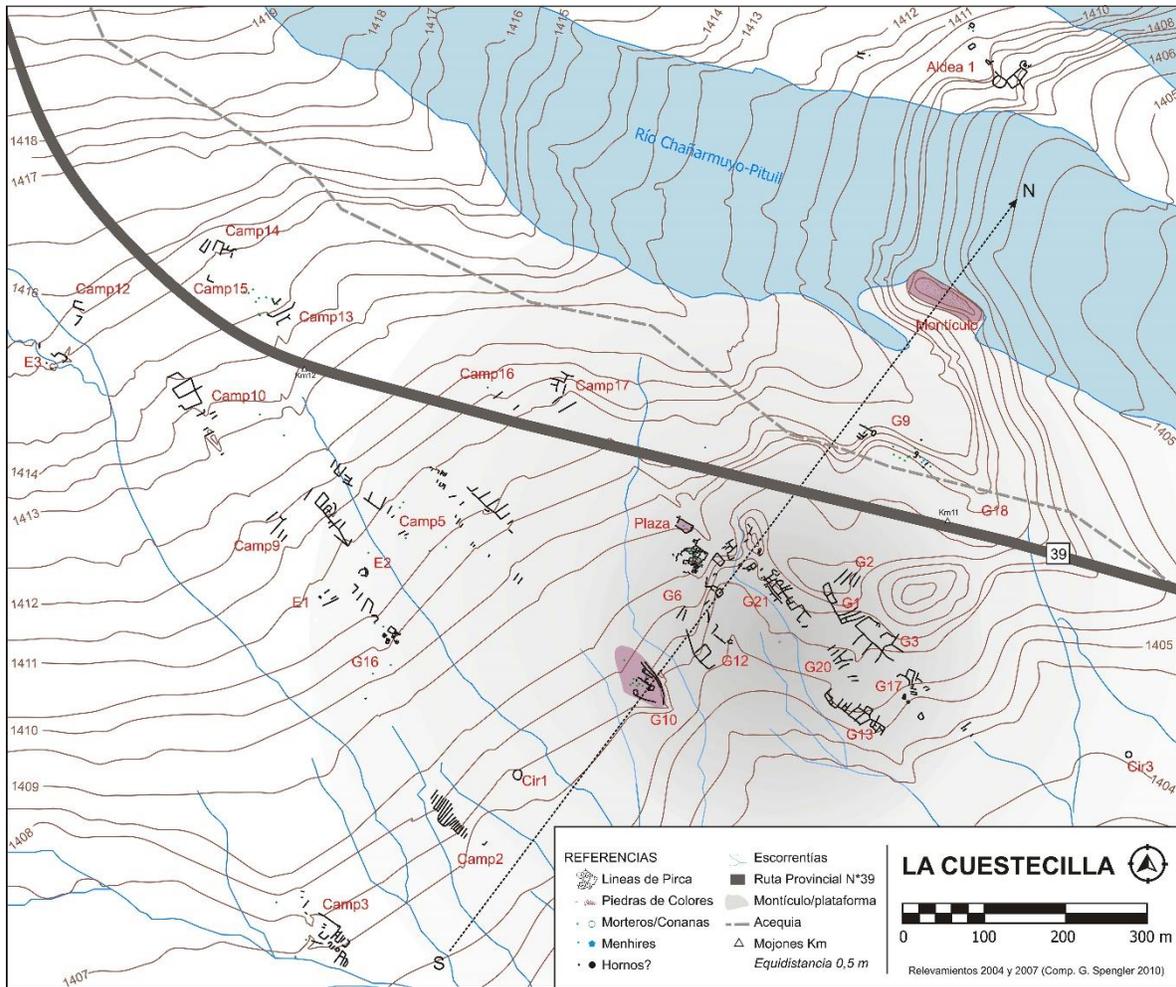


Figura 9. Plano de LC – Callegari *et al.* (2013, 2015).

3.1.2. El área de influencia de LC: las aldeas

A partir que nos alejamos del centro del sitio LC comienzan a parecer las aldeas cada vez más dispersas en el paisaje (3 y 4 *buffer*) (Figura 10). Hasta el día de la fecha se han identificado por medio de teledetección satelital y prospecciones en el campo, un total de 22 aldeas en las márgenes del río Chañarmuyo, desde Pituil hasta la localidad de Angulos.

Mientras que algunas aldeas sólo poseen campos y posibles corrales en las cercanías de recintos de carácter doméstico, otras replican a menor escala algunos de los atributos de los espacios semi-públicos de LC: pequeñas plataformas, menhires y espacios abiertos adyacentes.

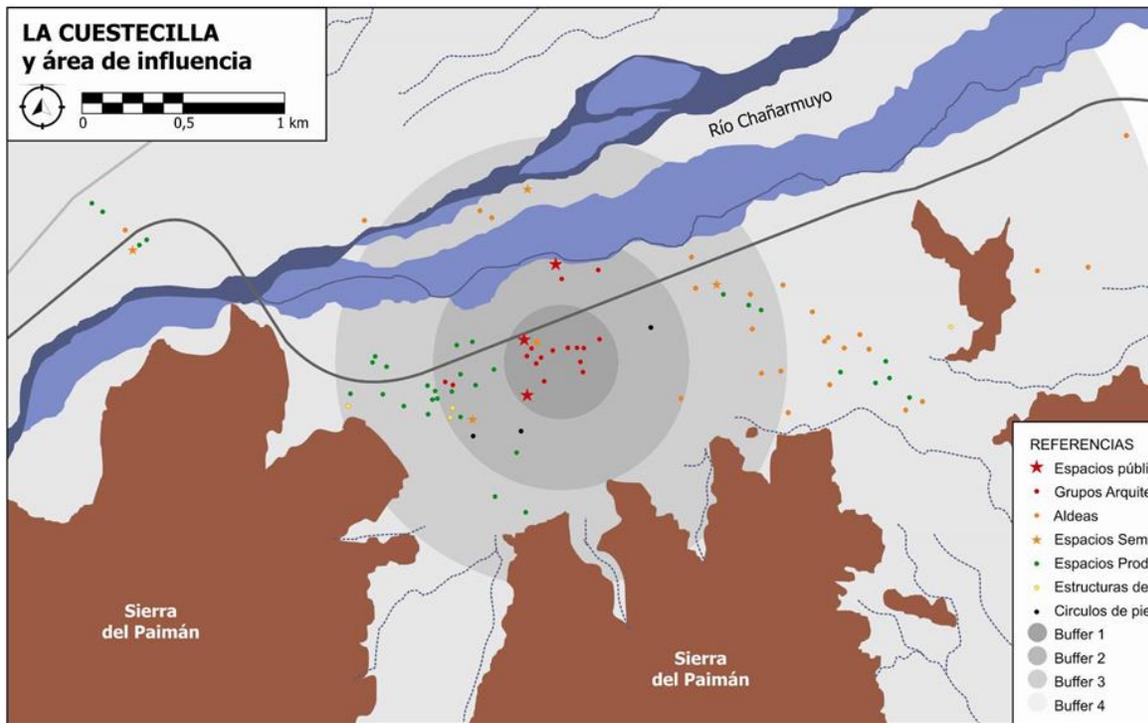


Figura 10. Área de influencia de LC (*buffers*) – Callegari *et al.* (2013, 2015).

3.1.3. El Pukará de Chañarmuyo (PC)

Se trata de un asentamiento residencial de carácter defensivo emplazado estratégicamente en la ladera occidental de la quebrada angosta que comunica el valle de Antinaco con el valle de Famatina. Esta ubicación fue óptima para que sus habitantes pudiesen controlar el paso entre ambos valles y encontrarse en una posición ventajosa contra cualquier hostilidad. Su carácter defensivo se manifiesta, también, en el muro perimetral que contiene a todos los 200 recintos que integran este asentamiento. La construcción, además, se basó en la topografía de la quebrada en doble sentido. Por un lado, la instalación del conjunto habitacional se hizo escalonado sobre la ladera en su cono norte y sur empleando rocas locales lo que la camuflan completamente con el paisaje y, por otro, en la edificación de las viviendas *per se*, las cuales fueron socavadas hasta llegar a la roca madre adquiriendo un carácter de semi-subterráneas (De la Fuente 1972). Si bien el pukará no ha sido trabajado intensamente, la evidencia cerámica en superficie y de las intervenciones realizadas por De la Fuente (1975) lo adscribe a la Cultura Aguada tardía.

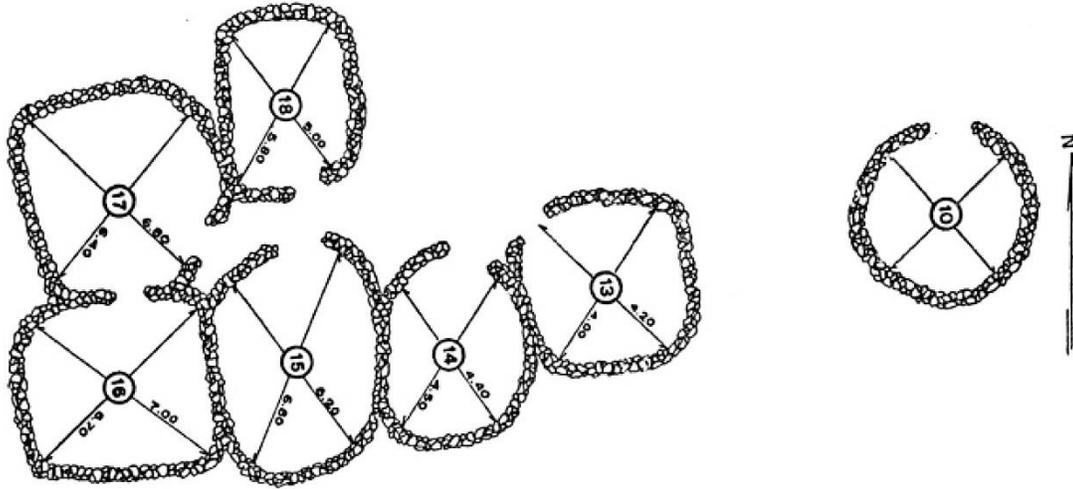


Figura 11. Sector “B” del Pukará de Chañarmuyo de acuerdo a De la Fuente (1972).

3.2. Importancia de las investigaciones en la localidad LC

Excavaciones recientes en nos han demostrado que uno de los sectores del sitio LC posee un alfar cerámico, lo que una vez más demuestra su gran escala y complejidad interna y rol fundamental para la comprensión del fenómeno Aguada y sus variantes meridionales (Callegari y Raviña 2000; Callegari *et al.* 2013, 2015, 2016). Asimismo, una de las aldeas cercanas bajo investigación, Chañarmuyo 2, dispone de sectores públicos significantes que pueden estar relacionados por su ubicación en el paisaje con el culto al Cerro General Belgrano y Cerro Negro Overo, los dos picos más altos del Famatina.

La excelente conservación del área de estudio y la mimetización con el paisaje de su arquitectura, hacen que muchos sitios pasen desapercibidos para los pobladores locales inclusive. La evidencia arqueológica todavía disponible en esta localidad sobre los habitantes originarios del valle de Antinaco es inestimable. No se trata de sólo información de una cultura hoy perdida, sino de formas de hacer las cosas, de tecnologías olvidadas, de comprender cómo interpretaban su mundo, como resolvían sus conflictos y vivían su día a día en un tiempo en que la vida carecía de todas las comodidades de los tiempos modernos.

4. Biodeterioro

El concepto de biodeterioro se ha estado utilizando en los últimos cincuenta años para describir los procesos biológicos que afectan a diversos materiales obtenidos a partir del procesamiento de diferentes materias primas con fines específicos. Aún no existe una definición consensuada por la ciencia (Allsop *et al.* 2008); no obstante, una de las definiciones que se difundió rápidamente fue la de Hueck (1965, 1968), de carácter restringido, que considera al biodeterioro como cualquier cambio indeseable en las propiedades de un material causado por la actividad vital de los

microorganismos. En principio, no hay restricciones entre qué tipo de seres vivos pueden contribuir al biodeterioro en tanto es un proceso natural, pero dependiendo de que agentes biológicos actúen y del tipo de sustrato cultural (inorgánico u orgánico) que afecten, variará el tipo de biodeterioro predominante y las alteraciones fisicoquímicas y mecánicas ocasionadas.

Cuando se da este proceso, un conjunto de organismos y microorganismos se ven involucrados en una simbiosis compleja entre la interfase el medio ambiente y el sustrato. Bajo determinadas condiciones climáticas, los microorganismos pueden desarrollarse conformando biopelículas (*biofilms*), comunidades microbianas complejas rodeadas por una matriz de sustancias poliméricas extracelulares (SPE) y producir el debilitamiento o pérdida de la estructura del material y el ensuciamiento de las superficies (Ascaso 2002; De los Ríos *et al.* 2009; Gorbushina 2007; Gorbushina y Broughton 2009; Guiamet *et al.* 2010b; Videla 2001; entre otros). Eso se debe a que la concentración de microorganismos en un espacio acotado también focaliza sus actividades metabólicas, las cuales pueden llegar a ser terriblemente destructivas para el sustrato (Allsopp *et al.* 2004).

Es importante no confundir los efectos del biodeterioro de un conjunto determinado de agentes biológicos sobre un material, con alteraciones físicas, químicas que pueden ser resultado de otro tipo de agentes (Valgañón 2008) o que pueden ser debidas a la degradación natural de los componentes del material por el paso del tiempo y el uso intensivo del mismo. Cuando la colonización biológica ocurre sobre sustratos naturales, sean orgánicos u inorgánicos, no hablamos de biodeterioro sino de biodegradación y es vista como un proceso deseable (Gaylarde 2013) que contribuye a la descomposición de la materia orgánica o a la formación de suelos al desintegrar sustratos rocosos, entre otros ejemplos. Por un lado tenemos un proceso indeseable que daña los materiales de origen cultural y, por otro, un proceso deseable que desintegra los sustratos orgánicos e inorgánicos en un ciclo natural e interminable de renovación y transformación.

4.1. Tipos de biodeterioro

4.1.1. Biodeterioro químico (asimilatorio y desasimilatorio)

Refiere a cuando las sustancias producidas por la actividad metabólica de los organismos provocan la descomposición o transformación de los elementos composicionales de los materiales. Ello puede acaecer de forma directa, por el consumo de nutrientes, o indirecta, por el resultado de la producción de ciertas sustancias. La forma directa, también conocida como biodeterioro químico asimilatorio, implica la producción de enzimas u otras sustancias para la transformación del material y lograr la exitosa extracción de nutrientes como es el caso del carbono de compuestos orgánicos o de sales. Las especies crustáceas de líquenes son conocidas por incorporar por medio de su hifa al talo el material disgregado como nutriente (Warscheid y Braams 2000; Seaward 2004). Otros organismos como los insectos y larvas que perforan la madera, simplemente la consumen y descomponen a su interior. La forma indirecta, llamada biodeterioro químico desasimilatorio, por el contrario, genera la degradación del material por la excreción de sustancias producto del metabolismo celular de los microorganismos, como lo son las defecaciones ácidas y los pigmentos. Por un lado se debilita la estructura del material, se disgrega y por el otro se generan alteraciones menores con manchas (Figura 12).

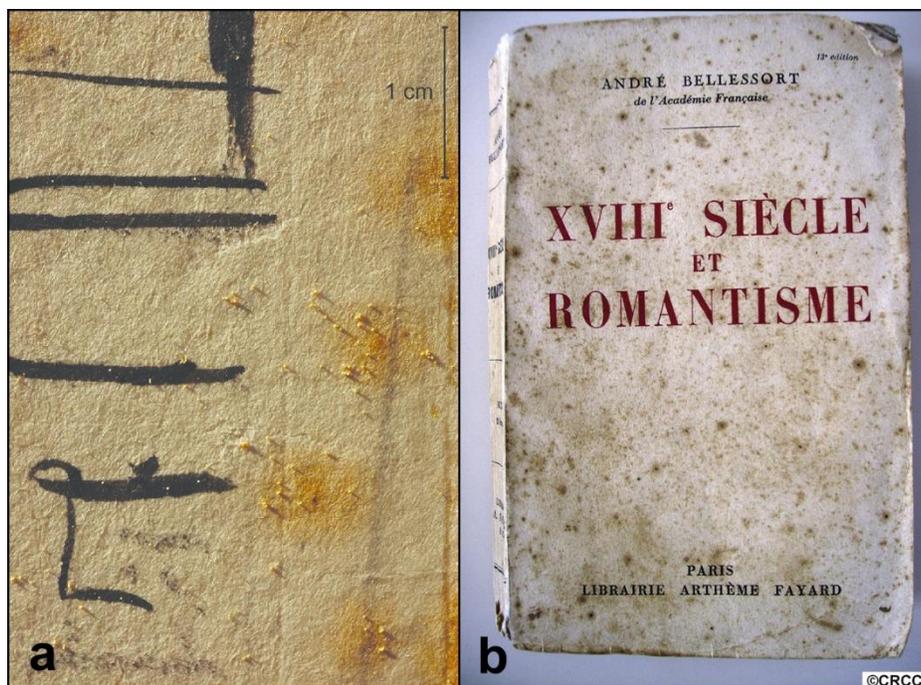


Figura 12. Biodeterioro químico en papel, manchas por oxidación del hierro (*foxing*).

Los agentes biológicos pueden producir diversos tipo de sustancias que contribuyan al deterioro químico de los materiales. Hay que tener presente que el elemento catalizador de todas las reacciones posibles son los altos porcentajes de HR en el ambiente o al interior del material. Para que se generen enzimas, produzcan ácidos, pigmentos y compuestos básicos, es necesaria la presencia de una cantidad mínima de agua entre otros factores.

Siguiendo a Valgañón (2008) y Allsop *et al.* (2004) se presenta una breve reseña de qué tipo de sustancias son las producidas por microorganismos, que especies suelen estar involucradas y cómo afectan a los materiales culturales.

- Las enzimas son sustancias proteicas que poseen una función catalizadora específica. Existen dos tipos: las endoenzimas, internas a los organismos y, las exoenzimas, externas en tanto son liberadas al medio externo (Allsop *et al.* 2004) para degradar materiales orgánicos y cuya función es la descomposición de sus moléculas complejas. Ejemplos de descomposición por enzimas fúngicas se dan por las tenazas, que descoloran las tintas para obtener glucosa entre otras sustancias y la pudrición de la madera que puede darse por la desaparición de la lignina o de la celulosa y hemicelulosa que funcionan como nutrientes. En el caso de obras de arte y materiales arqueológicos, no es frecuente que se produzcan pudriciones como las mencionadas, no obstante, si se presentan, involucran una amplia heterogeneidad de especies fúngicas para cada etapa de la degradación del material (Valgañón 2008).

- Los ácidos son una de las sustancias más dañinas con severos efectos negativos para los materiales orgánicos o para ciertos tipos de pigmentos. La acidificación puede favorecer a otras especies microbianas acidófilas. Se puede generar de forma directa por medio de las deposiciones

(ácido úrico, acético, láctico, etc.) o de forma indirecta por medio del dióxido de carbono que se genera en la actividad respiratoria (ácido carbónico H_2CO_3). En condiciones de HR elevada, el ácido carbónico es capaz de disolver los carbonatos de calcio o magnesio de piedras calizas creando eflorescencias.

- Compuestos básicos como el amoníaco también pueden resultar de la actividad metabólica. La alcalinización del sustrato favorece el desarrollo de una microbiota basófila (Allsop *et al.* 2008).

- Los pigmentos de diferentes tonalidades que conllevan alteraciones estéticas más que químicas también son producidos por algas, hongos, cianobacterias y bacterias; y al igual que las enzimas pueden ser endógenos (por ejemplo la clorofila) o exógenas a los organismos (por ejemplo las tonalidades parduscas en los hongos). Aunque en este caso su rol en el metabolismo es poco conocido. Un ejemplo de producción de pigmentos se da por las acumulaciones de biopelículas de algas (Guamet *et al.* 2008) o de una comunidad compleja de microorganismos sobre las superficies con leves alteraciones químicas y mecánicas para la estructura de los materiales. En el caso de los documentos a base de celulosa, una alteración frecuente son las manchas por oxidación de hierro (*foxing*) (Karbowska Berent *et al.* 2014; Lavin *et al.* 2014).

- Un quelante, o antagonista de metales pesados, es una sustancia que forma complejos con iones de metales pesados extraídos del soporte. Hay muchas sustancias procedentes del metabolismo de los seres vivos que tienen la capacidad de formar quelatos o complejos moleculares como, por ejemplo, el ácido oxálico, es un agente quelante muy activo es producido por numerosos hongos, líquenes y plantas. Los líquenes, además del ácido oxálico, sintetizan otras sustancias quelantes, que se denominan sustancias liquénicas, siendo muchas de ellas también de carácter ácido, como por ejemplo el ácido lecanórico.

4.1.2. Biodeterioro mecánico

El daño mecánico o físico, suele involucrar organismos que al crecer distorsionan o perforan los materiales, perdiéndose la cohesión entre sus elementos constitutivos sin utilizarlos como fuente de nutrientes (Allsop *et al.* 2004). Estos pueden, en consecuencia, ver su apariencia trastocada por el crecimiento biológico pero no su composición que permanece inalterable (Figura 13).

Cuando mayor sea el organismo o cuanto más fuertemente adherido este al material, mayor será el daño mecánico que ocasione. Es así que las raíces de los árboles adheridas a un edificio o aquellas que resquebrajan las veredas, producen daños más severos que las de plantas de tamaños menores. Hongos filamentosos y bacterias pueden introducirse en microfisuras de los sustratos culturales incrementando el estrés de su estructura y acrecentando su agrietamiento interno (Ascaso 2002), mientras que los líquenes causan directamente su disgregación (Ascaso y Wierzchos 1995; Souza Egipsy *et al.* 2002; Soto y Guamet 2017). Otros microorganismos, por el contrario, generan sustancias adhesivas a las que el material disgregado se adhiere.

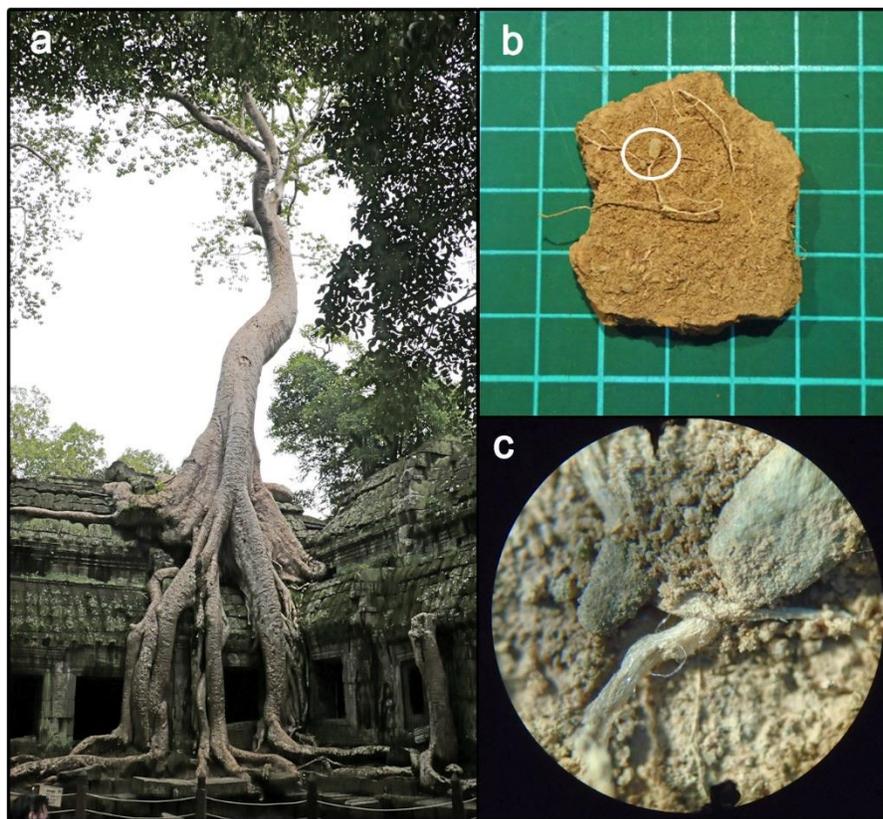


Figura 13. Biodeterioro mecánico por raíces: a) templo de Angkor, India; b) tiesto Ordinario de la Puna, Argentina – IA, Área de conservación, UBA; c) magnificación a x10 con lupa binocular de imagen “c” - IA, Área de conservación, UBA.

Asimismo, otro tipo de animales superiores pueden dañar los materiales por pisoteo, provocando su fractura; animales cavadores pueden desplazar restos arqueológicos de su ubicación original y dañarlos en el proceso con sus pezuñas y; otros simplemente pueden alimentarse de los materiales orgánicos como los roedores.

4.1.3. Suciedad en las superficies (*biofouling*)

La suciedad en las superficies involucra la acumulación de aerosoles, organismos muertos, vivos y sus sustancias metabólicas, lo que conlleva en muchos casos a la conformación *biofilms* que a su vez ocasionan deterioros mecánicos y químicos (Allsopp *et al.* 2004; Guiamet *et al.* 2012, 2001; McNamara y Mitchell 2005). No obstante, algas y hongos pueden desarrollarse sobre la suciedad en las superficies sin impactar la estructura del material sino sólo su apariencia estética (Allsopp *et al.* 2004). Es por eso que algunos autores hacen referencia a un deterioro estético por agentes biológicos que no compromete la estructura interna del material con daños químicos y mecánicos (Agrawal *et al.* 1989). En estos casos las alteraciones constituyen cambios cromáticos, manchas, desarrollo de pátinas e, impedimento visual de ciertas características de escritura o de la obra. La discriminación entre alteraciones estéticas y aquellas que involucran reacciones químicas o cambios físicos, es muy difícil de llevar a cabo (Vaillant Callol 2013).

4.2. Relación con los agentes abióticos

Los agentes abióticos, también conocidos como factores indirectos de deterioro o deterioro atmosférico, constituyen las condiciones ambientales del área en que se ubica el bien cultural; sea un sitio arqueológico, la sala de exhibición de un museo, la habitación de una casa o el área de colecciones en tránsito de un instituto de investigación. Estos agentes abióticos pueden operar como condicionantes de la colonización biológica (Allsopp *et al.* 2004) o como elementos retroalimentadores de la misma, al contribuir al deterioro natural del material. Hay que tener presente que los distintos materiales poseen diferentes propiedades, composición química de sus elementos constitutivos, estructura y tecnología de manufactura, que constituyen elementos claves en la forma e intensidad en que incidirán los factores indirectos de deterioro.

En líneas generales, es difícil determinar que factor es el ocasionador de determinada alteración en tanto no operan individualmente sino en conjunto, por lo que conocer cuáles son los valores a partir de los cuales cada uno de ellos se torna dañino es fundamental (Valgañón 2008). A continuación una breve revista de aquellos factores ambientales vinculados de forma directa con el biodeterioro de los materiales, en otras palabras, serán excluidos los que no involucren agentes biológicos explícitamente.

4.2.1. Agua

Hace referencia no sólo a su estado líquido, sino a la humedad contenida en el ambiente y en el interior de los materiales. Los materiales orgánicos, independientemente de que hayan sido resecados para su uso, poseen la capacidad de reabsorción de la humedad ambiental cuando los valores de ésta son mayores a la propia. La humectación genera que el material se expanda, mientras que la pérdida de humedad por evaporación hace que este se contraiga. Al contrario, cuando la humedad ambiental es menor a la del objeto, este libera agua. De este modo se establece una relación de homeostasis entre ambiente y objeto (Valgañón 2008). Para los materiales inorgánicos ocurre algo similar que depende de la porosidad de su estructura. En estos casos la capacidad de transportar sales solubles del agua hace que éstas sean capaces de ingresar a los poros internos y generar mayor presión física al cristalizar las sales. También, la presencia de carbonatos solubles al interior de materiales inorgánicos puede generar reacciones químicas capaces de alterar la cohesión de los elementos constitutivos (minerales, por ejemplo) o algunas de sus características (colores de los pigmentos, por ejemplo). Sea por la continua humectación y resecación del material o por el congelado y descongelado del agua a su interior, el estrés de la estructura se incrementa y se agrieta. Con el paso eventual del tiempo, este se fractura. Un ejemplo de este proceso es presentado por Little (2000) con el vidrio y la cerámica, donde la condensación de humedad y su reiterada evaporación sobre las superficies generan su fisuramiento.

Los agentes biológicos, en tanto seres vivos, también se expanden cuando saturan de humedad y retrotraen cuando la pierden. En consecuencia, aquellos materiales afectados por las fluctuaciones de HR y también colonizados por agentes biológicos, generaran una doble tensión mecánica en la estructura del material.

Además, las grandes cantidades de agua en su estado líquido también pueden contribuir a dañar los materiales o a erosionarlos, en el caso de lluvias torrenciales que arrastren partículas sólidas contra estos o que hagan rodar los mismos materiales contra el lecho de un río, por ejemplo.

Existen varios métodos para expresar la humedad del aire pero el más frecuente es la humedad relativa (HR): relación entre humedad absoluta (gramos de vapor de agua por metro cúbico de aire) y cantidad de vapor de agua necesaria para alcanzar la saturación o condensación; expresada en porcentajes del uno al 100. La humedad de saturación varía con la temperatura, instituyéndose entre ambas una vinculación directa: a mayor temperatura (T) mayor vapor de agua en el aire, ergo, mayor humedad de saturación (Valgañón 2008).

4.2.2. Temperatura

La temperatura (T) *per se* no conlleva implicancias negativas para los materiales, a diferencia del agua, pero su retroalimentación con la HR o sus oscilaciones repentinas provocan fenómenos de dilatación al incrementarse y contracción al disminuir. La cercanía temporal de estos fenómenos provoca alteraciones físicas en las capas superiores del material como fisuras, grietas y ahuecamientos. Asimismo, como es probable que el objeto cultural esté compuesto por más de un componente, la estructura que lo sostiene se verá más debilitada por el impacto en que este factor tenga en sus diferentes partes, siendo en el peor de los casos, el de su fractura (Valgañón 2008). La presencia de concavidades inexistentes o mayores al interior del material genera microambientes aptos para la colonización por microorganismos que tienden al ser más templados que el ambiente exterior. Es importante recordar que las T extremas no son toleradas por todo tipo de organismos, por lo que la presencia de bajas o altas temperaturas condiciona en cierta manera el tipo de agentes biológicos que puedan llegar a desarrollarse en dichas condiciones.

4.2.3. Luz

Las fuentes luminosas emiten un espectro de radiaciones, un conjunto de ondas con diferentes longitudes cuya unidad de medida son los nanómetros (nm). Las radiaciones de ondas más prolongadas y fuertes, de mayor energía, son las siguientes:

- 300 a 400 nm: radiación ultravioleta (UV),
- 400 a 740 nm: radiación visible,
- 740 nm en adelante: radiación infrarroja (IR).

La principal fuente lumínica es el Sol, sin embargo, no todas sus radiaciones consiguen atravesar la atmósfera y llegar con la misma intensidad, variando por la rotación terrestre que acerca más la Tierra al sol de acuerdo a la latitud y a la estación del año. Son las de muy baja longitud de onda como las IR o UV, las que producen los daños más severos al ser absorbidas por los materiales, en especial los de naturaleza orgánica (Valgañón 2008). No obstante, existen otro tipo de fuentes lumínicas de origen cultural como lámparas incandescentes o de descarga (ver Valgañón 2008 para mayor detalle) que emiten calor propio.

La alteración que las radiaciones electromagnéticas producen en los materiales es la ruptura de los enlaces moleculares y, depende del tiempo de exposición, de la resistencia del material y de la

energía de la longitud de onda. Por ejemplo, la fotooxidación de materiales (pérdida de electrones) puede producir la alteración de los colores o la destrucción de ciertos pigmentos de manera total y, en el caso de la luz IR, su efecto calórico genera la dilatación de materiales orgánicos como lo es la madera (Valgañón 2008) o el cuero.

La importancia de la luz para el biodeterioro radica en la necesidad vital de ciertos organismos como los árboles, plantas vasculares, líquenes, algas y cianobacterias, de adquirir sus nutrientes por medio de la fotosíntesis a través de una exposición prolongada. Mientras que en el caso de otro tipo de microorganismos como los hongos y las bacterias o, incluso insectos como las termitas, la luz es innecesaria y hasta dañina en algunas especies.

4.2.4. *Viento*

De acuerdo a la intensidad del viento y al tipo de factores con los que se encuentre vinculado, variarán las alteraciones producida sobre los materiales. A partir de 20-28 km/h, el viento es capaz de levantar partículas de polvo que al impactar sobre otros elementos generan erosión que se agrava si hay precipitaciones involucradas. En los ambientes húmedos con elevados volúmenes de sales en el aire, como lo son los cercanos a la costa, el viento no sólo transporta estas partículas sino que las incrusta contra las superficies erosionadas de los materiales donde cristalizan y dan lugar a manchas blancuzcas o eflorescencias (Valgañón 2008).

Para los agentes biológicos la existencia del viento es muy beneficiosa en tanto contribuye a la dispersión de sus esporas, cédulas y conidios resistentes que se separan del organismo principal para su reproducción. En casos de condiciones ambientales desfavorables, ciertas bacterias esporulan para disminuir sus actividades vitales. En caso de los conidios o esporas de origen fúngico, logran diseminarse por amplias extensiones de la superficie terrestre e introducirse en los poros de los materiales y acceder, por una simple brisa, a espacios que a simple vista parecen ser cerrados.

4.2.5. *Contaminación y aerosoles*

El tipo de contaminación más frecuente es la atmosférica e implica el cambio de la composición del aire por la presencia de agentes naturales o antrópicos. Si bien los agentes naturales son los producidos espontáneamente en la naturaleza en mayores cantidades, su incidencia negativa es menor a la generada por los agentes antrópicos en menores proporciones pero concentrados en áreas más puntuales (Valgañón 2008).

Al igual que con los otros factores enunciados, las alteraciones por contaminación dependen de las propiedades del material, el tiempo de exposición, la concentración de contaminantes y su fluctuación a lo largo del tiempo, el tipo de contaminantes (su composición) y, los posibles sinergismos entre los contaminantes presentes. En el caso de algunos materiales, su degradación natural de por sí segrega elementos contaminantes que, al retroalimentarse con otros factores como HR y T, pueden agravar el proceso de degradación. En líneas generales los gases contaminantes inhiben el desarrollo algunos microorganismos, razón por la que la presencia de ciertas especies de líquenes y musgos son utilizados como biodindicadores de la pureza del aire (Nash III 2008).

Los aerosoles son las partículas diminutas de sólidos o líquidos en suspensión de origen natural o antropogénico que al depositarse sobre las superficies constituyen la suciedad de los objetos. Las naturales pueden constituir polvo a partir de la erosión de calizas y sílices, sales del agua del mar o, resultar de la actividad biológica como lo son las esporas, el polen, las semillas y los microorganismos. Las antropogénicas, suelen ser resultado de la actividad industrial o calefacciones domésticas, hollín e hidrocarburos respectivamente. Dependiendo de su tamaño, al depositarse sobre las superficies pueden ocasionar abrasión. Asimismo, si se tratan de gases como los mencionados en las subsecciones anteriores, al establecer contacto con los metales se generan las alteraciones ya nombradas. En otros casos, los mismos aerosoles pueden transportar microorganismos que al depositarse en objetos culturales acaben adhiriéndose y conformando *biofilms*.

4.3. Biodeterioro del patrimonio arqueológico a nivel internacional

Es inherente a la naturaleza de todos los materiales y los bienes derivados de estos, que se deterioren con el que el transcurso del tiempo. Éstos poseen un valor económico intrínseco y su daño o avería implica una pérdida financiera. Situación particularmente cierta para los bienes industriales, materiales para la construcción o manufactura de bienes comerciales. Sin embargo, los bienes patrimoniales tangibles (en tanto constituidos por materiales físicos) poseen además un inherente valor social y simbólico que connota tradiciones, culturas, significados, relaciones sociales e identidades, que va mucho más allá de su valor monetario (Ballart 1997; Hernández y Tresserras 2008; ICAHM-ICOMOS 1990). La pérdida o daño de estos bienes entraña la pérdida de todos los valores, significados, saberes e identidades que representan y, eso, es inestimable.

En consecuencia, existe una extensa literatura interdisciplinar abordando la temática del biodeterioro del patrimonio cultural que puede ser consultada en parte en el sumario de publicaciones de carácter internacional realizado por Piervitori *et al.* (1994; 1996; 1998; 2004). Uno de los libros que dan cuenta del enfoque de las investigaciones que abordan el biodeterioro del patrimonio arqueológico es *Biodeterioration of stone surfaces: lichens y biofilms as weathering agents of rocks y cultural heritage* de St. Clair y Seaward (2004). Además, se ha desarrollado una nueva línea de investigación especializada en la conservación de los recursos bibliográficos en papel y material digital (Borrego *et al.* 2010, 2018; Chadeganipour *et al.* 2013; Guiamet *et al.* 2011; Lavin *et al.* 2014; Vaillant Callol 2013).

Otras materialidades arqueológicas que han sido estudiadas en proporciones relativamente menores a la arquitectura y el arte mueble e inmueble son, por ejemplo, la madera (Blanchette 2000; Konsa *et al.* 2014; Moskal del Hoyo *et al.* 2010), los metales (Sánchez del Junco *et al.* 1992), los cueros (Strzelczyk *et al.* 1997), los textiles (Guiamet *et al.* 2014, 2015; Pietrzak *et al.* 2016, 2017b); el óseo (Jans *et al.* 2004; Jans 2008) y la cerámica (Colonna Preti y Eeckhout 2014; Seaward 1988, 2004). Se evidencia así, a partir de la amplia literatura, que los agentes biológicos que más frecuentemente impactan el patrimonio cultural son los macro y microorganismos como aves, roedores, plantas vasculares, insectos, líquenes, cianolíquenes, moluscos, algas, hongos y bacterias (Gaylarde y Gaylarde 2005; Guiamet *et al.* 2008a, 2012; Vaillant Callol 2013; entre otros).

No obstante, dependiendo de la naturaleza del sustrato cultural, algunos bienes patrimoniales pueden ser más susceptibles que otros a este proceso. Así, sobre los soportes inorgánicos

prevalecerán los organismos autótrofos mientras que sobre los orgánicos los heterótrofos. En el caso de los soportes inorgánicos, sobre todo los que están a la intemperie (monumentos usualmente) los organismos autótrofos pueden ser los primeros en establecerse, pero a continuación y a expensas de los productos metabólicos de estos y de las sustancias orgánicas procedentes de los combustibles fósiles, se establecen los heterótrofos, formándose distintas biocenosis así como cadenas tróficas. Los monumentos se convierten, de esta manera, en auténticos ecosistemas. Lo mismo puede acaecer de igual forma pero a menor escala, con otros tipos de bienes culturales (Guiamet *et al.* 2012, 2013). Los bienes compuestos por materiales orgánicos al poseer elevados valores de carbono en su estructura elemental presentan sustratos nutritivos para la actividad microbiológica (Madigan *et al.* 2009; Valgañón 2008) y son más susceptibles al biodeterioro. Mientras que en los sustratos inorgánicos, como las rocas, los metales, la cerámica y el vidrio, se requieren una serie de condiciones ambientales y características estructurales particulares para que se produzca el ataque biológico, en tanto sus principales agentes son microorganismos, susceptibles a la disponibilidad de agua, la amplitud térmica, la humedad y la luz solar e ultravioleta (Allsop *et al.* 2004).

Para una síntesis de los agentes biológicos identificados con mayor frecuencia en el biodeterioro de materiales orgánicos como el papel, la madera, los tejidos, el pergamino, la piel y, las tintas y sustancias filmogénicas, e inorgánicos como la piedra, el vidrio, los metales y los pigmentos, ver Valgañón (2008). La autora hace, además, un análisis específico del biodeterioro de obras de arte siempre incluyendo tablas, cuadros sinópticos y bosquejos que ayudan a la comprensión del contenido.

Parámetros estructurales del sustrato tales como porosidad, permeabilidad y resistencia, la morfología de la estructura y su estado de conservación (baja ductilidad, presencia de abrasión de las superficies o microfracturas), son determinantes para el entendimiento de las interacciones entre los agentes biológicos, el ambiente y el objeto patrimonial a lo largo del tiempo (Berthelin 1985; Guiamet *et al.* 2012; 2013).

Algunas de las alteraciones visibles ocasionadas por este proceso en el patrimonio cultural incluyen defectos en las superficies como deformaciones en la estructura, separación de las fibras, perforaciones, manchas microbianas, descoloración, desprendimiento de pintura y abultamiento del yeso. Los cambios cromáticos en sustratos rocosos producidos por pigmentos biogénicos, pueden llegar a alterar la apariencia estética del sustrato y tienen serias implicancias para la interpretación y significación del arte mueble e inmueble (arte rupestre, frisos, murales, pinturas, esculturas, figurillas, entre otros) (Guiamet *et al.* 2008). La alteración de las propiedades, mecánicas, incluyendo la resistencia que es fundamental en elementos estructurales, pone en riesgo la durabilidad del material (Dakal y Cameotra 2012).

Entre los macro y microorganismos que afectan más a los bienes patrimoniales, hongos e insectos desempeñan un rol protagónico en tanto también presentan riesgos de infección para el personal humano que manipula las colecciones contaminadas (Vaillant Callol 2013). Los efectos perjudiciales para la salud producidos por hongos en el patrimonio documental ha sido intensamente investigado (Guild y MacDonald 2004; Borrego *et al.* 2010; Strang y Kigawa 2009).

En pocas palabras, el biodeterioro es un fenómeno complejo que puede tener diferentes causas, orígenes y manifestaciones de acuerdo al tipo de material en que se desarrolle y al medio ambiente

en que se encuentre, por lo que hace que cada tipo de sustrato cultural requiera de medidas específicas para su control y erradicación (Vaillant Callol 2013).

Las investigaciones desarrolladas sobre diferentes materialidades aún son muy acotadas para poder dar cuenta del total de variabilidad producida en los procesos naturales de biodeterioro *in situ*. Además, gran parte de ellas se han focalizado sobre los objetos y su área de guarda y/o exhibición, en tanto procesos de deterioro físico que ponen en riesgo su conservación y no sobre la dinámica de este proceso en el ambiente natural de los sitios arqueológicos (Pannizza *et al.* 2015; Ward y Larcombe 2003). Para poder comprender la variabilidad presente en el tipo y forma de daño que pueden ocasionar los líquenes y otros microorganismos en el registro cerámico arqueológico, u en otras materialidades, como su vinculación con las variables ambientales y los procesos de formación de sitio, se requieren el desarrollo de más investigaciones e, investigaciones desde una perspectiva arqueológica principalmente.

4.4. Biodeterioro en la arqueología a nivel nacional

En nuestro país las investigaciones arqueológicas sobre biodeterioro han sido escasas en contraposición con las investigaciones desarrolladas a nivel internacional que incluyen una amplia variedad de agentes biológicos, materialidades y técnicas de estudio. Tres diferentes líneas del estudio se identifican cuando se reconoce la presencia de líquenes en materiales arqueológicos.

En primer lugar, las investigaciones centradas en cronologías relativas mediante la aplicación de curvas calibradas de crecimiento del taxa *Ryzocarpon* sobre estructuras de rocas localizadas en la Patagonia (Garibotti y Villalba 2009; Borrero *et al.* 2011; Garibotti *et al.* 2011) o en el noroeste argentino (Albeck 1996). En segundo lugar, los estudios recientes vinculados a los proceso de formación de sitio sobre instrumental lítico en Patagonia (García *et al.* 2015). En último lugar, las investigaciones sobre biodeterioro en el país no iniciaron por arqueólogos ni sobre el registro arqueológico argentino, sino por el equipo de investigación interdisciplinar de microbiólogos del Doctor Héctor Videla y posteriormente de la Dra. Patricia Guiamet¹. Una breve mención de la trayectoria de este equipo muestra el abordaje de diferentes materialidades. El arte rupestre del sistema Serrano de Ventania (Buenos Aires) fue estudiado a partir de la perspectiva de un turismo cultural sustentable (Gallego y Oliva 2005; Gallego y Pannizza 2005; Guiamet *et al.* 2008a, 2010b, 2010c). Los textiles del valle de Tastil (Salta), almacenados en el depósito 25 del Museo de Ciencias Naturales de La Plata, fueron abordados desde una mirada más microbiológica y descriptiva enfocada en la aplicación de diferentes métodos para el control y desinfección de microorganismos (Guiamet *et al.* 2014; Pietrzak *et al.* 2017). las cerámicas *in situ* del valle de Antinaco central (La Rioja), finalmente, fueron investigadas no sólo desde la perspectiva del biodeterioro sino también problematizando las estrategias de la conservación preventiva y la aplicación de métodos de control y remoción de los organismos identificados (Soto 2015; Soto *et al.* 2016; Soto *et al.* 2017; Soto y Guiamet 2017; Guiamet *et al.* 2018). Investigaciones en curso de este equipo interdisciplinar abordan el biodeterioro de estructuras líticas del Sistema Serrano de Ventania (Buenos Aires) y metales precolombinos (Santiago del Estero, Catamarca y Buenos Aires).

¹ Laboratorio de biodeterioro de materiales – Doctora Patricia S. Guiamet, INIFTA (UNLP-CONICET), La Plata, Buenos Aires, Argentina.

No obstante, hoy en día existen otros grupos interdisciplinarios que abordan la temática del biodeterioro en el país sobre material lítico (Magnin *et al.* 2017) y sobre arte rupestre (Corbalán *et al.* 2017), pero su trayectoria e investigación de esta temática tan compleja recién está iniciando.

La tardía interrelación entre la microbiología aplicada y la liquenología en la arqueología argentina, en comparación a las abundantes investigaciones citadas en este mismo escrito que dan cuenta de un intercambio fluido desde hace varias décadas a nivel mundial, no se debe al desconocimiento de sus beneficios para investigaciones arqueométricas. En el caso de la liquenología, sus usos fueron esbozados tempranamente por Joubert *et al.* (1983) pero recién a finales de los noventa la disciplina empezó a desarrollarse en el país (Calvelo 1998). En cambio, la microbiología si bien tuvo un desarrollo más temprano (fundándose en 1948 la Asociación Argentina de Microbiología AAM), los trabajos de carácter interdisciplinar que involucran arqueólogos inician en el país a partir del año 2000 (ver *supra*). Razón por la que el avance de técnicas de preservación y control en objetos patrimoniales a nivel microbiológico ha sido escasamente investigado desde la arqueología. Esta situación puede estar vinculada a que la formación en dicha disciplina en las diferentes universidades nacionales es de tinte más social, existiendo escasas materias que aborden temáticas exactas o cuestiones biológicas y ambientales.

El relevamiento de la diversidad y variabilidad de la biota liquénica y de la presencia de microorganismos de amplias zonas del país, en consecuencia, es escaso. Ello genera desconocimiento sobre la ecología y etología de las especies y también, sobre cómo éstas interactúan con el medio ambiente y con los diversos sustratos naturales y culturales sobre los que subsisten o con los que se interrelacionan. La colonización de construcciones rocosas históricas o arqueológicas por estos microorganismos es un fenómeno común y ampliamente aceptado por la biología (Allsopp *et al.* 2004; Hueck 1965, 1968; Madigan *et al.* 2009). Únicamente hace falta que se incrementen las investigaciones en el registro arqueológico nacional desde una perspectiva más integrada y holística, que no sólo contemple el carácter descriptivos y técnicos desde las ciencias biológicas, sino también la mirada social tan característica de las ciencias humanísticas como la arqueología.

Para resumir, tampoco a escala local existen demasiados antecedentes sobre el detrimento que se genera por el biodeterioro en el material arqueológico y o histórico. Las investigaciones existentes se encuadran en la tendencia internacional indicada en el acápite previo. Nuevamente, sin dicha información no se puede proceder en generar procedimientos de conservación adecuados ni en la gestión patrimonial de estos restos para nuestro país.

4.5. Peligros para la salud

Las diversas investigaciones que se han venido desarrollando en los objetos patrimoniales han identificado al menos 200 especies diferentes de microorganismos involucrados en su deterioro (Vaillant Callol 2013). Sean parte de los microorganismos que normalmente se encuentran en el aire de nuestras instituciones o algunos de los que conviven con los objetos culturales sin provocar daños, valores fluctuantes o cambios en los parámetros ambientales pueden desencadenar la acción patógena de algunos de ellos.

Los problemas de salud vinculados a la patogenicidad de objetos culturales han sido poco estudiados (Guild y Mac Donald 2004; Villant Callol 2013), si bien gran cantidad de trabajos sobre la temática se abocan a material de archivos o bibliotecas tradicionales (documentos cuyo soporte

es el papel o sus derivados). Los microorganismos con rasgos patógenos se definen por la especificidad de la afección que provocan.

La infección de un individuo por un patógeno no implica necesariamente que este enfermo, dependen de su sistema inmunológico y de la presencia de afecciones particulares que lo puedan hacer más susceptible a determinada infección (alergias, asma, déficits respiratorios, mala alimentación, enfermedades somáticas, diabetes, intoxicación por alcohol recurrente y cansancio excesivo) (Villan Callol 2013). La toxicidad derivada por micotoxinas es producida por diferentes hongos y, entre los géneros más frecuentes son *Aspergillus*, *Penicillium* y *Stachybotrys*. Los tipos de efectos varían de acuerdo al tipo de micotoxina, a la naturaleza de la exposición y al grado de la misma. Algunos efectos frecuentes son: irritación de mucosa nasal, mareos, náuseas, sarpullidos, inmunosupresión, defectos en el nacimiento y hasta cáncer.

5. Métodos de control del biodeterioro del patrimonio cultural

A grandes rasgos existen dos tipos de estrategias a aplicar para el control del biodeterioro del patrimonio cultural. La primera apunta a la prevención del establecimiento de agentes biológicos o al control de infestaciones ya identificadas mediante la regulación de los factores indirectos de deterioro, la concientización del personal y la aplicación de los lineamientos de la conservación preventiva de mínima intervención. La segunda requiere de la acción inmediata, probablemente directa o indirecta, para erradicar de ser lo posible el biodeterioro de los objetos patrimoniales. Desde la conservación este tipo de medidas se denominan curativas.

5.1. Medidas preventivas

La medida preventiva de primer orden para controlar la infestación por agentes biológicos o disminuir su proliferación, son las actividades de limpieza. La eliminación del polvo en tanto elemento ácido que funciona como adherente de diversas partículas y factor atrayente de todo tipo de plagas es fundamental (Villan Callol 2013). Un espacio de trabajo óptimo para almacenar las colecciones o para trabajar con ellas, debe cumplir con el requisito de limpieza antes que ningún otro. Mantener el orden y no acumular materiales, equipos u otros elementos indeseables o fuera de uso evita la acumulación de suciedad en áreas o elementos que no son usualmente manipulados. La limpieza implica, a su vez, optimizar el uso del espacio y la organización de todos los elementos y mobiliario a su interior. Las estanterías deben estar alejadas de las paredes y cubiertas por un cortinaje aislante. Las mesas deben permitir la circulación libre del personal y tener un buen acceso. Las cajas con materiales no deben estar depositadas en el suelo, no entre las estanterías y el piso o debajo de las mesas y, todas ellas deben estar debidamente rotuladas (tipo de material que contienen, contexto de proveniencia, referencia al equipo de investigación que lo recuperó o lo está trabajando y cualquier otra información de relevancia). Es primordial que las cajas constituyan contenedores apropiados para el tipo de objetos culturales que contienen para garantizar su mejor preservación.

Mantener limpio el espacio de trabajo también significa que no se debe realizar ingesta de alimentos ni bebidas de ningún tipo en tanto atraen microorganismos y roedores. La higiene del personal es básica en tanto secreciones humanas como la transpiración y la saliva también atraen microorganismos (Villal Callol 2013).

Las estrategias más frecuente y habituales empleadas para evitar la suciedad de las superficies de cualquier objeto y el posterior establecimiento de plagas en tanto agentes biológicos causantes del biodeterioro (Strang y Kigawa 2009), como la activación de reacciones químicas al interior de los componentes de los objetos que provoquen daños físicos y químicos irreversibles, es la regulación de las condiciones ambientales. Los valores escogidos variaran dependiendo del tipo y composición de los materiales, su estado de conservación, el estado de conservación edilicio y las condiciones geográficas. La imposición de valores consensuados genéricos para todo tipo de objetos en diferentes tipos de construcciones (mayor información sobre tipos de construcciones en Kerschner 2007) sólo contribuye a empeorar la situación. Además deben establecerse filtros para reducir el ingreso de polvo y para la luz UV (Michalski 2006) si el lugar de guarda lo requiriera por presencia de ventanales, y efectuarse controles regulares de plagas, ya que la presencia de HR y T incorrecta en retroalimentación con los factores mencionados, contribuye a la formación hongos que alteran el valor nutritivo de los objetos atrayendo otras plagas como insectos y roedores (Strang y Kigawa 2009). El grado de aireación también es muy importante porque en ambientes con baja circulación de aire se favorece la condensación de vapor de agua y, si además la HR es alta y las superficies de los objetos son frías, se potencia el desarrollo de microorganismos (Valgañón 2008).

El control de estos factores (Tabla 1) se plantea como determinante para la prevención del biodeterioro de los bienes culturales orgánicos, mientras que para los bienes inorgánicos trata de evitar otros tipos de deterioros. Sin embargo, los valores de HR para archivos oscilan entre 50 y un máximo de 65% a diferencia de lo planteado por Michalski (Lavin *et al.* 2014).

Nuevos factores de deterioro		
Agente de deterioro	Riesgos del agente	Azares
Fuerzas físicas directas (cloques, abrasiones, vibraciones y gravedad).	Rotura, deformación, perforación, oquedades, arañazos, abrasión.	Temblores, guerra, mala manipulación, almacenes sobrecargados, tránsito dentro y fuera del área de guarda/museo.
Robo, vandalismo y pérdida involuntaria	Pérdida total/parcial (objetos pequeños y/o valiosos), mutilación (objetos simbólicos).	Delincuentes, público/visitantes, personal.
Fuego	Quemaduras, destrucción total, depósitos de hollín y residuos de humo. Daño colateral provocado por el agua.	Instalación de exposición, sistemas de iluminación-electricidad defectuosos, incendios voluntarios, fumadores negligentes, construcciones adyacentes.
Agua	Manchas y contornos en mat. porosos. Dilatación mat. orgánicos. Dilución de la goma. Separación de capas, levantamientos y combaduras de objetos laminados. Aflojamiento, rotura o corrosión objetos ensamblados. Encogimiento de telas o tejidos.	Inundaciones, tempestades, techos defectuosos, cañerías y desagües defectuosos, matafuegos sumergidos.

Plagas (insectos, roedores, aves, animales pequeños, moho, microbios).	Destrucción mat. orgánicos, perforación, desgaste, galerías. Excrementos que destruyen, debilitan, manchan o desfiguran los materiales (principalmente orgánicos).	Paisaje circundante. Vegetación en el perímetro del edificio. Presencia de basura. Introducción de mat. de construcción y de nuevos artefactos. Movimiento de personal y visitantes. Alimentos derramados.
Contaminantes (gases internos y externos, líquidos y sólidos - aerosoles).	Desintegración, decoloración o corrosión de todos los artefactos, sobre todo de los materiales porosos y reactivos.	Contaminación urbana (ej. dióxido de carbono), natural (ej. oxígeno). Mat. de construcción (ej. polvo), de embalaje y mantenimiento. Algunos artefactos.
Radiaciones (rayos ultravioletas y de luz visible).	UV: desintegración, decoloración, oscurecimiento, amarilleo de la sup. de los mat. orgánicos y de algunos inorgánicos coloreados. Luz visible: decoloración u oscurecimiento de la capa externa opaca de pinturas y de la madera a una profundidad <i>ca.</i> 10 a 100 μm , o más, en función de la transparencia de las capas.	Luz del día. Tragaluces, ventanas. Iluminación eléctrica.
Temperaturas (T) Contraindicadas (elevadas, bajas y fluctuantes).	Alteración de los colores y desintegración progresiva de los mat. orgánicos, sobre todo si son químicamente inestables (ej. papel ácido, fotografías en colores, películas de nitrato y de acetato). Friabilidad o fluctuación que provoca el agrietamiento de la pintura y de otros polímeros. Separación de las capas de los mat. sólidos quebradizos. Fuentes de fluctuaciones de HR.	Clima local. Luz del sol. Instalaciones técnicas defectuosas.
Humedad relativa (HR) contraindicada (más del 75%, fuera del umbral indicado, superior a 0% y fluctuaciones).	Moho (manchas sobre los materiales y debilitamiento), corrosión (metales), dilatación, encogimiento (textiles y tejido apretados). Hidratación o deshidratación de algunos minerales y corrosión de los metales que contienen sales. Alteración de los colores y desintegración progresiva de los mat. orgánicos, sobre todo si son químicamente inestables. Separación, levantamiento de las capas y disminución de la tensión de las juntas en los componentes orgánicos de los objetos.	Clima local. Salideros de agua. Paredes frías. Instalaciones técnicas defectuosas. Ventilación inadecuada.

Tabla 1. Nueve factores indirectos de biodeterioro. Adaptada de Michalski (2006).

Por otro lado, existen ciertos valores consensuados para los casos de materiales cerámicos que son: HR de 45-50% y T de 18°-20°C, ambos con fluctuaciones no mayores a 5°C (Becerra Angulo 2009; Cronyn 1990; Michalski 2006). Hay que destacar, que las colecciones pueden alcanzar un nuevo equilibrio y mantenerse estables al adaptarse a las condiciones ambientales y geográficas del área de guarda a pesar de que éstas no estén representando los parámetros consensuados.

El principal inconveniente que se presenta es determinar para cada factor cuales son los parámetros adecuados en las diferentes variables involucradas y, si la regulación de ciertos parámetros para cierta variable en relación a cierto favor, no incidirá negativamente en otro. Valores que son buenos para inhibir el crecimiento de determinados microorganismos pueden ser

aptos para la proliferación de otros. Por ejemplo, disminuir la HR al 30% para impedir el desarrollo de hongos y bacterias puede contribuir a la infestación por insectos, adaptados a condiciones más secas (Valgañón 2008).

Cuando los bienes culturales se hayan en directo contacto con el medio ambiente, al exterior de los edificios, la regulación de los factores mencionados es prácticamente imposible. Si se trata de una zona geográfica húmeda, la humedad trepará desde las napas subterráneas a las paredes de las construcciones o será absorbida por la porosidad de los materiales por las precipitaciones. Protecciones para las lluvias y la radiación solar no siempre son posibles. La instalación de dispositivos para impedir la anidación de aves tampoco suelen ser efectivos. Sí es relativamente eficiente la aplicación de consolidantes o resinas para bloquear la porosidad de los diferentes materiales, pero la exposición a los agentes abióticos hacen que su duración sea acotada y que requiera de un mantenimiento regular (Valgañón 2008).

5.2. Medidas curativas

La aplicación de medidas preventivas no siempre es posible (carencia de los medios) o eficiente (tratamiento inadecuado o incorrecto y / o el objeto cultural arribó ya impactado por agentes biológicos). Es entonces que se debe proceder a diagnosticar el estado de biodeterioro del objeto: detectar las alteraciones presentes y los agentes biológicos involucrados, evaluar la situación, seleccionar el tratamiento más adecuado, aplicarlo y luego controlar la evolución del tratamiento y la no reincidencia de los agentes biológicos.

Cuando se ha constatado la presencia de biodeterioro o de una plaga de animales (roedores, murciélagos, insectos, aves, etc.), el primer paso es identificar las especies y localizar el área de ingreso. A veces la presencia del biodeterioro es evidente, pero es difícil determinar dónde se hallan los agentes causantes o cómo han ingresado al edificio y o contenedor. En el caso de elementos inorgánicos otros procesos de deterioro o degradación pueden hacer confuso que indicador corresponde a que proceso. Además, si el biodeterioro se da al interior del material no será visible a ojo desnudo y sólo la realización de análisis específicos de laboratorio corroborara la presencia o ausencia de microorganismos al interior del sustrato. La excepción a estos casos es cuando el estado de biodeterioro es muy avanzado y los indicadores de los agentes biológicos se hacen evidentes, como podría ser la presencia de termitas en elementos de madera.

El segundo paso es evaluar el estado del material, la intensidad de las alteraciones y su extensión. ¿Es posible remover los agentes biológicos sin generar mayores daños? Ese es el interrogante guía que se debe tener presente antes de decidir implementar cualquier método de control o remoción. En algunos casos eliminar una especie significa la posterior proliferación de otras, en otros, la especie resurge con el correr del tiempo porque su remoción no fue completa o simplemente es imposible. Los líquenes son el ejemplo más nítido de este tipo de situaciones, removerlos significa arrastrar parte del material al que se encuentran adheridos, exponiendo el interior del sustrato a la colonización por otros microorganismos que anteriormente no tenían forma de ingresar al interior de la estructura (De los Ríos et al. 2009). Asimismo, de acuerdo al estado de conservación del material, la aplicación de intervenciones previas al tratamiento para consolidar su estructura sea necesaria.

El tercer paso es la selección del tratamiento más apropiado dado los agentes biológicos registrados, el tipo de material, su estado de conservación y las formas de aplicación viables.

Algunas de las cuestiones a tener en mente en esta etapa es que el tratamiento debe ser reversible, no afectar a la integridad física del material o a la información que contiene (especialmente para objetos arqueológicos), deben evitarse sustancias tóxicas para el hombre y contaminantes para el medio ambiente. La efectividad por prolongados periodos de tiempo o la incidencia sobre más de una especie de microorganismos no siempre puede ser cumplida. En consecuencia, tenemos métodos que implican una intervención directa: mecánicos, físicos y químicos (Borrego et al. 2010; Guild y MacDonald 2004; Lavin *et al.* 2014; Strang y Kigawa 2009; Vaillant Callol 2013) y; métodos físicos de incidencia indirecta que involucran la alteración de las condiciones que rodean al material y no al objeto en sí. Otro tipo de método no muy frecuente que requiere de un control más estricto son los biológicos, es decir, combatir una plaga con otra plaga.

5.2.1. *Métodos mecánicos*

Incluyen la eliminación de los organismos con implementos manuales como cepillos, espátulas, bisturíes, etc., por fricción de las superficies o la presión de fluidos o aire. La fricción no suelen eliminar por completo a los agentes biológicos y cuando éstos se encuentran muy adheridos al sustrato conlleva su abrasión. Asimismo, se corre el riesgo de dañar las estructuras almacenadoras de pigmentos de dichos microorganismos ocasionando manchas en el material. Empero, resultan particularmente útiles combinados con métodos químicos pre y post aplicación. La presión de agua o aire se emplea cuando las superficies son irregulares y difíciles de alcanzar con un cepillo o cuando existen diminutos canales internos (Reichert 1997).

Los limpiadores automáticos o mecánicos más comunes usados en las ciencias de la salud son los ultrasonidos y las lavadoras. Por un lado, la limpieza ultrasónica elimina los sedimentos por cavitación e implosión en la cual las ondas de energía acústica se propagan en soluciones acuosas para romper los enlaces que mantienen las partículas en contacto con las superficies (Rutala y Weber 2017). Este método por sí sólo no desactiva los microorganismos, en especial los fuertemente adheridos al sustrato, pero si se lo combina con alguna otra sustancia biosida puede incrementar sinérgicamente su eficacia (Jatzwauk et al. 2001). Dependiendo de la adherencia del agente biológico, la exposición por un periodo de entre 10 y 20 minutos debería ser suficiente para una limpieza exitosa. Por otro lado, los esterilizadores de lavado son esterilizadores de vapor modificados que se limpian llenando la cámara con agua y detergente u otro tipo de sustancias desinfectantes a través de los cuales pasa el vapor para proporcionar agitación. Algunos modelos ejecutan un ciclo de lavado seguido de un ciclo de esterilización de vapor a 140,55 °C (Rutala y Shafer 1996) mientras que otros, someten los instrumentos a un ciclo de calor (vg. 93 °C durante 10 minutos). Este tipo de lavadoras usualmente se controlan por computadora para limpiar, desinfectar y secar equipos quirúrgicos y médicos sólidos (Rutala y Weber 2014). La desventaja es que estos equipos están diseñados para instrumentos quirúrgicos, material de laboratorio o elementos de dimensiones pequeñas. Además, los objetos deben ser sometidos a soluciones acuosas y, en consecuencia, los microorganismos son rehidratados durante el proceso y el biodeterioro se reactiva.

5.2.2. *Métodos físicos*

Existen gran variedad de métodos físicos que pueden aplicarse al control del biodeterioro o a la eliminación de sus agentes biológicos. Podemos subdividirlos a grandes rasgos en irradiación

electromagnética (gamma, UV y *röntgen*), irradiación de partículas cargadas con alta y baja energía; alteración de las condiciones físicas en torno al objeto (anoxia y atmósferas con gases específicos) y métodos térmicos (congelado, calentamiento y anoxia).

Las irradiaciones electromagnéticas suelen tener un buen grado de penetración de los materiales, entre las que destaca la gamma porque no transforman el material irradiado en radioactivo, permitiendo disponer de los materiales inmediatamente después de la irradiación (Ritacco 2005).

Las alteraciones de las condiciones térmicas de los objetos culturales son muy comunes en los controles de la colonización biológica (Strang 1996). Comprenden métodos más económicos que pueden aplicarse con diversas tecnologías en bienes portátiles de pequeños tamaños hasta en edificios de grandes proporciones en directo contacto con el ambiente.

- Congelamiento

Este procedimiento se viene usando desde 1940 para controlar las infestaciones de insectos en museos con muy buenos resultados. Al disminuir la temperatura, las actividades vitales disminuyen y los insectos entran en letargo. El rango de temperatura requerido y el tiempo de exposición varían de acuerdo a la especie, llegando inclusive a necesitarse 72h a -30 °C para coleópteros (Strang 1996; Vaillant Callol 2013). Los insectos adultos son más sensibles a estos cambios térmicos, pero las larvas y los huevos son de más difícil erradicación. Situaciones similares ocurren con los géneros fúngicos *Aspergillus* y *Penicillium*, los cuales no pueden desarrollarse a -10 °C pero sus esporas son resistentes incluso a temperaturas menores por prolongados periodos de tiempo.

Materiales con elevados valores de humedad se condensaran en cristales a bajas temperaturas (por ejemplo, materiales anegados) y producirán daños mecánicos, pero en materiales orgánicos porosos normales este proceso no ocurre. Este tratamiento no es recomendable para materiales poliméricos porque se tornan más rígidos y frágiles. Tal es el caso de las pinturas a base de óleos y acrílicos, cuyas capas superiores se tornan más vidriosas y susceptibles a fracturas, y consecuentes desprendimientos, por fuerzas físicas (por ejemplo, vibraciones, golpes por mal manejo o transporte) (Strang 1996). Objetos inorgánicos como metales, vidrios y cerámicas pueden verse afectados por cambios dimensionales, por lo que ensayos previos deben sucederse antes de someter estos materiales a este tipo de tratamiento (Vaillant Callol 2013).

- Calentamiento

La primera intervención de esta técnica fue realizada en el siglo XVIII para desinfestar insectos de monturas de aves. Desde entonces se ha utilizado en semillas, alfombras, muebles, edificios y librerías. El incremento térmico tiene consecuencias letales para insectos y microorganismos al inactivarse los mecanismos esenciales de su metabolismo (Strang 1992; 1996). La penetración del aire caliente es elevada pero requiere prolongado tiempo de exposición para una erradicación eficiente lo que es contraproducente para el estado de conservación del material. El calor puede provocar el ablandamiento de barnices, resinas y pegamentos si excede los 60 °C (Strang 1996), la oxidación y envejecimiento del papel y cueros; mientras que pieles, maderas y textiles pueden sufrir cambios dimensionales irreversibles por encogimiento, desecación e ensanchamiento o

hinchazón (Vaillant Callol 2013). No obstante, el empleo de calor para consolidar restauraciones es muy común en la conservación.

Los objetos arqueológicos y etnográficos requieren del desarrollo de curvas de calibración propias ya que su temperatura de encogimiento seguramente será menor, ergo, someterlos a este procedimiento puede generar resultados catastróficos (Strang 1996).

- Anoxia

Es la eliminación del oxígeno del objeto o medio afectado. Si bien es inaplicable en materiales a la intemperie, puede llegar a lograrse controlar la cantidad de oxígeno en ambientes especialmente diseñados o emplear una cámara ambiental para objetos de tamaños menores. A menor escala, se están empleando bolsas de plástico para introducir los objetos y generar una atmósfera anóxica o con determinados gases inertes como el nitrógeno, argón, helio y sus mezclas que sirvan como germicidas. La alteración de la composición del aire con bajos niveles de HR (entre el 45-50%) y bajo contenido de oxígeno (0,1-0,5%) produce una reducción significativa en el desarrollo de microorganismos; aunque el efecto de exclusión del oxígeno no es el determinante como el del control de la humedad (Vaillant Callol 2013). Existen bacterias y hongos anaeróbicos, si bien su identificación en materiales culturales es infrecuente. La presencia de bacterias anaeróbicas se asocia a materiales proteicos y requieren de valores elevados de HR para estar activas, por lo que son mucho más vulnerables al control de ese factor ambiental que otros tipos de microorganismos (Sneath *et al.* 2001; Vaillant Callol 2013).

5.2.3. *Métodos químicos*

Antes de entrar en el detalle de algunas de las sustancias más habituales empleadas, es oportuno hacer una salvedad respecto a los diversos conceptos asociados a las actividades de control y erradicación de los agentes biológicos. Existen gradientes entre los diferentes términos usados y no necesariamente éstos son sinónimos que puedan usarse indistintamente.

- Plaguicida y pesticida: términos genéricos que refieren a todo tipo de sustancias químicas empleadas en el control y eliminación de agentes biológicos dañinos. El segundo término es más usado en cuestiones de agronomía.
- Biocidas: término general para sustancias capaces de eliminar agentes biológicos. Existen acepciones más restringidas que aluden a determinado tipo de organismos: roedores, rodenticidas; insectos, insecticidas; ácaros, acaricidas; hongos, fungicidas; bacterias, bactericidas; etc.
- Esporicida: sustancia que impide las actividades reproductoras de los microorganismos, entendiéndose, el desarrollo de esporas y, las elimina.
- Fungistático o bacteriostático: inhibidores del desarrollo de hongos y o bacterias.
- Desinfectante o germicida: productos que matan a varios microorganismos que ocasionan infecciones. No elimina las esporas. Se habla de desinfectantes en el caso de organismos superiores como plantas o insectos.
- Antiséptico: sustancias que eliminan especies dañinas, se debe a esta por la presencia de microorganismos o por imposibilitar su desarrollo.
- Esterilizante: elimina todas las formas de vida microbiana.

- Repelentes: sustancias que alejan a los agentes biológicos. Vocablo usualmente relacionado a los insectos.

Los biocidas se componen de una sustancia principal o principio activo, el elemento encargado de eliminar el agente biológico, sumados a aditivos, disolventes y otros que potencian su eficacia. Estos últimos varían de acuerdo al laboratorio que los produce por lo que existirán en el mercado infinidad de nombres para productos que desempeñan el mismo rol (Valgañón 2008). Hay que tener presente que todos los biocidas son químicamente reactivos, es decir, que pueden reaccionar al entrar en contacto con algunos de los componentes del material. Esto es particularmente cierto para los objetos culturales que están compuestos por más de un material como lo son las obras de arte (Vaillant Callol 2013). En base al estado de conservación del objeto, el tipo de material que lo constituye y el estado de alteración presente por el biodeterioro, este podrá ser aplicado por pinceladas, rociamiento, compresas, inyección, fumigación en cámara de gas y aplicaciones locales (Lazzarini y Laurenzi Tabasso 1986).

Cuando se opta por el uso de cámaras es porque las sustancias son muy tóxicas y su eficacia depende de las propiedades del gas, de la HR, la T, el tiempo de exposición y la presión. Al finalizar el tratamiento el gas debe ser diluido, evacuado y la cámara ventilada antes de poder recuperar los objetos y reincorporarlos a la colección (Vaillant Callol 2013). El uso de gases mejor la penetración en los materiales que el de sustancias líquidas y, la presión de la cámara le da más poder disminuyendo así el tiempo de exposición necesario. La desventaja es que después de la aireación todavía quedan residuos tóxicos en los objetos y, algunos de ellos, son inflamables como el óxido de etileno. Otros, dependiendo del tipo de material pueden causar corrosión o provocar reacciones adversas.

Uno de los principales inconvenientes en el uso de biocidas es la falta de monitoreo de sus efectos (Sterflinger y Piñar 2013) tanto previamente a su aplicación en el material, con ensayos de control que evalúen las reacciones producidas, como posteriormente, con regulares controles del estado de los agentes biológicos en el material. Esta situación puede definirse como la falta de rigurosidad científica.

Una síntesis de biocidas químicos, forma de aplicación, agentes biológicos a los que afecta, materiales sobre los que se emplea y niveles de toxicidad, puede verse en la tabla 8 de Vaillant Callol (2013) pero para mayores informaciones sobre desinfectantes e esterilizantes químicos consultar Rutala y Weber (2017).

Siguiendo a Rutala y Weber (2017) presento una escueta revista de los factores que afectan a los desinfectantes. Para mayor información se puede consultar a Beans (1967), Favero (2004), Russell *et al.* (1999) y Russell (2004).

- Cantidad y localización. Mayor la cantidad, más tiempo se requerirá para la completa erradicación. La importancia de las actividades de limpieza radica también en que disminuye el tiempo de empleo de los métodos de remoción, en particular en el caso de biocidas y otras sustancias esterilizantes.

- Resistencia. Varía entre especies y tipos de microorganismos (Russell y Russell 1995; Russell 2001) como en la forma en que se presenten. Si existe un *biofilm*, los microorganismos de su interior serán 1000 más resistentes al estar protegidos por SPE, enzimas neutralizantes, capas

exteriores de *biofilms* previos, presentar gradientes en el pH, por ejemplo, etc. Además, hay especies como *Pseudomona aeruginosa* que se muestran más resistentes en su medio natural, o sea, colonizando el sustrato cultural, más que replicadas en condiciones de laboratorio (Favero 2004). Por ejemplo, las esporas son más resistentes a los desinfectantes porque poseen una capa y una corteza que actúan como barrera, las micobacterias tienen una pared celular cerosa que impide la entrada del desinfectante y las bacterias gram negativas poseen una membrana externa que dificulta la penetración de desinfectantes (Rutala y Weber 2014).

- Concentración y potencia de desinfectantes. Con la excepción de yodóforos y cuanto más concentrado es el desinfectante, mayor es su eficacia y menor es el tiempo necesario para eliminar el biodeterioro. En general, la concentración de la sustancia y el tiempo de exposición necesario no son equiparables.

- Influencia de factores ambientales (HR, T, pH y dureza del agua). Usualmente el incremento de la T potencia los desinfectantes pero existen casos en que estos comienzan a degradarse y producir riesgos para la salud del operador. Lo mismo ocurre con el pH (Russell 2004). La HR es el factor individual más importante que influye en la actividad de los desinfectantes e esterilizantes gaseosos, como EtO, dióxido de cloro y formaldehído (Rutala y Weber 2014). La dureza del agua, la alta concentración de cationes divalentes, reduce la tasa de muerte de ciertos desinfectantes porque los cationes divalentes (por ejemplo, magnesio, calcio) en el agua dura interactúan con el desinfectante para formar precipitados insolubles.

- Materia orgánica e inorgánica. Es importante evitar que el material se contamine con materia orgánica por secreciones de la piel, saliva, u de otro tipo, ya que pueden interferir en la acción desinfectante al funcionar como una barrera protectora de los microorganismos o desperdiciar la solución en atacarla como si lo fuera. Similar ocurre con los cristales de sales, donde estudios han demostrado como los microorganismos se protegen dentro (Jacobs 1998).

- Duración de la exposición. Todos los objetos deben ser expuestos por el tiempo mínimo indicado en el envase del producto (Rutala y Weber 2017). La totalidad de las superficies deben estar impregnadas con la sustancia, si un elemento se encuentra flotando en ella no será desinfectado correctamente.

5.2.4. Métodos biológicos

En este tipo de tratamientos ingresan el combate de una plaga con otra plaga, muy útil para el caso de los insectos en agronomía (por ejemplo la mosca blanca y la araña amarilla) y la aplicación de sustancias de origen natural o de extractos naturales como biocidas ecológicos.

En el primer caso tenemos por ejemplo la producción de sustancias por bacterias del género *Bacillus* que actúan como insecticidas ecológicos contra numerosas plagas de lepidópteros sin dañar al medio ambiente u otros organismos ni resultar tóxicos para el hombre (Vaillant Callol 2013). La aplicación de biofungicidas puede ser una alternativa interesante al control de plagas que debe ser estudiada en mayor detalle para su mejor aplicación. También se han sintetizado artificialmente algunas de las feromonas producidas en el apareamiento por diversas especies de insectos para colocarlas en trampas y atraer más fácilmente los insectos para su eliminación por medio de insecticidas. El problema de este método es que la etología de insectos no sólo se da por la producción de feromonas sino que se ve afectada por la T, HR, pH, luz y otro tipo de variables ambientales.

A causa de la toxicidad de los biocidas para el hombre y el medio ambiente, muchos productos han sido prohibidos obligando a la búsqueda de sustancias ecológicas o biodegradables. En especial en los casos del biodeterioro de materiales industriales que genera grandes pérdidas económicas o en las ciencias de la salud. Por esta razón desde inicios del siglo XXI se han estado investigando distintas sustancias producidas en la naturaleza con características antisépticas y amigables con el medio ambiente que puedan emplearse en la industria (Sasso *et al.* 2016). Existen muchos elementos naturales que poseen propiedades antisépticas o antimicrobianas que son empleadas en la medicina natural. Una de ellas es el ajo que al ser aplastado libera alicina, una sustancia que ha exhibido un amplio espectro de actividad antibacterial contra bacterias gram positivas y negativas (Ankri y Mirelman 1999).

En el caso de la obtención de compuestos anti formación de costras biológicas en ambientes acuáticos (*antifouling*), los investigadores se han encontrado con la dificultad de que dichos productos no se encuentran en grandes cantidades en organismos marinos y que son difíciles de sintetizar a bajos costos (Liu *et al.* 2018). Razón por la cual numerosas investigaciones referentes a la obtención de biocidas ecológicos se han centrado en especies terrestres de más fácil sintetización (Raveendran *et al.* 2011; Liu *et al.* 2018; Satheesh *et al.* 2016; entre otros). Entre estas destacan los extractos obtenidos de plantas pueden actuar como reguladores del metabolismo intermediario, afectar reacciones enzimáticas o alterar estructuras de membranas. Son biodegradables, poseen aplicabilidad de amplio espectro, son antitóxicas y disponen de buenos índices de efectividad en las especies en los casos en los que se han aplicado (Guiamet *et al.* 2010a). Aunque desde hace varias décadas se conoce los beneficios de las aceites esenciales en la medicina humana, su aplicabilidad como biocidas a materiales patrimoniales todavía es escasa (Sasso *et al.* 2016; Szweczyk *et al.* 2006). La única excepción la presentan los archivos documentales (Guiamet *et al.* 2008b; Lavin *et al.* 2015; Pietrzak *et al.* 2017a; Rakotonirainy y Lavédrine 2005), línea de investigación donde las esencias naturales se han aplicado con resultados óptimos en las últimas décadas.

5.2.5. Nuevas tecnologías

En los últimos años el desarrollo tecnológico ha permitido avanzar en nuevos tratamientos de limpieza y consolidación de materiales patrimoniales. La limpieza por láser de cerámica arqueológicas con costras de carbonato y ocasionales manchas de hongos ha tenido buenos resultados (Barrio Martín *et al.* 2015) mientras que la combinación de la técnica con biocidas ha sido muy útil para remover costras de líquenes de techos de tejas (Pena Poza *et al.* 2018). Otra técnica que se encuentra en sus primeros pasos es la remoción de los agentes microbianos por la aplicación de plasma. Un estudio por Szulc *et al.* (2018) en textiles demostró que la técnica no causó cambios significativos de la estructura de las fibras, otorgándole al tejido resistencia frente a una recolonización de microorganismos por un periodo de 21 días. Sin embargo, la técnica aún no se ha aplicado en piezas patrimoniales con excepción de archivos documentales (Pietrzak *et al.* 2017).

Una de las ciencias con mayores aplicaciones en estos tiempos es la nanotecnología. Los efectos microbianos de las nanopartículas de plata en la medicina ya son ampliamente conocidos (Kim *et al.* 2007; Rai *et al.* 2009) pero su implementación en la conservación del patrimonio cultural y el control de los agentes biológicos todavía se encuentra en sus primeras fases. Hasta la fecha las

investigaciones han sido llevadas a cabo con muy buenos resultados en una colección de textiles arqueológicos de la puna de Salta, Argentina (Pietrzak *et al.* 2016); materiales documentales de archivos y bibliotecas (Gutarowska *et al.* 2012b, 2012a; Pietrzak *et al.* 2017a), pergamino, lonas y maderas de importancia histórica (Gutarowska *et al.* 2012a).

6. Preservación del patrimonio cultural

El interés por el mantenimiento y restauración de objetos culturales de uso cotidiano, de especial valor simbólico o aquellos pertenecientes a civilizaciones pasadas, se remonta a la antigüedad. La obtención y preservación de obras de arte, esculturas, vasijas u otros objetos culturales con connotación estética, con el fin de ser exhibidos en palacios o residencias de destacados individuos, tiene sus primeros registros en algunas de las civilizaciones de la antigüedad. Sin embargo, el inicio de la preservación como actividad profesional surge en el XIX con una mirada artística vinculada al desarrollo de técnicas restaurativas por especialistas dedicados sólo a conservar objetos del pasado. En el siglo XX la preservación del patrimonio cultural recibió un impulso cuando científicos de diferentes disciplinas (química, biología, física, antropología, geología, entre otras) empezaron a trabajar sobre colecciones de museos. El trabajo interdisciplinar permitió la identificación de causas de deterioro como los mecanismos de degradación y proponer metodologías para la caracterización y protección de los bienes. Con el advenimiento del siglo XXI, la necesidad de establecer principios, normativas y estrategias para la protección y conservación del patrimonio cultural se vio plasmada en una serie de cartas, acuerdos, documentos, convenciones, así como legislaciones locales e internacionales. De entre los documentos internacionales destaca la precursora Carta de Venecia (1964) sobre la conservación del patrimonio arquitectónico, la convención sobre la protección del patrimonio mundial cultural y natural (UNESCO 1972), la carta internacional para la gestión del patrimonio arqueológico (ICAHM-ICOMOS 1990) y la carta para la interpretación y presentación de sitios del patrimonio cultural (ICAHM-ICOMOS 2008), dónde se establecen los criterios de la conservación y protección del patrimonio mundial.

6.1. Legislaciones nacionales

En el caso de nuestro país, disponemos por un lado de leyes nacionales que ratifican convenciones internacionales y leyes provinciales *per se*. Entre las primeras, siguiendo a Guráieb y Frère (2008) podemos enunciar la ley 19.943 que ratifica la Convención de la UNESCO de 1970 (promulgada en 1973), sobre medidas a adoptarse para prohibir e impedir la importación y transferencia de propiedades ilícitas de bienes culturales; a la Ley Nacional 25.257 (sancionada en el 2000) que certifica la Convención UNIDROIT sobre bienes robados o importados ilícitamente; la Ley Nacional 25.478 que legaliza y ratifica el Segundo Protocolo de la Convención de La Haya de 1954 para la protección del patrimonio cultural en caso de conflicto armado y; finalmente, la Ley Nacional 25.568 (aprobada en el 2002) certifica la Convención de San Salvador de 1976 sobre defensa del patrimonio arqueológico, histórico y artístico de las naciones americanas. Este conjunto de documentos internacionales ratificados por la legislación argentina se enmarca en la

regulación del contrabando ilícito de bienes arqueológicos y el robo realizado en distintos contextos socio-políticos por instituciones e individuos de diferentes nacionalidades.

Entre el segundo conjunto de leyes, la Ley Nacional 25.743 (promulgada en el 2003 y derogadora de la antigua Ley 9080 sancionada en 1913), regula, resguarda y gestiona el Patrimonio Arqueológico y Paleontológico contemplando que las diferentes provincias se hagan responsables de generar las leyes provinciales y normativas pertinentes para una adecuada aplicación en su territorio a la vez que define las autoridades de aplicación provinciales que responderán a la Secretaria de Cultura de la Nación Argentina. Es de destacar que esta ley define al patrimonio arqueológico y paleontológico como bien público que constituye la identidad del pueblo argentino. El Instituto de Antropología y Pensamiento Latinoamericano (INAPL) es nombrado como organismo de aplicación a nivel nacional y entre sus funciones principales se encuentran, el registro de sitios arqueológicos y paleontológicos, la confección de una lista de infractores y reincidentes y, la evaluación y otorgamiento de concesiones de investigación con fines científicos (Guráieb y Frère 2008). Esta ley presenta normativas a grandes rasgos sobre las cuestiones concernientes a la protección, preservación y conservación del patrimonio arqueológico y paleontológico nacional pero temáticas vinculadas de gran importancia, como la realización de estudios de impacto ambiental por cualquier emprendimiento, obra u actividad antrópica que conlleve la alteración de la matriz sedimentaria y grandes movimientos de suelos, no se hallan tratadas. La realización de estudios de impacto ambiental es fundamental para la protección y preservación del patrimonio arqueológico ya que ponen en evidencia la existencia de materiales aún no identificados, evalúan el “impacto negativo” que las actividades antrópicas a realizarse tendrán en los bienes y sitios ya conocidos en el área y, sugieren alternativas para su preservación y protección o esbozan un plan de rescate adaptado a las necesidades del momento. En dicho sentido, existe la Ley Nacional 24585 (promulgada en 1995) que regula esta cuestión en exclusividad con la actividad minera, ya que demanda la presentación de un informe de impacto ambiental antes del inicio fehaciente de las actividades. Por otro lado, la Ley Nacional 25.675 (sancionada en el 2002) en referencia a la protección del ambiente, instituye que al realizarse diversas actividades antrópicas, el Estado es el responsable de asegurar la preservación, conservación y recuperación de los recursos naturales y culturales. No obstante, estas dos leyes no refieren de forma explícita a la temática de protección del patrimonio arqueológico y los bienes culturales, ya que su foco central es la regulación de la minería en una y la delineación de nociones básicas sobre la protección del ambiente. En consecuencia, la temática del impacto ambiental ocasionado por agentes culturales no se encuentra apropiadamente regulada a nivel nacional y queda en el poder de la legislación provincial subsanar dichas falencias normativas (Guráieb y Frère 2008).

En dicho sentido, la provincia de La Rioja ha sancionado en 1998 la ley 6589 que da cuenta de cómo fue ampliándose la mirada respecto a los entes involucrados en la protección del Patrimonio Arqueológico y Paleontológico y las obligaciones de los mismos. Otra serie de leyes y decretos que reconocen de importancia patrimonial actividades de investigación y difusión, congresos, talleres y encuentros interdisciplinarios sobre el Patrimonio cultural arqueológico, Antropológico e Histórico de la provincia, fueron sancionadas *a posteriori*.

En síntesis, la realización de actividades antrópicas que afecten los sitios arqueológicos, las cuales son parte de los procesos postdeposicionales, no se encuentran apropiadamente reguladas. Por ende, temáticas que podrían ser erróneamente consideradas menores al hallarse vinculadas al

deterioro por agentes naturales (vg. inundaciones, aludes, terremotos, incendios, efecto de factores climáticos, acción de animales y plantas, entre muchos otros), tampoco han sido consideradas en las legislaciones del país a pesar de que en ciertas circunstancias pueden producir un daño y pérdida mucho mayor que el ocasionado por los humanos. Justamente en la presente tesis se aborda el caso del deterioro producido en el patrimonio arqueológico cerámico por agentes biológicos que en primera instancia “parecen ser insignificantes”.

6.2. La preservación desde la arqueología

La aplicación de las nociones de preservación en tanto prácticas orientadas a evitar el deterioro de los materiales, no inician cuando los objetos llegan a manos de los investigadores, sino durante el mismo proceso de manufactura y uso de los mismos; es lo que desde la arqueología se conoce como el contexto sistémico (Schiffer 1990). Es así que podemos hablar de dos etapas en la vida del objeto en que la preservación está presente en mayor o menor medida. La primera refiere al periodo de uso activo del objeto donde se realizaron actividades de mantenimiento y reparación, algunas de las cuales implican una intervención directa sobre el objeto y otras responden más a la no intervención. Objetos fabricados a base de materias primas exóticas, cuya confección requirió de demasiada inversión de tiempo por artesanos especializados o aquellos que poseían cierta connotación simbólica, son los que recibieron cuidado especial durante su contexto de uso por las gentes del pasado. Este primer momento incluye también la posibilidad de reapropiación y resignificación diacrónica por diferentes grupos culturales de diferentes bienes que conlleven a un cambio de funcionalidad del objeto y, en consecuencia, del desgaste por el uso del mismo. Al ingresar el objeto al contexto arqueológico, sea por descarte o desuso, entra en una etapa de transición. De acuerdo a las condiciones naturales de enterramiento, agentes postdeposicionales, el bien patrimonial se preservará en mayor o menor medida de acuerdo al equilibrio de la matriz sedimentaria (Crow 2008) o del espacio en que repose en el caso de bienes históricos. La segunda etapa comprende el punto de inflexión y es cuando el objeto es reinsertado al contexto sistémico, si bien con una diferente significación que la otorgada por sus creadores. Se trata de la etapa en que las estrategias de la conservación preventiva se aplican directamente sobre el bien para reducir el efecto de deterioro inherente al mismo y prolongar su vida útil. En esta etapa, es fundamental para el desarrollo de estrategias adecuadas de la preservación conocer el contexto arqueológico del cual el bien fue recuperado, en otras palabras, conocer las condiciones de enterramiento y ambientales del sitio arqueológico (Pérez de Reynoso *et al.* 2006).

La perspectiva de la conservación preventiva es la que hoy en día tiene mayor desarrollo en la arqueología por sus lineamientos de intervención mínima en los bienes culturales. Puesto que toda intervención sobre un objeto patrimonial supone un desgaste de su material constituyente sólo se aplica para evitar y prevenir deterioros mediante el criterio de mínima intervención salvo que prevalezcan criterios didácticos o museográficos (Catalán Mezquíriz 2013). Ésta perspectiva considera que existen dos causas principales que contribuyen a la pérdida y destrucción física del patrimonio cultural: las condiciones ambientales y/o factores indirectos de deterioro y el factor humano (Becerra Angulo 2009; Buys y Oakley 1993; Cronyn 1990; Raphael 2009; entre otros). Las colecciones pueden verse afectadas en su área de guarda de forma indirecta por la acción de diferentes factores a nivel edilicio o ambiental, es decir, sufrir alteraciones menores en sus superficies o severos daños en su estructura. De acuerdo a Michalski (2006) se pueden enumerar nueve factores de incidencia física indirecta: agua, fuego, HR contraindicada, robo, vandalismo y

pérdida involuntaria, radiaciones, contaminantes, fuerzas físicas, T contraindicada y plagas. A diferencia de estos nueve factores de incidencia física mencionados, hoy en día existe un décimo factor enunciado por Waller y Cato (2009) que no hace referencia a un daño físico del material sino a un problema común que surge del manejo de las colecciones y cuidado de las áreas de guarda. Se trata de materiales disociados que comprometen la integridad de la colección y de las investigaciones que usualmente se basan en ellas al implicar la pérdida de objetos, información o la capacidad de recuperar o asociar objetos e información (Waller y Cato 2009). Es muy frecuente que por razones catastróficas, accidentes o el desorden cotidiano, las guardas de los materiales se dañen, se extravíen cajas y objetos, se mezclen materiales, se desordenen los registros, se traspapelen planillas y estropeen rótulos, es una situación usual al desarrollo de las tareas de investigación y conservación que debe ser tomada en cuenta y prevista para evitar la disociación de las colecciones.

No obstante se reconoce que el daño principal en las colecciones suele acontecer por las fluctuaciones en HR y T al desencadenar plagas y deterioros químicos provocadores de deterioros mecánicos, el deterioro que sufren cotidianamente con mayor frecuencia es el mecánico y se origina por el no control y prevención de la acción de las fuerzas físicas que inciden sobre los objetos (Marcon 2009). La evidencia arqueológica y otro tipo de objetos son sometidos a las vicisitudes del manejo humano (excavación, manipulación, traslado, transporte, exhibición y almacenamiento) y a las consecuencias directas e indirectas de sus acciones (vibraciones, cargas gravitacionales, impacto acústico). Independientemente, situaciones catastróficas pueden sucederse y exceder las medidas preventivas existentes.

A pesar de que los métodos en que las ciencias arqueológicas registran y colectan los materiales durante las intervenciones arqueológicas son primordiales, se es consciente de que frecuentemente los proyectos de investigación carecen de los recursos adecuados para la guarda, embalaje y transporte apropiado de la evidencia colectada, lo que la pone en riesgo de ser afectada por fuerzas físicas durante su traslado entre los otros factores indirectos de deterioro ya presentados. Además, el cambio de condiciones ambientales entre la matriz arqueológica, las condiciones ambientales del sitio arqueológico y el ambiente final en que serán depositadas o estudiadas las piezas, provocan los daños más severos. Al mismo tiempo, una formación inadecuada en cuestiones de conservación y en la etología de los agentes biológicos, no nos alertan sobre la problemática del biodeterioro *in situ*; la cual no suele estar contemplada en los proyectos de investigación. En consecuencia, materialidades afectadas por agentes biológicos son indiscriminadas de las que no lo son y tratadas de idéntica manera. En otras palabras, no hay recaudos especiales para los bienes ni para los investigadores que los manipulan. Esto acaece tanto en el campo como en el gabinete y se debe al desconocimiento en las formas en que el biodeterioro actúa, cómo puede afectar a la salud de investigadores y cómo puede ser prevenido y controlado. Esta mala formación y escasa capacitación de los investigadores se vincula a la inexistencia de un programa integral impulsado por políticas culturales destinado a la protección y conservación del patrimonio cultural y a un desarrollo sustentable de los recursos arqueológicos no renovables (Ballart 1997; Endere 2001; Guráieb y Frère 2008; Matera *et al.* 2015b; entre otros).

6.3. La preservación y el biodeterioro de la cerámica

Al abordar el estudio de la cerámica arqueológica, es usual encontrarnos con muchas piezas y tiestos con evidencia de orificios de reparación que evidencian una intervención directa sobre el bien (Balesta y Wynveldt 2009). Es en este contexto que de acuerdo a la función y morfología deseada de las vasijas, diferentes técnicas de manufactura y selección de distintos tipos de inclusiones y arcillas pudieron haberse realizado, condicionando los factores intrínsecos de la cerámica (Rice 2015). La variabilidad de las propiedades físicas de las vasijas (resistencia, porosidad, permeabilidad, dureza y transportabilidad) consecuencia de las decisiones tomadas durante el proceso de manufactura, los usos y los cuidados recibidos, nos hablan de la existencia de acciones explícitas orientadas a prolongar su vida útil, en otras palabras, a su conservación. Intención de conservar las vasijas particularmente cierta para aquellos bienes obtenidos por medio de amplias redes de intercambio, connotados socialmente o cuya confección requirió de mucho tiempo y esfuerzo. Estas variables sumadas a la forma en que las vasijas fueron descartadas y a la acción de los agentes postdepositacionales, a las condiciones de enterramiento, es lo que determina su preservación al ingresar al contexto arqueológico (Barrio Martín *et al.* 2015).

En ese sentido, el contexto de hallazgo arqueológico presenta un punto de inflexión en la preservación de la cerámica. Las piezas o más bien fragmentos cerámicos que presentan una estructura frágil y una pasta deleznable, cuya remoción de la matriz sedimentaria que los contiene y preserva pone en riesgo su integridad (Figura 14a), son aquellos que comúnmente reciben un cuidado especial de parte del investigador. Si bien piezas de características únicas reciben atenciones especiales (Figura 14b), la mayor parte del material no suele recibir aplicación alguna de técnicas o guardas no destructivas de su morfología. Aún para las piezas colectadas con mayores precauciones, los criterios de asepsia y seguridad mencionados anteriormente no son exactamente aplicados, sin embargo cabe destacar que la asepsia es prácticamente imposible de implementar en este tipo de contextos.

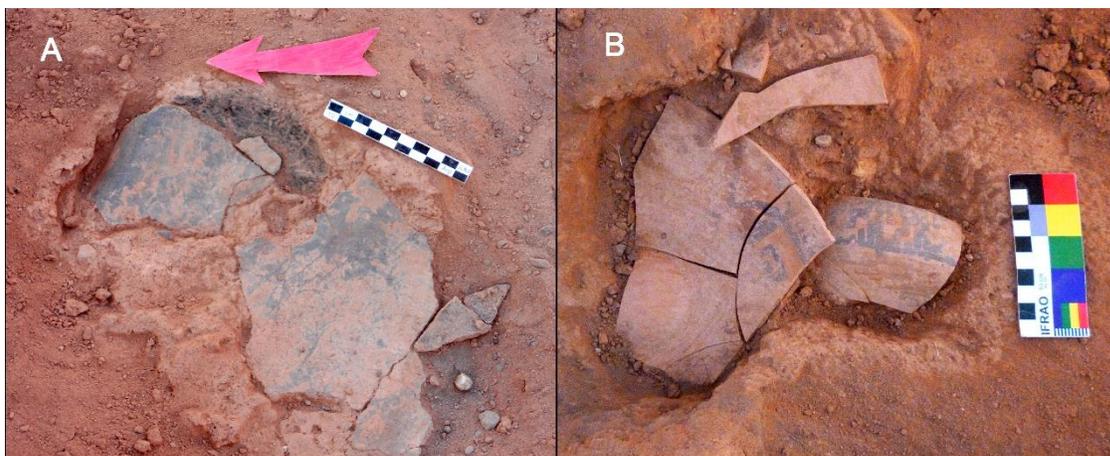


Figura 14. LC, Aldea 3, R2 fotografías de excavación: a) Ordinarios; b) Aguda bicolor.

Cuando el equilibrio de la matriz sedimentaria se ve alterado por procesos postdepositacionales, la naturaleza buscará un nuevo equilibrio estabilizando los suelos con toda la evidencia

arqueológica que contengan (por ejemplo, los suelos colmataran madrigueras abandonadas). Es por eso que cuando el arqueólogo irrumpe ese equilibrio, debe hacerlo con cuidado para poder retirar los materiales sin dañarlos y teniendo las precauciones necesarias para que su exposición al nuevo medio no incida negativamente en el objeto (Fantuzzi 2010; Magaña *et al.* 2001). El estudio del descarte, los efectos de los procesos postdepositacionales y las condiciones ambientales de meteorización en la cerámica, han sido ampliamente estudiados desde la arqueología (Crow 2008; De la Fuente 2008; Rice 2015; Schiffer 1987, 1990; Skibo y Schiffer 1987; Ward y Larcombe 2003; entre otros).

La alteración de la cerámica arqueológica en su contexto de hallazgo ha sido analizada desde la perspectiva de agentes extrínsecos, contexto externo al objeto, e intrínsecos, vinculados al proceso de manufactura y a los elementos constitutivos de la pasta (Fantuzzi 2010). El concepto de biodeterioro no se halla presente en la literatura referente a la cerámica arqueológica pero puede ser asociado al de bioturbación, agente postdeposicional extrínseco. Sin embargo, la bioturbación refiere concretamente al deterioro mecánico por la acción de animales cavadores, pisoteo de animales y acción perforante de las raíces (Figura 3) *in situ* (Fantuzzi 2010; Schiffer 1987), excluyendo a una larga lista de especies de la biota que también pueden dañar el material tanto química como mecánicamente. Tal es el caso de la presencia de líquenes registrada por Seaward (1988) en vasijas de terracota romanas dónde se produce la descamación de las superficies (Figura 15) y la identificación de bacterias por Colonna Preti y Eeckhout (2014).

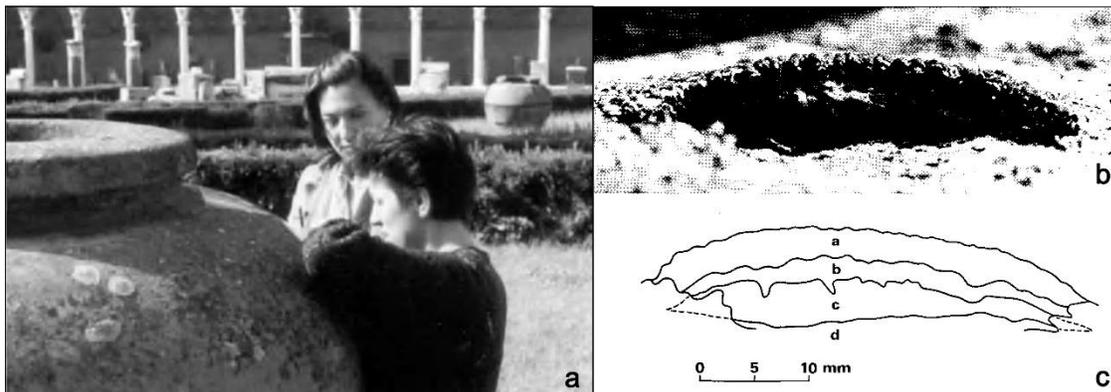


Figura 15. Líquenes en vasijas de terracota romanas. Fotografías: a) Seaward (2004); b) Seaward (1988), dónde “a” es la costra de talos, “b” espacio hueco, “c” sustrato desprendido y “d” sustrato firme.

Una vez que las cerámicas son recuperadas del contexto arqueológico y son insertadas nuevamente al contexto sistémico, arqueólogos y preservadores comparten dos preocupaciones esenciales con respecto a su conservación.

La primera preocupación es el uso de edificios inapropiados para alojar colecciones y la existencia de condiciones ambientales inadecuadas o factores indirectos de deterioro que puedan desatar la degradación química de los componentes de la cerámica desestabilizando la matriz o provocando deterioro por salinización (De la Fuente y Paéz 2007). La cristalización y disolución cíclica de sales solubles al interior de los poros de la pasta, debido a las fluctuaciones de la HR, expanden los microcavidades sobrecargando de estrés la estructura de la matriz hasta que

finalmente ésta se fractura (De la Fuente 2008; Little 2000; Rice 2015). El uso de contenedores de guarda realizados con materiales incorrectos también contribuye a generar fluctuaciones de T y HR. No obstante, hay casos en que por las condiciones naturales de enterramiento los procesos de salinización ya se han visto activados y los materiales son recuperados recubiertos de costras de carbonatos y silicatos. En estos casos se suele priorizar la remoción mecánica mediante espátula o cepillos de cerdas rígidas luego de ablandar las incrustaciones con productos químicos como el ácido nítrico. Nuevas tecnologías de remoción de dichas costras por medio de láser han sido empleadas por Barrio *et al.* (2015) con resultados muy positivos, empero este procedimiento todavía no se encuentra ampliamente difundido y depende de la disponibilidad del equipamiento en los espacios de trabajo.

La segunda preocupación, es la falta de entrenamiento del personal dedicado a manipular las colecciones que contribuyen al deterioro físico durante traslados, incorrecto manejo, almacenamiento o exhibición (Becerra Angulo 2009).

A pesar de que la preservación reconoce la posibilidad de infestación de hongos y bacterias en cerámicas arqueológicas debido a la porosidad de su pasta (Becerra Angulo 2009; Buys y Oakley 1993), hay escasa evidencia de investigaciones publicadas que traten el tema (Colonna Preti y Eeckhout 2014). La composición inorgánica de la matriz cerámica no impide a agentes biológicos colonizar el sustrato cultural y provocar severos deterioros químicos y mecánicos (Seaward 1988, 2004). Diversas investigaciones han dado cuenta de los principales efectos de los agentes biológicos en materiales líticos (Valgañón 2008), los cuales poseen la composición físico-química más similar a la cerámica. No obstante, se desconoce si realmente es viable remover el *biofilm* de las piezas, no provocando daños mayores, o qué métodos de control y limpieza son los más efectivos. Con la excepción del trabajo de Colonna Preti y Eeckhout (2014) en dónde realizan la aplicación de biocidas y evalúan su efectividad. La escasez de investigación sobre esta problemática impide la confección de protocolos específicos adaptados a cerámicas arqueológicas biodeterioradas; sea por las condiciones inadecuadas del área de depósito o por las mismas características in situ del sitio arqueológico del que fueron extraídas.

Nos encontramos así con numerosas investigaciones sobre la preservación de la cerámica arqueológica que afirman que tal o cual es el principal proceso o factor de alteración de una pieza sin que éstas hayan considerado la posibilidad del ataque biológico por macro y microorganismos como agentes de deterioro factibles. Sólo luego de entender el significado y saber identificar cada proceso generador de alteraciones y daños en las propiedades de las cerámicas, habiendo evaluado la incidencia de cada uno de ellos en el material, se puede argüir sobre la relevancia de uno sobre el otro. Sin este entendimiento, la tarea de gestionar colecciones afectadas por el biodeterioro se torna muy trabajosa y pone en riesgo la integridad de la colección y la salud de los investigadores y personal. Con connotaciones negativas para las investigaciones futuras basadas en tales materialidades.

6.3.1. Inicio de las investigaciones sobre el biodeterioro de la cerámica en Argentina

Esta investigación que devino en el tema de mi tesis de licenciatura se inició a comienzos del 2013 cuando estaba procesando material cerámico en el área de colecciones en tránsito del IA, UBA. Allí observé por primera vez la presencia de líquenes firmemente adheridos al material.

En la campaña de ese año realicé el primer muestreo y al final de dicho año me encontraba presentando un poster en el V Congreso Nacional de Arqueometría con mis primeros resultados. Con el avance de las investigaciones la temática demostró ser más amplia y compleja de lo que había previsto, requirió de un trabajo arduo interdisciplinar con especialistas de la biología, microbiología, la conservación y la geología. Antes de darme cuenta la problemática devino en mi tema de tesis de licenciatura. No obstante, al haber iniciado las investigaciones hace más de cinco años cuando todavía me encontraba a mitad de la carrera, parte de los resultados aquí compilados han sido presentados en diversos congresos de arqueología y microbiología. En el caso de la presentación por poster y exposición oral del V y VI congreso de Arqueometría, el XIX Congreso Nacional de Arqueología Argentina y el *International Biodeterioration y Biodegradation Symposium 17th*, se realizaron trabajos extendidos que ya fueron publicados y serán citados a partir de la presentación de los materiales y métodos de estudio.

7. Materialidad de estudio: la cerámica

Por sus propiedades físicas la cerámica es una de las materialidades que más se han conservado y, por lo tanto, que más abundan en los sitios arqueológicos, constituyéndose en un importante vehículo para abordar su estudio (González 1977; Kusch 1991; Orton y Hughes 2013). Muchos abordajes diferentes pueden realizarse en base al estudio de la cerámica, pero de entre todas ellos, destaca el referente a la cronología de los sitios. Cada estilo cerámico representa un conjunto de saberes, creencias y de un imaginario simbólico-religioso de los pobladores que las conciben, un estilo cerámico es parte de un todo (Wiessner 1988, 1990) y no sólo la forma en que las piezas han sido decoradas. De ahí su relevancia como indicadores cronológicos relativos de la ocupación de un sitio por determinados grupos culturales. Además, los estilos cerámicos transmiten información relevante en relación al grupo que los elabora como entre quienes los usa (Wiessner 1988, 1990).

7.1. Propiedades físicas y mecánicas

De acuerdo a Rice (2015) las propiedades físicas de las cerámicas refieren a su apariencia y su funcionalidad pero también inciden en el comportamiento mecánico y características físicas. Estas propiedades son la porosidad, la permeabilidad, la dureza y la resistencia, y resultan tanto de las elecciones de los ceramistas a la hora de preparar la pasta cerámica, como de las transformaciones sufridas por la matriz cerámica durante su cocción y afectan directamente a su microestructura. La microestructura refiere a todos aquellos elementos que hacen a la matriz cerámica: composición (minerales cristalinos y no cristalinos como presencia de poros); textura (tamaño, forma y orientación de cada una de las inclusiones); orientación de la estructura y; por sus características superficiales.

Las propiedades mecánicas son el módulo de elasticidad, *Poisson's Ratio* y la resistencia a la ruptura e incluyen las propiedades térmicas, asociadas a los cambios físicos que sufren las piezas durante el proceso de cocción (encogimiento por pérdida del agua, conductividad del calor, coeficiente de expansión térmica y resistencia al *shock* térmico (Rice 2015). Como los materiales cerámicos no son buenos conductores del calor en comparación con los metales, transmiten el

calor lentamente y en gradientes, lo que incrementa su conductividad y reduce el estrés térmico; motivo por el cual son óptimos para la cocción de alimentos.

7.1.1. Porosidad

La porosidad hace referencia a la cantidad de oquedades o poros dentro de la matriz cerámica que puede llegar a permitir a una sustancia moverse a través del interior de la matriz una vez que ha penetrado alguna de sus superficies. La cantidad de poros presentes se relacionan al tipo de amasado, inclusiones presentes y a la cocción. Si las inclusiones son orgánicas (material vegetal, cabellos, excrementos) se carbonizarán y el dióxido de carbono resultante se volatizará entre los 500-750 °C dejando oquedades como negativo del espacio otrora ocupado por los compuestos orgánicos. Similar ocurre con la calcita, calizas u conchas, inclusiones de carácter inorgánico que se verán transformadas en distintos compuestos o nuevos minerales a diferentes temperaturas, dejando también un negativo del espacio que ocuparon (Orton y Hughes 2013; Rice 2015). Un buen amasado distribuirá uniformemente las inclusiones al interior de la pasta y reducirá espacios vacíos. La atmósfera de cocción es el factor determinante, podría decirse, en el grado de porosidad de las cerámicas arqueológicas. A medida que se incrementa la temperatura y se hace más prolongado el tiempo de exposición, empiezan a fusionarse o derretirse los minerales más comunes de las pastas (arcillas, feldespatos y sílices), ocupando todos los espacios vacíos y generando una pasta compacta y densa como es el caso de las porcelanas chinas. Este proceso se conoce como vitrificación e inicia a partir de los 1118 °C cuando la albita, un tipo de feldespato sódico, empieza a derretirse (Cardew 1969).

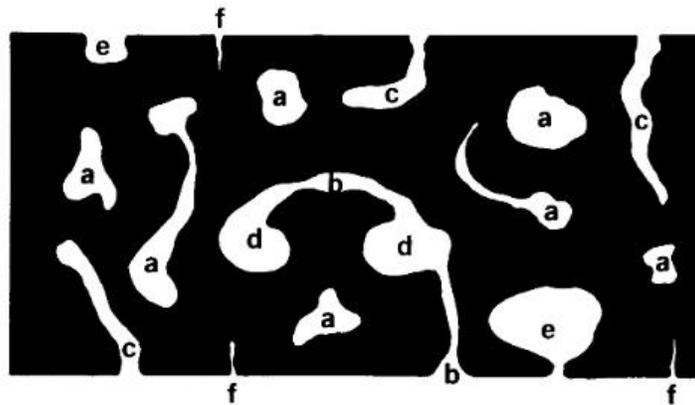


Figura 16. Tipos de poros: a) cerrados, b) canales, c) callejones cerrados, d) lazos, e) bolsillos y f) microporos. Tomado de Rice (2015).

De acuerdo al tipo de inclusiones que le den origen, los poros pueden adquirir diferentes formas y tamaños: estrías delgadas, esferas, rombos, canales o ser irregulares (Figura 16) (Grimshaw 1971; Peacock 1977). Asimismo, pueden estar abiertos, es decir, conectados entre sí dentro de la matriz o con la superficie externa, o cerrados, aislados. La cantidad de poros, su forma y tamaño, influirán en las otras propiedades físicas e intrínsecas de las cerámicas (Grimshaw 1971; Orton y Hughes 2013; Rice 2015) (Tabla 2).

Grado de porosidad de tipos cerámicos.	
Product	Porosity (by volume %)
Stoneware	0.5–2.0
Hard porcelain bisque	3–9
Semiporcelain bisque	13–23
Chinaware bisque	2–11
Earthenware bodies	20–25
Tiles	3–18
Building bricks	10–35
Porous fireclay bricks	up to 60
Saggars	10–40

Source: After Grimshaw 1971: table XII-XVII.

Tabla 2. Grado de porosidad de tipos cerámicos. Tomado de Grimshaw (1971).

7.1.2. Permeabilidad

Esta propiedad remite a la capacidad de una vasija de dejar filtrar líquidos desde su interior hacía el exterior, si bien el caso contrario también puede ser posible. En tanto las cerámicas arqueológicas son porosas, todo contenido líquido de una vasija se irá permeando a través de los poros en mayor o menor medida dependiendo del grado de porosidad y del tipo de densidad de la pasta. Por eso, cuando se manufacturan piezas para contener líquidos, se aplican tratamientos particulares a las superficies internas como pulidos o engobes (Rice 2015).

7.1.3. Dureza

La dureza es el valor que mide la respuesta de una cerámica al estrés que afecta su superficie. Ello se relaciona con la elasticidad de una pieza, propiedad mecánica que refiere a la habilidad de resistir el estrés sin deformarse o partirse y, con el *Poisson's Ratio* valor que mide la respuesta al estrés. Ésta depende de múltiples variables tales como condiciones de cocción, impurezas de la matriz, tratamiento de superficie y microestructura (Rice 2015).

Por lo general, esta se incrementa con el transcurso del tiempo y con la temperatura de cocción, pero también es afectada por la atmósfera de cocción. Debido que en la reducción los compuestos de hierro empiezan a fluir produciendo una sintetización a menores temperaturas. Este proceso se ve acelerado por la presencia de impurezas tales como metales alcalinos, sodio y potasio, que se derriten rápidamente y fluyen al interior de la matriz. La presencia de mayor porosidad o de inclusiones de mayor tamaño, harán a la vasija más débil. Mientras que los tratamientos de superficie como el bruñido la harán más dura al compactar y pulir las inclusiones cercanas a la superficie de la pieza.

Existen tres métodos informales para medirla: resistencia a la perforación, al rayado y a la abrasión. La escala de Mohs se presenta muy útil al respecto, pero su uso debe tener las siguientes salvedades: medir superficies internas y externas de las piezas; no aplicarse a material arenoso o muy deleznable ya que no otorgará resultados confiables y, finalmente, todas las mediciones deben ser realizadas por el mismo operario para disminuir la probabilidad de sesgos.

7.1.4. Resistencia

Es una de las propiedades más complejas, vinculándose tanto con las propiedades mecánicas y térmicas, como a las técnicas de manufactura y modos de uso de las vasijas. Alude a la resistencia íntegra de las cerámicas a las diversas fuerzas de estrés y a su habilidad de realizar los servicios demandados sin verse afectada por grietas, roturas, deformaciones u otro tipo de averías (Grimshaw 1971).

Además de la cocción, las variables más determinantes de la resistencia de una vasija son la textura y microestructura. Inclusiones muy finas se sintetizarán a más bajas temperaturas, incrementando la resistencia/dureza y; partículas angulares y en una cantidad moderada también contribuirán a una pieza más fuerte. Por ejemplo, la cantidad de inclusiones de cuarzo añadidas a una vasija a cocer en altas temperaturas ha sido sugerida en un 25% (Kennard y Williamson 1971; Robinson 1968). Siendo su resistencia disminuida por condiciones opuestas a las enunciadas.

7.2. Estilos y subestilos del área de estudio

Un estilo es mucho más que la decoración y morfología de una vasija, es el conjunto de conocimiento, creencias, prácticas y tecnología que se conjugan para darle origen (Wiessner 1988, 1990). En dicho sentido los estilos cerámicos dan lugar a la interacción entre las propiedades físicas de los materiales usados, el ambiente, el contexto socio-ideológico y, las propiedades morfo-tecnológicas de las cerámicas resultado de las elecciones y prácticas sociales involucradas en su fabricación (Jones 2004; Sillar y Tite 2000).

En el área de estudio la ocupación principal durante el periodo de Integración Regional corresponde a la Cultura Aguada (Figura 17a), en consecuencia, los estilos cerámicos más abundantes se asocian a esta entidad socio-cultural. No obstante, este estilo es acompañado por Allpatauca, Ordinario (Figura 17b) e Inclusiones Finas en proporciones menores y en proporciones relativamente mayores por los estilos Ordinarios, de carácter utilitario. También se registra la presencia en proporciones menores de estilos más tempranos, Ciénaga, y estilos más tardíos como el Saujil.

7.2.1. Aguada

Los alfareros Aguada (Ag.) del sector meridional estéticamente buscaron superficies muy compactas de pastas con tonalidades estridentes naranjas (ante) o incluso rojizas donde resaltasen los diseños pintados: bicolor negro o rojo sobre ante (siendo más frecuente el uso de negro que el rojo) o tricolor, negro y rojo sobre ante. También aplicaron en algunos casos engobes blancuzcos sobre la pasta ante, conocidos como baño crema, sobre los que ejecutaron las mencionadas decoraciones bicolor o tricolor. Asimismo, también fabricaron cerámicas grises y negras decoradas con la técnica de grabado (González 1977, 1998). Para las primeras se requirió de hornos de cámara de atmósfera oxidante en cuyo interior se alcanzara y mantuvieran temperaturas entre 850 y 1000° C, como así también un minucioso control de la circulación del aire durante el proceso de cocción. Mientras que para obtener piezas de color gris, abundantes en la zona, fue necesario

generar una atmósfera reductora en el interior del horno con una circulación de aire muy restringida.

La fabricación de este tipo de cerámica requirió del dominio de una sofisticada tecnología en su elaboración, cocción y decoración, lo cual nos habla de la existencia de artesanos especializados. Estos artesanos conocían la ubicación de bancos de arcillas muy puras, las cuales amasaron minuciosamente para que la pasta resultase lo más compacta posible y luego modelaron las piezas de acuerdo a los cánones aceptados por la comunidad. Una vez secas, las vasijas fueron pulidas para lograr un acabado suave al tacto y brillante de sus superficies, al mismo tiempo que se intensificaba el color de la pasta. En algunas ocasiones la pieza recibía un bruñido, pulido intenso que permite reflejar la luz en la superficie como ocurre con los metales. Otro recurso de acabado fue recubrir la pieza o parte de ella con un baño o “engobe” de otro tono. Las piezas obtenidas fueron decoradas aplicando la técnica de pintura o por la técnica del grabado cuando la pasta se encontraba casi seca “estado cuero”, seleccionando a tal fin los motivos del amplio repertorio temático ya mencionado. Posiblemente la elección de los diseños decorativos estaba estrechamente vinculada al uso al que estaba destinada la vasija. Los usos de estas vasijas se encuentran asociados a contextos cotidianos (vajilla para servir alimentos) y a contextos simbólicos, especialmente para las piezas decoradas (Figura 17a).



Figura 17. Vasijas en el Museo de Chañarumuyo, La Rioja: a) vaso y puco Ag. tricolor; b) olla y jarra Ord.

7.2.2. *Ordinario*

El estilo Ordinario (Ord.) refiere a piezas de uso cotidiano en la cocción y almacenamiento de alimentos como en el transporte. Las pastas de estas vasijas son compactas con inclusiones gruesas (principalmente cuarzo, feldespatos y micas) y ocasionalmente finas (ídem componentes pero en menores tamaños), son de acabado rústico y algunos de ellos poseen trazas de hollín en su exterior (Figura 17b), lo que evidencia su uso como recipientes para el procesamiento de alimentos (Becerra Angulo 2009; Rice 2015). Suelen comprender piezas reductoras u oxidantes que fueron cocidas a bajas temperaturas, *ca.* 500 – 900 °C (Cronyn 1990: tabla 4.4).

7.3. *Presencia de agentes biológicos*

El material cerámico es expuesto a la acción de agentes postdepositacionales de carácter antrópico y natural independientemente del estilo con que fueron confeccionados. Es cierto que las diferentes tecnologías de manufactura implican diferentes técnicas de levantado de las vasijas, selección de materias primas, antiplásticos, morfología, decoraciones y funcionalidades. Muchas

veces vinculadas a distintas entidades socio-culturales o a variaciones a través del tiempo, sin embargo, no sabemos si dichas diferencias en la manufactura cerámica tienen alguna incidencia en lo referente a la colonización por líquenes de los tiestos expuestos en superficie. Lo que sí se sabe, es que el material cerámico que yace en superficie a la exposición de luz solar y a las lluvias estivales como humedad ambiental es el afectado y corresponde a diferentes entidades socioculturales que se sucedieron en la ocupación del valle de Antinaco central por lo menos durante 1300 años (Soto 2015). Tenemos sitios localizados en el valle, con mayor exposición a la luz solar (LC y las aldeas), como aquellos en los cerros y las laderas de las quebradas que poseen mayor vegetación (PC) y por ende menor incidencia de la radiación solar.

Es importante aclarar que el material arqueológico afectado por los líquenes siempre es superficial ya que dichos microorganismos constituyen una simbiosis de hongos y algas y o cianobacterias en la mayoría de los casos (Barreno Rodríguez 2003; Nash III 2008; Hale 1967). En otras palabras, es el alga en tanto organismo fotobionte la que requiere de la luz solar y del oxígeno para realizar la fotosíntesis mientras que, el hongo dentro del sustrato es quién provee la humedad y los nutrientes necesarios. Por consecuencia, los sustratos a los que se adhieren estos microorganismos siempre deben estar a la intemperie. Es por ello que la cerámica afectada es aquella que se halla en superficie desde hace cientos de años o la que ha sido descubierta por diferentes procesos postdepositacionales naturales o antrópicos (Schiffer 1987). El registro arqueológico enterrado es el que se encuentra protegido de este proceso de bioturbación por líquenes, no obstante, se requieren análisis microbiológicos específicos para evaluar la posibilidad de otros microorganismos dentro de la pasta. Análisis que exceden los objetivos de la presente investigación.

Es por esta razón que el material analizado será superficial y no de excavación. Mas tendré presente que el primer nivel de las excavaciones puede integrar materiales que han sido recientemente descubiertos o cubiertos por los procesos erosivos y movimientos de suelos por diferentes obras de infraestructura, que continuamente exponen material al biodeterioro.

Es importante destacar que las estructuras de roca de algunos grupos arquitectónicos de LC como el G6 y G16, por ejemplo, o las pertenecientes al PC, también se encuentran invadidas por líquenes. En estos casos, los colores y morfología sugieren a simple vista que se presentan géneros y especies diferentes a las halladas en la cerámica. Es notorio que el biodeterioro en LC se está dando a una escala diferente y con otras implicancias para con otros materiales arqueológicos de la localidad.

7.4. La muestra

Fue obtenida a partir de dos sitios del área de estudio que presentan ambientes diferentes para evaluar si existían diferencias en la colonización por los agentes biológicos de los tiestos. El valle, con exposición directa a las radiaciones solares, es dónde LC y las aldeas se encuentran y la quebrada, con mayor vegetación y consecuente menor exposición a la radiación solar también por su pendiente inclinada, dónde se localiza el PC. Con esa idea se realizó un muestreo sistemático en diferentes sectores del valle que presentaban abundante concentraciones de materiales asociadas a estructuras de diferentes tipos en buen estado de conservación. Se escogió que los sectores a muestrear estuviesen en buen estado de conservación en pos de muestrear un sector del sitio con baja incidencia de los agentes erosivos fluviales o del impacto antrópico, principales

agentes postdeposicionales que afectan el sitio hoy en día. Se repitió el criterio para el muestreo del PC, aunque sin sectorizaciones debido a que el material en superficie es muy escaso a causa de los procesos de caída de detritos y las escorrentías que arrastran el material por la ladera en dónde los recintos se encuentran. Durante un periodo de diez minutos dos operadores recolectaron todo el material cerámico en su campo visual mientras prospectaban los alrededores de las estructuras y los espacios abiertos de las áreas seleccionadas.

Sitios-sector	Ag. Ante Liso	Ag. Gris Grab	Ag. Gris Liso	Ag. Pintado	Allpatauca	Ciénaga	Incl. Finas	Ordinarios	Sanagasta	Total general
Aldea 1	165 38,92%	165 0,47%	47 11,08%	59 13,92%	6 1,42%	0,00%	30 7,08%	115 27,12%	0,00%	424 100,00%
Aldea 13	94 20,04%	94 0,43%	78 16,63%	16 3,41%	17 3,62%	13 2,77%	76 16,20%	169 36,03%	4 0,85%	469 100,00%
Aldea 3	65 18,57%	65 0,86%	36 10,29%	16 4,57%	13 3,71%	7 2,00%	41 11,71%	165 47,14%	4 1,14%	350 100,00%
LC - G06	132 35,97%	132 0,27%	47 12,81%	47 12,81%	9 2,45%	4 1,09%	39 10,63%	88 23,98%	0,00%	367 100,00%
LC - G09	91 25,71%	91 0,85%	58 16,38%	47 13,28%	20 5,65%	0,00%	35 9,89%	100 28,25%	0,00%	354 100,00%
LC - G10 Platt	72 25,09%	72 0,00%	47 16,38%	37 12,89%	4 1,39%	2 0,70%	52 18,12%	73 25,44%	0,00%	287 100,00%
LC - G16	123 29,43%	123 0,48%	42 10,05%	48 11,48%	16 3,83%	0,00%	67 16,03%	118 28,23%	2 0,48%	418 100,00%
LC - G21	43 21,18%	43 0,00%	16 7,88%	7 3,45%	31 15,27%	1 0,49%	41 20,20%	64 31,53%	0,00%	203 100,00%
Monticulo	61 23,55%	61 1,54%	19 7,34%	86 33,20%	0,00%	1 0,39%	2 0,77%	85 32,82%	1 0,39%	259 100,00%
Puk. Chañ.	20 24,10%	20 0,00%	0,00%	21 25,30%	0,00%	0,00%	16 19,28%	26 31,33%	0,00%	83 100,00%
Total general	866 26,94%	866 0,53%	390 12,13%	384 11,95%	116 3,61%	28 0,87%	399 12,41%	1003 31,21%	11 0,34%	3214 100,00%

Tabla 3. Muestreo estratificado al azar. Frecuencias observadas y relativas (N = 3214). Soto *et al.* (2017).

Con el fin de maximizar tiempo y minimizar costos que hagan a la factibilidad de esta tesis, durante el muestreo sistemático se registró la presencia o ausencia *in situ* de líquenes en la cerámica mediante la observación con lupa binocular portátil (Eclairante con LED 3x a 45x) y se realizó también la clasificación del material de acuerdo a los estilos cerámicos conocidos para el área (Callegari *et al.* 2013, 2015; Gonaldi *et al.* 2008) a fin de obtener frecuencias absolutas para posteriores análisis estadísticos. La cantidad de material muestreado en esta primera instancia fue de N=3214 tiestos (Tabla 3). Una vez contabilizado y clasificado el material, se procedió a ejecutar a partir de este muestreo un segundo muestreo justificado al azar antes de pasar al siguiente punto de recolección. Este muestreo consistió en escoger algunos fragmentos con abundante colonización de líquenes, paramuestras, de cada uno de los sectores previamente muestreados. El objetivo y criterio de este segundo muestreo fue la obtención de para-muestras para la realización de una taxonomía exitosa (Figura 18 y 19) y los análisis específicos que determinasen la incidencia y el tipo de biodeterioro del sustrato. El número total de tiestos obtenidos a partir de esta segunda instancia es 244 (Tabla 4) (Soto *et al.* 2017) y su fotografía fue realizada con una cámara Lumix 12.1 mega píxeles.

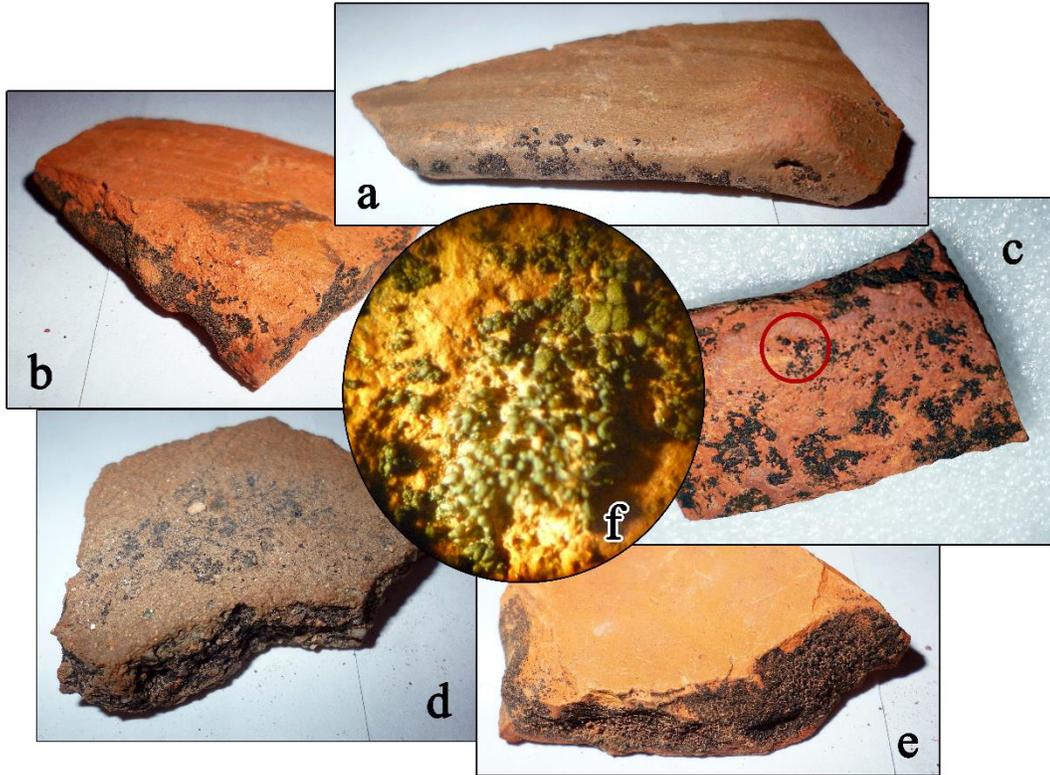


Figura 18. Paramuestras con cianolíquenes: (a) Ag. gris liso; (b) Ag. bicolor; (c) y (e) Ag. Ante liso; (d) Ord. cocción reductora; (f) Ampliación con LB 10x de “c”.

Estilos y subestilos	Totales / Parciales	
Ag. Ante Liso	81	33,2
Ag. Gris Liso	11	4,51
Ag. Pintado	62	25,41
Incl. Finas	37	15,16
Ordinarios	41	16,8
Allpatauca	11	4,51
Sanagasta	1	0,41
Total general	244	100

Tabla 4. Muestreo justificado. Frecuencias observadas (totales) y relativas (parciales). N = 244. Soto *et al.* (2017).

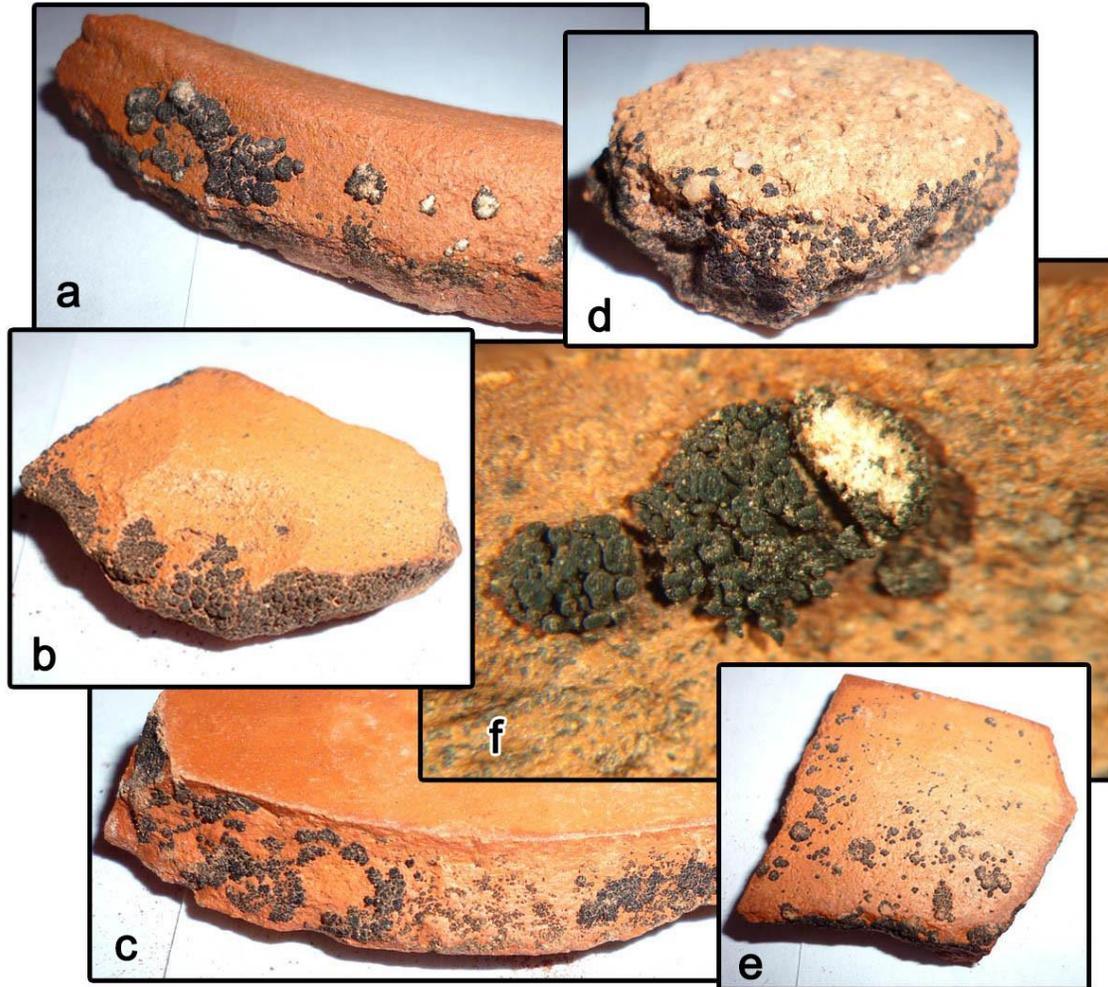


Figura 19. Paramuestras con cianolíquenes: (a), (b), (c) y (d) Ag. Ante liso; (d) Ord. cocción oxidante; (f) Ampliación con LB 10x de “e”. Soto (2015).

Los estilos seleccionados para los análisis específicos y de identificación de organismos corresponden a los más abundantes en el área de estudio, ergo, también son predominantes en el muestreo justificado, Aguada y Ordinarios (Tabla 5) (Soto *et al.* 2017). Un mayor detalle de qué tiosos fueron analizados por qué técnicas puede ser consultado en el Anexo.

Estilos	Microscopías				Anál. Superf.	Identificación agentes biológicos		Anál. Lab.	Ensayos control y limpieza		
	LB	MEB	MO	CAL	EDS	Líqu.	Microorg.		RM	Con	SPP
Ag. Ant. L.	32	3	2	1	3	27	1	1	2	1	1
Ag. Gris L.	10	2	1	1	2	6	1	0	1	0	1
Ag. Pint.	22	0	2	0	0	22	0	0	0	0	0
Ordin.	21	3	2	2	3	14	3	2	2	0	2
Total	85	8	7	4	8	69	5	3	5	1	4

Tabla 5. Cantidad de muestras analizadas en las diferentes etapas de la investigación (N=85). Estilos, Ag. Ant L.: Aguada ante liso; Ag. Gris L.: Aguada Gris liso; Ag. Pint.: Aguada Pintado bicolor y/o tricolor; Ordin.: Ordinarios. Técnicas, LB: lupa binocular; MEB: microscopio electrónico de barrido; MO: microscopio óptico; CAL: microscopio calcográfico; Anál. Superf.: análisis de superficies; EDS: espectroscopia de energía por dispersión de rayos X; Anál. Lab.: análisis de laboratorio; RM: remoción mecánica; Con: congelamiento; SPP: simulación de procesos postdepositacionales.

8. Metodología

Para empezar el análisis del biodeterioro en la cerámica arqueológica hay dos pasos básicos a seguir. El primero, correspondiente al objetivo específico i), se trata de identificar las especies que impactan el material y profundizar en su ecología mediante la búsqueda de literatura específica y la aplicación de tecnologías. El ii) implica investigar las propiedades físicas de la cerámica, haciendo especial énfasis en los estilos que ya han sido identificados previamente para LC por Callegari *et al.* (2010, 2013, 2015) y para el PC por De la Fuente (1972; 2002). En el marco de estas investigaciones preliminares arguyo que se puede corroborar la incidencia del biodeterioro al observar como los líquenes se adhirieron primero a las áreas más debilitadas de la cerámica por la meteorización, la erosión y otros procesos de turbación naturales y culturales, y se van propagando a medida que crecen al resto de la superficie del material (Soto 2015; Soto *et al.* 2017). Si los mecanismos de biodeterioro predominantes son los mecánicos, desgranado del material por el crecimiento y debilitamiento de la estructura del sustrato, o los químicos, pérdida de cohesión y alteración entre los componentes minerales de la matriz cerámica como la cristalización de nuevos generados por los ácidos producidos, es algo que esta investigación se propone elucidar. Empero no es el objetivo de esta tesis, se pretende a futuro poder avanzar en los métodos de limpieza y conservación adecuados del material biodeteriorado con la base del conocimiento aquí recaudado.

8.1. Muestreo de agentes biológicos

8.1.1. Microorganismos (cuantificación, aislación y tipificación)

Para evaluar la presencia de microorganismos se estableció contacto con la Prof. Dra. Patricia Guiamet, microbióloga especializada en el biodeterioro de materiales de índole industrial y patrimonial del Instituto de Investigaciones Físicoquímicas Teóricas y Aplicadas (INIFTA) del CONICET-UNLP. En su laboratorio se realizaron cultivos microbiológicos y la subsiguiente identificación de microorganismos tipificados.

Las muestras para estos estudios (n=4) consistieron en pequeñas lascas de 1 cm² obtenidas de dos tiestos Aguada (uno ante/rojo liso y otro gris/negro liso) y de dos fragmentos Ordinarios (Inclusiones gruesas cocción oxidante y cocción reductora). Estas fueron frotadas con hisopos de algodón estériles para tomar muestras de las superficies y cantos (Guiamet *et al.* 2008; Pinzari *et al.* 2010). Estas muestras se homogeneizaron en una solución salina estéril y se inocularon en medios de cultivo adecuados. Para las bacterias aeróbicas heterotróficas y mesófilas totales (BAT), las diluciones se inocularon en Agar para recuento de microorganismos (*Plate Count Agar* MERCK) y se incubaron a 28 ± 2 °C durante 72 horas y las unidades formadoras de colonias (UFC) fueron contadas posteriormente (Madigan *et al.* 2009). Las bacterias formadoras de ácido

se cuantificaron utilizando la técnica de dilución en un caldo glucosado que contenía un indicador de pH (Guiamet *et al.* 2008, 2012) a fin de observar cambio de color por producción de metabolitos ácidos por actividad bacteriana. Para determinar la ausencia y/o presencia de bacterias reductoras de sulfito (*Clostridium* sp.), se inocularon alícuotas de 1 ml de cada muestra en un caldo de *Clostridium* reforzado diferencial (DRCM MERCK) y se incubaron en condiciones anaeróbicas a 32 °C durante 15 días. Se usaron procedimientos similares para las bacterias reductoras de sulfato, se inocularon alícuotas de 1 ml de cada muestra en Postgate B (Postgate 1979). Para los hongos, las diluciones de cada muestra se inocularon en agar YGC (extracto de levadura, glucosa y cloranfenicol MERCK) y se incubaron a 28 ± 2 °C entre 5-7 días antes de contar las colonias (Madigan *et al.* 2009). Todas las pruebas de inoculaciones se realizaron por duplicado.

Las colonias fúngicas se seleccionaron por características morfológicas y la identificación se realizó de acuerdo con Barnett y Hunter (1987). Las colonias bacterianas se agruparon en primer lugar sobre la base del teñido por la coloración de Gram, seguida de pruebas de identificación bioquímica (Sneath *et al.* 2000): *Pseudomonas* sp. (Sneath *et al.* 1986) y *Bacillus* sp. (Claus y Barkeley 1986) fueron obtenidos.

8.2.1. Líquenes

Primero se estableció contacto con el Dr. Alfredo Passo, liquenólogo especializado en la identificación de especies del Instituto de Investigaciones en Biodiversidad y Medioambiente (INIBIOMA) del CONICET de Neuquén. Él realizó una primera aproximación a las especies de líquenes de 50 tiestos mediante observaciones por lupa trinocula (Olympus SZX7) en busca de similitudes y diferencias que pudiera contrastar mediante el uso de bibliografía específica y claves de identificación. El objetivo en esta etapa era identificar si lo observado correspondía a una o múltiples especies.

Gracias a su recomendación, se contactó a un especialista de Alemania, el Dr. Matthias Schultz, abocado a la taxonomía de cianolíquenes; quién, además, es curador del Herbario botánico y Biocentro Klein Flottbek (Universidad de Hamburgo) donde reposan colecciones de referencia de todas partes del mundo. Fueron enviados para las identificaciones 35 fragmentos cerámicos (Tabla 3). La metodología de trabajo del Dr. Schultz es similar a la del Dr. Passo pero más sofisticada. La identificación de los líquenes se realizó utilizando técnicas microscópicas estándar para la inspección de características relevantes tales como ascoma, ascus, forma de ascopo, tamaño, estructura y ontogenia. Se estudiaron las secciones de manos y crotomas utilizando un microscopio compuesto Olympus BX51 con contraste de interferencia diferencial. Las fotografías de hábitos de crecimiento de los líquenes se tomaron con una cámara digital Canon EOS 400 (DC) con una lente Zeiss Luminar de 40 mm montada en fuelles.

El Dr. Schultz ha informado que la identificación de los líquenes que colonizan la cerámica resultó ser difícil, en parte debido al hecho de que la mayoría de ellos pertenecían a la aún poco conocida clase *Liquenomicetos*. Estos ascomicetos formadores de líquenes se asocian obligatoriamente con cianobacterias como compañeros fotosintéticos. Los registros de Argentina sugieren una amplia distribución global que se observa comúnmente en los *Liquenomicetos* adaptados a las condiciones áridas. La taxonomía y ecología de estos líquenes para el norte de Argentina, y de hecho para toda Sudamérica, es poco conocida. Algunos de los nombres sugeridos son provisorios y, por lo tanto, inválidos ("ined"). Las combinaciones válidas en los géneros

apropiados son una cuestión de estudios taxonómicos en curso que se tratarán en otro lugar. Las siguientes referencias se han utilizado para la identificación de las especies de líquenes: Büdel (1987), Büdel y Nash III (2002), Büdel *et al.* (2002), Egea (1989), Moreno y Egea (1992), Schultz y Büdel (2002).

8.2. Cerámicas

8.2.1. Análisis estadísticos de variables tecno-morfológicas

A partir de la información adquirida en el muestreo estratificado previo que registraba la presencia y/o ausencia de cianolíquenes en los diferentes estilos y sub-estilos cerámicos (Tabla 6), se procedió a analizar en más profundidad las variables estilos y subestilos cerámicos (Wiessner 1990, 1988), decoración, tratamiento de superficie y granulometría de la pasta mediante tablas de contingencia. El objetivo fue detectar patrones y variables que pudiesen explicar o presentar una asociación con la colonización de líquenes. Se empleó el programa *Past* para los test estadísticos: chi cuadrado para constatar la existencia de una asociación y Cramer para ver la intensidad de la presente (Soto *et al.* 2017).

Para poder ejecutar el test chi cuadrado y obtener resultados significativos, se sumaron en una única categoría los valores de Aguada gris liso y Aguada gris grabado, en tanto difieren principalmente en la decoración y no en las técnicas de manufactura, pasta y tratamiento de superficie y; no se consideró el estilo Sanagasta al poseer una frecuencia observada baja: 11 tiestos de los cuales 6 no tienen cianolíquenes.

8.2.2. Análisis petrográfico de las pastas

Se realizaron en el Instituto de Recursos Minerales (INREMI) de la UNLP mediante microscopio calcográfico (Nikon Optiphot-Pol) y lupa binocular (Olympus Szh10). En las observaciones calcográficas se aplicaron nikoles paralelos y cruzados. Se analizaron cuatro tiestos: dos fragmentos Aguada (uno ante/rojo liso y otro negro/gris liso) y dos fragmentos Ordinarios inclusiones gruesas (uno de cocción oxidante y otro de cocción reductora)

Las observaciones se centraron en determinar la porosidad de las pastas y los componentes minerales y no minerales de la misma para poder asociarlos con sustratos naturales en los que se han registrado las especies de líquenes identificadas en el valle de Antinaco. Asimismo, se realizó un ensayo de dureza en base a la tabla de Mohs. La literatura empleada fue: Barraclough (1992); Orton y Hughes (2013); Peacock (1977) y Rice (2015).

8.3. Análisis de la interfase del sustrato cerámico y los agentes biológicos

Con el fin de comprender como incide la colonización biológica en la cerámica se implementaron una serie de técnicas microscópicas y de análisis de superficies tanto en el exterior de los fragmentos como en el interior de la pasta. Algunas de las técnicas nombradas a continuación fueron ejecutadas nuevamente para apreciar cambios luego de la aplicación de métodos de limpieza y/o control del biodeterioro.

8.3.1. Microscopías

- Estereomicroscopía o lupa binocular (LB)

Las primeras aproximaciones al material en laboratorio se efectuaron mediante estereomicroscopía en el INIBIOMA (Olympus SZX7 trinocula) (Soto 2015), posteriormente en el INIFTA (Olympus BH2) y el IA (Olympus BH2) (Soto *et al.* 2017) y, finalmente en el INREMI (Olympus SZH10). Estas observaciones se focalizaron en evaluar el estado de meteorización de los fragmentos y asociarlo a las áreas colonizadas por líquenes para identificar patrones (Soto 2015). La muestra corresponde a un total de 85 fragmentos de diferentes sectores de LC y el PC (Tabla 5).

- Microscopía óptica (MO)

Se realizaron dos observaciones por MO (Olympus BX 51 - INIFTA) con procesador de imágenes DP Cellsence (10x a 40x). Se observaron en total 10 fragmentos, 7 Ag. ante liso, 1 Ag. gris liso y 2 Ord. de distintos sectores de LC: G6, el Montículo y Aldea. El objetivo fue observar en mayor detalle las partes de los líquenes y evaluar la presencia de algas u otros microorganismos sólo visibles a mayores aumentos. La muestra se preparó raspando con bisturí estéril los cantos con presencia de líquenes y colocándola en un portaobjetos con solución fisiológica estéril (Soto *et al.* 2017).

- Microscopía electrónica de barrido (MEB)

Para las observaciones con MEB (FEI Quanta 200, LIMF-UNLP y FEI™ Quanta 250 equipado con un detector Everhart-Thornley, Universidad de Hamburgo, Alemania) de las superficies como para evaluar la presencia de actividad microbiológica al interior del sustrato y la bioherencia del *biofilm* si presente, se emplearon trozos extraídos de los cuatro fragmentos utilizados en los cultivos microbiológicos, más trozos de tres tiestos del PC (un Aguada ante/rojo liso, un Aguada negro/gris liso y un Ordinario inclusiones gruesas cocción reductora) (Soto *et al.* 2017). Para lograr mejor resolución de las imágenes las muestras fueron metalizadas con Au (Lavin *et al.* 2014; Pietrzak *et al.* 2017b; Videla *et al.* 2000).

A fin de contrastar diferencias entre el estado de la matriz cerámica de fragmentos superficiales evidentemente colonizados por líquenes y aquellos obtenidos en estratigrafía sin rastros de agentes biológicos, se realizaron observaciones en tres tiestos de Aldea 3 obtenidos a diferentes profundidades: un fragmento Aguada ante liso y dos tiestos Ordinarios.

Esta técnica ha sido empleada anteriormente en el sustrato más similar a la cerámica arqueológica, las tejas de cerámica plástica industriales (Kiurski *et al.* 2005; Radeka *et al.* 2007; entre otros), en sustratos rocosos (Ascaso y Wierzchos 1995; Ascaso *et al.* 2002; De los Ríos *et al.* 2009) y, en otro tipo de materiales arqueológicos (Ariño *et al.* 1995; Chen *et al.* 2000; Pietrzak *et al.* 2017b; Saiz Jiménez y Ariño 1995; entre otros). Si bien otorga resultados de elevada precisión, destruye la muestra analizada. Razón por la cual las muestras empleadas fueron escogidas cuidadosamente.

- Espectrometría de dispersión de energía por rayos X (EDS)

Sobre los mismos fragmentos (n=11) analizados mediante MEB-EDAX (FEI Quanta 200, LIMF-UNLP) se realizaron en los sectores con actividad biológica corroborada por la presencia de líquenes o microorganismos y, en aquellos en los que no (Soto *et al.* 2017). Para evitar que la metalización de las muestras sesgase las mediciones de los elementos, también se implementó la técnica en muestras no metalizadas de observaciones por MEB posteriores.

8.3.2. *Ensayos de laboratorio (INIFTA)*

- Ensayo de desarrollo de *biofilm* por *Pseudomonas sp.*

Una vez identificados los microorganismos se seleccionó una sepa bacteriana reconocida por ser formadora de *biofilm* y su acción deteriorante de sustratos culturales, *Pseudomonas sp.* y se realizó un ensayo de adherencia y formación de *biofilm* en una lasca extraída de un tiesto Ordinario del cual fue aislada.

Un inóculo de sepa bacteriana de *P. aeruginosa* fue sembrado en profundidad en un medio de cultivo sólido mineral (Lavin *et al.* 2014) y una vez solidificado el medio, las lascas de cerámicas entraron en contacto con los microorganismos. Se realizó el ensayo por duplicado. Después de 72 h de incubación se evaluó por MEB la bioadhesión y formación de *biofilm* en una de las muestras, mientras que en la otra se observó el daño del sustrato previa remoción por ultrasonido del *biofilm*. Las muestras fueron mantenidas en cámaras cerradas con etanol (100%) por 24 h (Lavin *et al.* 2014) y fueron metalizadas con oro (Au) previamente a la observación por MEB para la obtención de una imagen con mayor definición.

- Test de acidificación

Se empleó un caldo glucosado al 2% con indicador de pH rojo de fenol, apto para bacterias y se efectuó un ensayo para evaluar la incidencia del pH y su posible relación con el sustrato.

Se extrajeron dos pequeñas lascas de 5mm de las muestras Aguada ante y Ordinario cocción reductora (las mismas empleadas en los cultivos) que presentasen abundancia de cianolíquenes. Se hidrataron con solución fisiológica estéril y dejaron secar a temperatura ambiente durante 15 minutos previa inmersión en el caldo. Se dejaron incubar por 15 días a temperatura ambiente.

8.4. *Análisis ambiental del área de estudio*

8.4.1. *Mediciones de variables ambientales: T, HR y Pt rocío*

Se realizaron mediciones con un termo higrómetro HOBO H08-004-02 (INIFTA) de T, HR y Pt rocío. Se calculó la media, la máxima y mínima de los valores obtenidos. Se elaboraron representaciones gráficas.

Se colocó el dispositivo en la plataforma del sector a pleno sol durante 75h a pleno sol. Las mediciones iniciaron el 03/10/2016 a las 9:27:40 y finalizaron el 06/10/2016 a las 12:27:40. Durante este periodo sopló el viento Zonda durante una tarde.

8.4.2. Análisis de los componentes del suelo

Se efectuó el análisis de sedimentos en las cercanías de Aldea 3 LC para conocer la composición nutricional de los suelos. Las siguientes mediciones fueron ejecutadas por el departamento de edafología de la Facultad de Agronomía de la UNLP:

- pH, relación suelo / agua, 1:2,5 determinado por potenciometría.
- Azufre de Sulfatos determinado por turbidimetría.
- Cationes en extracto ácido sobre cenizas.
- Determinación de Ca^{++} y Mg^{++} por quelatometría con EDTA.
- Na^+ y K^+ determinados por fotometría de llama. Expresados en porcentaje sobre suelo seco a 105°C .
- Cenizas determinado por ignición mufla 450°C .
- Materia orgánica. MO (%) cuantificado por ignición por mufla 450°C .
- Fosforo Total cuantificado por acenización y determinación por colorimetría con metavanadato de amonio.
- Nitratos determinados por reducción con aleación Devarda y evaluados con el método Microkjeldahl.

En el caso del pH, al ya disponer de análisis de diferentes sectores de sitio LC, los valores fueron contemplados y analizados con los nuevos resultados.

8.4.3. Muestreo de biota líquénica y tipificación de especies

Se procedió a prospectar los alrededores a los grupos arquitectónicos muestreados anteriormente para obtener paramuestras de la biota líquénica local presente en diferentes sustratos no arqueológicos: rocas, sedimentos, vegetación muerta y viva. El objetivo fue corroborar si las especies presentes eran similares a las halladas en las cerámicas.

El método de tipificación de las especies fue el mismo empleado en las cerámicas. La taxación se realizó por el Dr. Alfredo Passo y por el Dr. Matthias Schultz. Las dificultades existentes para la identificación de las especies en los tiestos enunciadas con anterioridad, también se hicieron evidentes a la hora de identificar especies en diferentes sustratos debido a la escasa literatura de referencia sobre biota líquénica para el sur de América.

8.4.4. Análisis de microorganismo cultivables de sedimento

A partir de una muestra de sedimento de Aldea 3 (LC) tomada a 30 cm de la superficie, se efectuaron los mismos cultivos microbiológicos que fueron realizados en las cerámicas (ver acápite 7.1.1). Además, se empleó un medio de cultivo mineral adicional (CPS) para bacterias cuya composición lo asemeja al sustrato cerámico (Guiamet 2001; Guiamet *et al.* 2012). El objetivo fue identificar y contrastar la microbiota del sedimento (sobre la que yace el material cerámico de superficie) con la tipificada de los tiestos objetos de este estudio.

8.5. Ensayos de diversos métodos de control del biodeterioro y limpieza del material

Para el desarrollo de los métodos de limpieza y conservación del material se desarrollaron una serie de ensayos en laboratorio para evaluar, primero, la viabilidad de los agentes biológicos y, luego, testear métodos de limpieza y remoción. El objetivo de estos ensayos no fue la rigurosidad ni el control de todas las variables, sino una primera aproximación a la cuestión de control del biodeterioro y limpieza del material para discutir la aplicabilidad de los lineamientos de conservación vigentes.

En esta etapa no se realizaron cultivos microbiológicos, análisis indispensables para valuar el efecto de los diferentes métodos de control y limpieza en la biota microbiológica, porque exceden a los objetivos y recursos de la presente tesis. En consecuencia, los ensayos se enfocaron en los cambios observables mediante diferentes microscopías en los cianolíquenes.

8.5.1. Limpieza mecánica de superficies

Con cepillo suave en primera instancia y con bisturí estéril en segunda, se intentó desprender los líquenes sin dañar el material de 10 fragmentos: cinco Aguada ante liso (Aldea 3) y cinco Ordinarios inclusiones gruesas (dos LC G16 y tres de Aldea 3).

8.5.2. Control del biodeterioro: congelamiento

Para evaluar la resistencia a temperaturas extremas de los cianolíquenes. Se congeló a -20 C° durante 72h en un freezer del Área de Conservación del Museo Etnográfico (UBA), la mitad de un fragmento Aguada ante liso proveniente del *Montículo* LC. La otra mitad fue dejada como muestra de referencia. Posteriormente se evaluó la viabilidad de las cédulas de los líquenes MO (INIFTA) de ambos fragmentos con luz ultravioleta. Con una aguja estéril se removieron varios talos de las superficies y cantos y se colocaron en una porta objeto con solución fisiológica estéril para las observaciones.

8.5.3. Evaluación de viabilidad de agentes biológicos simulando procesos postdepositacionales

Para evaluar la viabilidad de los agentes biológicos y emular la dinámica de los procesos postdepositacionales del valle de Antinaco que entierran y desentierran material arqueológico, se replicó en laboratorio el enterramiento de cuatro fragmentos colonizados por cianolíquenes previa humectación con solución fisiológica estéril: dos Aguada, uno gris liso (Aldea 3) y el otro ante liso (LC G16) y, dos Ordinarios inclusiones gruesas, cocción reductora (Aldea 3) y cocción oxidante (LC *Montículo*). Se recogió sedimento del área del valle de Antinaco que no poseyese evidencia de costras biológicas o estuviese cerca de material arqueológico y se colocó en un recipiente hermético con los tiestos mencionados desde el 16/02/2016 hasta el 25/10/2018.

Para estimar la viabilidad se observó el talo por MO (Olympus BX 51 – INIFTA) mediante fluorescencia con luz ultravioleta. Idéntica preparación de muestra para cada fragmento que en el ítem 7.5.2.

La humectación de los líquenes y exposición a la luz natural funciona como reactivación de las funciones vitales, ya que durante periodos silentes las células se adormecen y sus funciones se reducen para ahorrar energía.

9. Presentación de resultados

9.1. Tipificación de agentes biológicos

9.1.1. Microorganismos: hongos y bacterias

La concentración de microorganismos cultivables fue generalmente baja. Las frecuencias observadas de unidades formadoras de colonia (UFC) de bacterias aeróbicas heterótrofas en los estilos Ordinarios oscilaron de 106×10 a 264×10 UFC / cm^2 y en Aguada 39×10 a 135×10 UFC / cm^2 . Las frecuencias observadas de cultivables fúngicos en los estilos Ordinarios vario de 57×10 a 97×10 UFC / cm^2 y en Aguada los valores oscilantes entre 92×10 a 105×10 UFC / cm^2 .

Entre los microorganismos tipificados se puede mencionar hongos dematiáceos, género *Cladosporium* y *Curvularia*, y otros hialinos, *Apergillus niger* y *Penicillium* sp. (Figura 20). Entre las bacterias heterótrofas se tipificaron *Bacillus* sp., y *Pseudomona aeruginosa*.

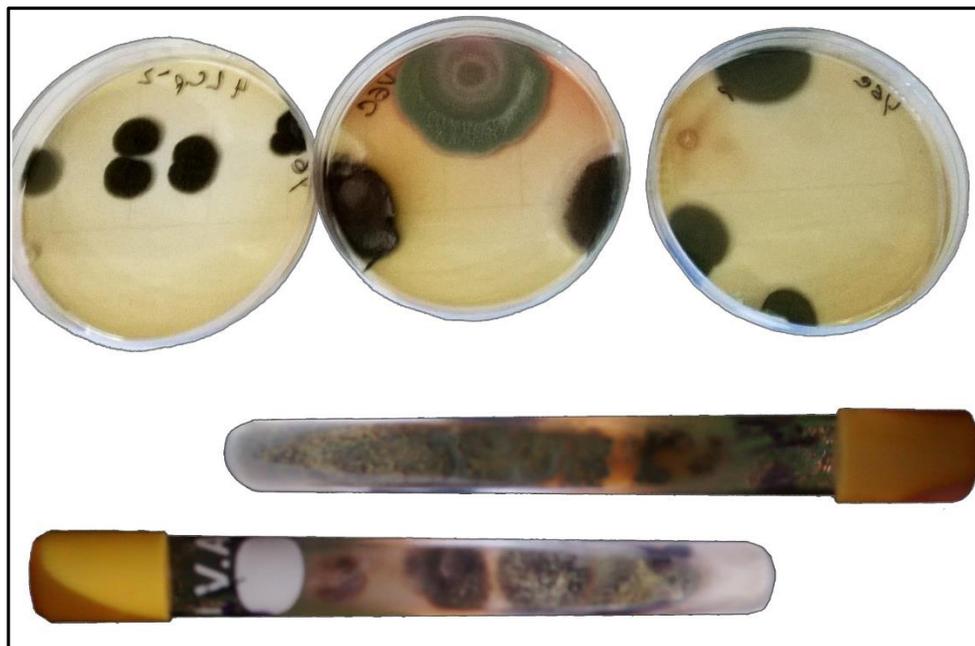


Figura 20. Cultivos fúngicos en YGC.

Los pocos géneros y especies tipificadas se pueden relacionar a los escasos organismos viables y cultivables presentes. Otros microorganismos viables pero que no cultivables, también pueden

hallarse colonizando las cerámicas pero requieren de la aplicación de técnicas avanzadas de la microbiología molecular para su identificación e interpretación de una relación tan compleja microorganismos sustrato (*biofilm*/sustrato) (Gutarowska 2016; Sterflinger y Piñar 2013). Asimismo, las escasas tipificaciones pueden relacionarse a la inhibición del desarrollo microbiano debido a la posible actividad antibiótica de los líquenes presentes.

Las UFC de bacterias que pueden ser cultivadas tal como el caso de *P. aeruginosa*, muestran mayores concentraciones en el caso de los estilos Ordinarios, poseedores de una matriz más porosa, que los estilos Aguada, con una matriz más compacta y superficie pulida, donde prevalecen hongos dependientes de la humedad (Tabla 6).

N°	Sitio	Estilo	Hongos (UFC cm ⁻²)			Bacterias (UFC cm ⁻²)		
			Med	Max	Min	Med	Máx	Min
1	Ald 3	Ag. Gris L.	40 ²	60 ²	5 ²	30 ²	100 ²	5 ²
2	Ald 3	Ordinario pasta gris	20 ²	30 ²	7 ²	40 ²	60 ²	6 ²
3	Ald 3	Ag. Ante L.	40 ²	50 ²	2 ²	9 ²	30 ²	0
4	Ald 3	Ordinario pasta ante	20 ²	70 ²	7 ²	100 ²	130 ²	34. ²

Tabla 6. Conteo de microorganismos. Med: mediana; Máx: máximo; Min: mínimo.

Aunque el crecimiento de organismos pioneros como algas y cianobacterias es usualmente seguido por el de actinomicetos y hongos heterotróficos, fenómeno aceptado y documentado en la literatura (Crispin y Gaylarde 2005; Herrera *et al.* 2004; Videla *et al.* 2003), éstos no fueron hallados en las muestras estudiadas. Sin embargo, hongos y bacterias fueron hallados al interior del sustrato. El régimen alternante de temperatura y humedad determina la cantidad y cualidad de la composición de los microorganismos (Allsopp *et al.* 2004), dependiendo a su vez de los niveles de estabilidad de la T y HR al interior de los poros de las cerámicas.

Los géneros de bacterias tipificados *Bacillus* sp. (bacteria formadora de esporas) y *Pseudomonas* sp. (bacteria tolerante de la desecación) son capaces de sobrevivir en condiciones ambientales no favorables como es el caso del valle de Antinaco Central. Las bacterias heterotróficas han sido frecuentemente aisladas de monumentos líticos y son conocidas como causantes de biodeterioro (Book y Sand 1993). Flores *et al.* (1992), por ejemplo, encontró varias especies de *Bacillus* en areniscas. En las muestras examinadas, bacterias productoras de ácido y bacterias reductoras de sulfitos también fueron identificadas pero no consiguió concretarse su tipificación. Este tipo de microorganismos se han vinculados a daños químicos y físicos acaecidos durante la formación de *biofilms* (Gaylarde y Gaylarde 2005), consecuentemente, es muy probable que estén desempeñando un rol importante en el biodeterioro de las cerámicas. Fungi y bacteria were found to develop within the substrate.

9.1.2. Cianolíquenes

Los resultados de las identificaciones taxonómicas mostraron una amplia variedad de especies de cianolíquenes (Tabla 7), creciendo en las superficies debilitadas de los fragmentos por la meteorización y los agentes postdepositacionales, como lo son las fisuras y fracturas frescas de los cantos (observable con LB) (Figura 18 y 19). Esta variedad de líquenes se encuentran adaptados a condiciones de rigurosidad climática que conllevan exposición a una intensa radiación solar, amplitud térmica marcada y escasa humedad (Hale 1967; Nash III 2008). Por ejemplo, la pigmentación oscura característica de los cianolíquenes funciona como filtro protector contra las fuertes radiaciones solares frecuentes en zonas desérticas (Mager y Thomas 2011; Pietrasiak *et al.* 2013). Asimismo, los talos de estas especies tienden a ser verticales los que constituye una adaptación específica de ambientes desérticos con lluvias torrenciales estacionales (Büdel y Schultz 2003).

ESPECIES DE CIANOLÍQUENES	ESTILOS CERÁMICOS		DATOS COMPARATIVOS		
	Aguada	Ordinario	Sustrato	Ambientes	Regiones
<i>Lichinella intermedia</i> Henssen, Büdel & T.H.Nash	X	X	Rocas, sedimento	Árido cálido	Desierto de Sonora, Planicie del Colorado, Montañas Rocallosas
<i>Lichinella mongolica</i> ined. H. Magn	X	X	Rocas silíceas	Árido frío	Desiertos fríos y estepas
<i>Peccania sinaiensis</i> ined. Vain.	X		Sedimento	Árido cálido	Península del Sinaí
<i>Peltula obscurans</i> var. <i>Deserticola</i> (Zahlbr.) Wetmore	X		Rocas	Árido cálido	Desiertos
<i>Peltula obscurans</i> var. <i>Hassei</i> (Zahlbr.) Wetmore	X		Rocas	Árido cálido	Desiertos
<i>Peltula omphaliza</i> (Nyl.) Wetmore	X		Rocas	Árido	Tierras secas
<i>Psorotichia</i> cf. <i>montinii</i> (A. Massal.) Forssell	X		Rocas	Árido frío	Alpes
<i>Psorotichia</i> spec.	X				
<i>Zwackhiomyces</i> spec.				<i>Psorotichia</i> spec.	

Tabla 7. Identificaciones por Dr. Matthias Schult. Cianolíquenes por estilos cerámicos. Información comparativa de otros sustratos y ambientes en dónde se han registrado las mismas especies.

Un tratamiento más sistemático de la taxonomía que el presentado en Soto (2015) y Soto *et al.* (2017), permitió identificar más especies. En tanto muchas de estas especies son muy pequeñas, negruzcas, no conspicuas y pobremente conocidas, su determinación tuvo que descansar en literatura de otras regiones, tal como Nash *et al.* (2002, 2004, 2007). En algunos casos nombres han sido adoptados en base a especies conocidas solamente en regiones muy distantes como Mongolia e Egipto. Algunas de las especies identificadas como *Psorotichia* sp. y otras Liquenomicetas se hallaban parasitadas por *Zwackhiomyces* sp., un género de hongo liquenoso caracterizado por una peritecia negra y dos pálidas ascoporas de dos células (Figura 21a). Debido

a que la infección por este tipo de parásito fúngico ocasiona daño considerable al talo de los líquenes crustosos, la identificación del líquen huésped resultó ser muy difícil o imposible en dichos casos.

La especie identificada más frecuente es *Lichinella intermedia* (Figura 21c) y es la que posee la dispersión más amplia en ambientes áridos alrededor del mundo (Schultz 2009). Todos los cianolíquenes identificados se encuentran en tiestos Aguada y solo dos especies, *L. mongolica* (Figure 21a) y *L. intermedia* han sido registrados en fragmentos Ordinarios (Tabla 7).

Todos los cianolíquenes hallados se han registrado previamente en sustratos rocosos en ambientes áridos. Por ejemplo, *L. mongolica* (Figure 21a) usualmente crece en rocas silíceas en los desiertos fríos de Mongolia, lo que es consistente con el contenido elevado de sílice y aluminio en las cerámicas (Orton y Hughes 2013; Rice 2015). Otras especies como *Peltula obscurans* var. *deserticola* (Figure 21b) y *P. obscurans* var. *hassei* (Figure 21a) las cuales suelen coexistir en sustratos rocosos, también han sido identificadas. Ello es consistente con especies de cianolíquenes pioneras las cuales colonizaron la cerámica al presentar esta un sustrato con una composición mineral a su hábitat natural. Además, la intensa luz solar, junto con las escorrentías estacionales y la condensación nocturna de la humedad, favorecen el crecimiento de los cianolíquenes (Brodo *et al.* 2001; Nash III 2008).

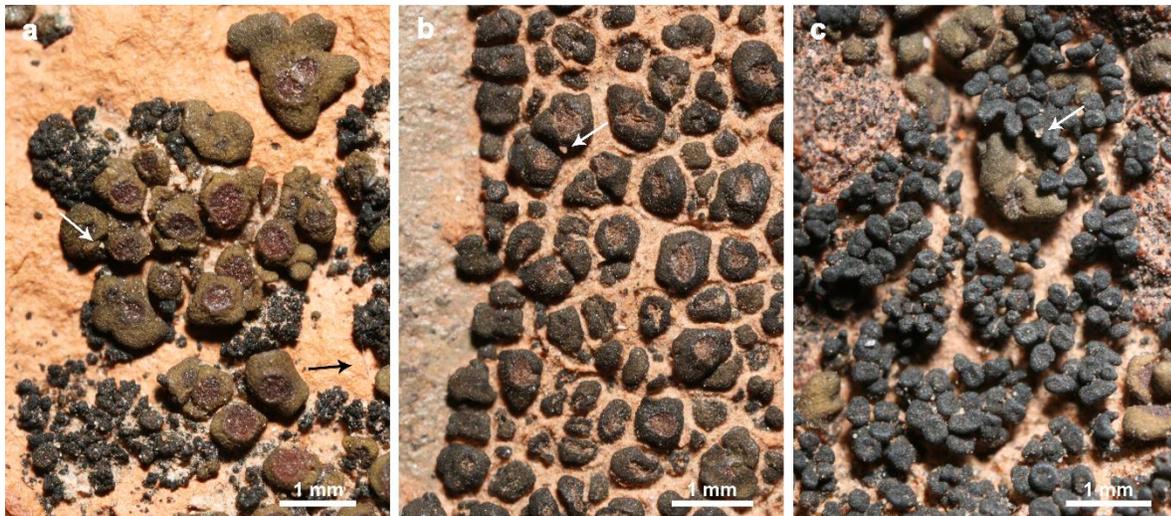


Figura 21. Cianolíquenes en tiestos Ag. Las flechas blancas muestran cristales de minerales integrados al talo de los líquenes. (a) La escamosa y olivacea *Peltula obscurans* var. *hassei* crece entrelazada con la negruzca *Lichinella mongolica* (ined.); polvo fino se acumula entre los talos y las irregularidades de la superficie. La flecha negra apunta a un filamento de *Zwackhiomyces* sp. (b) *Peltula obscurans* var. *deserticola* yace en una cubierta delgada de material mineral mientras las superficies pulidas a la izquierda permanecen libres de líquenes. (c) Negruzco, diminuto y escamoso talo de *Lichinella intermedia*; los diminutos puntos negros probablemente representan la primera etapa de la colonización.

En general, la etología de los cianolíquenes es concordante con las características ambientales conocidas del valle de Antinaco Central.

9.2. La cerámica

9.2.1. Análisis de variables tecno-morfológicas

A partir del muestreo estratificado y las observaciones con LB se constató que los cianolíquenes se registran en la mitad de la muestra: sin cianolíquenes, 1578 tiestos (49,10%), y con cianolíquenes, 1636 tiestos (50,90 %).

Por otra parte, la variable de estilos y sub-estilos cerámicos sugiere, ya que los sub-estilos Aguada gris liso y Aguada gris grabado tienen bajos porcentajes de presencia de cianolíquenes junto con los estilos Allpatauca cocido en atmósfera reductora y Ciénaga (donde predomina la cocción reductora también), que existe una relación entre el tipo de cocción (reductora) y la colonización de cianolíquenes (Tabla 8). El test de chi cuadrado corrobora la existencia de dicha asociación: χ^2 : 199,01 con p: 3,0873E-40. Los valores del test de Cramer indican, no obstante, que la intensidad de la asociación es baja: V: 0,24926. En consecuencia, una posible explicación a la intensidad baja de la asociación puede ser que la libre circulación de oxígeno en el momento de cocción se vincule a la existencia de mayores poros conectados con la superficie que los generados mediante cocción reductora. La existencia de mayores poros abiertos podría funcionar como trampas de polvo y concavidades óptimas para el desarrollo de las esporas de los líquenes.

Ciano- líquenes	Ag. A. Liso	Ag. G. Grab.	Ag. G. Liso	Ag. Pint.	Allpat.	Cién.	Incl. Finas	Ord.	Sanag.	Total
no	18,38%	0,89%	16,41%	11,47%	5,51%	1,20%	15,59%	30,16%	0,38%	100,00%
sí	35,21%	0,18%	8,01%	12,41%	1,77%	0,55%	9,35%	32,21%	0,31%	100,00%
Total	26,94%	0,53%	12,13%	11,95%	3,61%	0,87%	12,41%	31,21%	0,34%	100,00%

Tabla 8. Presencia de cianolíquenes por estilos y subestilos cerámicos. Valores expresados en frecuencias relativas (N=3214).

La variable de granulometría de la pasta no revela diferencias significativas tanto en sus frecuencias relativas (Tabla 9) como en los valores obtenidos de χ^2 : 47,435 con p: 5,0077E-11 y, V: 0,12149. Igual ocurre con la variable decoración a pesar de que el grabado o el inciso podrían estar generando una superficie irregular que facilitase la adherencia de líquenes (Tabla 10). Los resultados de los test para esta variable son χ^2 : 44,378 con p: 1,256E-09 y V: 0,1175. Finalmente, el tratamiento de superficie tampoco demuestra ningún patrón significativo (Tabla 11) y se observan los valores más bajos en los test: χ^2 : 24,111 con p: 9,0937E-07 y V: 0,08629.

Es esperable que estas variables no presenten asociaciones significativas en tanto los fragmentos hallados no se encuentran en su estado original de conservación, sino que sufrieron los efectos de la meteorización atmosférica y de la acción de diferentes agentes postdeposicionales. Aun los casos de tiestos Ordinarios con superficies más rugosas o fragmentos Aguada grabado que presentan ranuras en las que podrían adherirse más firmemente los líquenes, no dan cuenta de mayor colonización que los tiestos Aguada ante liso.

Cianolíquenes	Fina	Gruesa	Mediana	Total
No	49,62%	30,54%	19,84%	100,00%

Sí	56,36%	32,52%	11,12%	100,00%
Total	53,05%	31,55%	15,40%	100,00%

Tabla 9. Presencia de cianolíquenes por granulometría de las pastas. Valores expresados en frecuencias relativas (N=3214).

Cianolíquenes	Grabada	Incisa	Pintada	No Dec.	Total
No	0,89%	6,72%	11,85%	80,54%	100,00%
Sí	0,18%	2,32%	12,71%	84,78%	100,00%
Total	0,53%	4,48%	12,29%	82,70%	100,00%

Tabla 10. Presencia de cianolíquenes por decoración. Valores expresados en frecuencias relativas (N=3214).

Cianolíquenes	Alisado	Pulido	Total
No	52,85%	47,15%	100,00%
sí	44,19%	55,81%	100,00%
Total	48,44%	51,56%	100,00%

Tabla 11. Presencia de cianolíquenes por tratamiento de superficie. Valores expresados en frecuencias relativas (N=3214).

9.2.2. Petrografía de las pastas

El análisis de las pastas nos brindó resultados acordes con los de las pastas cerámicas Aguada del NOA y los estilos Ordinarios o Rústicos de carácter utilitario que suelen acompañar a las cerámicas más finas (Cremonte y Pereyra Domingorena 2013). Los cuatro fragmentos analizados nos demostraron que las inclusiones predominantes son el cuarzo microcristalino en primer lugar y los feldespatos ortosa y plagioclasa, con presencia también de microclino en segundo lugar. La excepción de un fragmento Ordinario en que los valores se invirtieron, predominando el feldespato y luego cuarzo. La mica fue la tercera inclusión predominante en los tiestos Ordinarios, ya que en los fragmentos Aguada esta sólo se registró en la matriz en forma muy escasa. Gran variedad de inclusiones se identificaron en los tiestos Ordinarios (Tabla 12).

Los poros identificados fueron abundantes de formas irregulares y achatadas/alargadas (Figura 22), en especial en los tiestos Ordinarios (Figura 23), probablemente por el desprendimiento de inclusiones al prepararse el corte. La excepción volvió a ser el tiesto Aguada Ante Liso, que da cuenta de una pasta muy compacta y con muy escasas inclusiones y poros. Además, se constató la orientación de las inclusiones en tres de los cuatro casos, lo que sugiere una técnica de levantado de las vasijas por rollos. Sin embargo, una estimación del porcentaje de matriz (inclusiones inferiores a los 0,10 mm) e inclusiones y el tipo de inclusiones presente, sugiere diferentes formas de preparado de las pastas cerámicas.

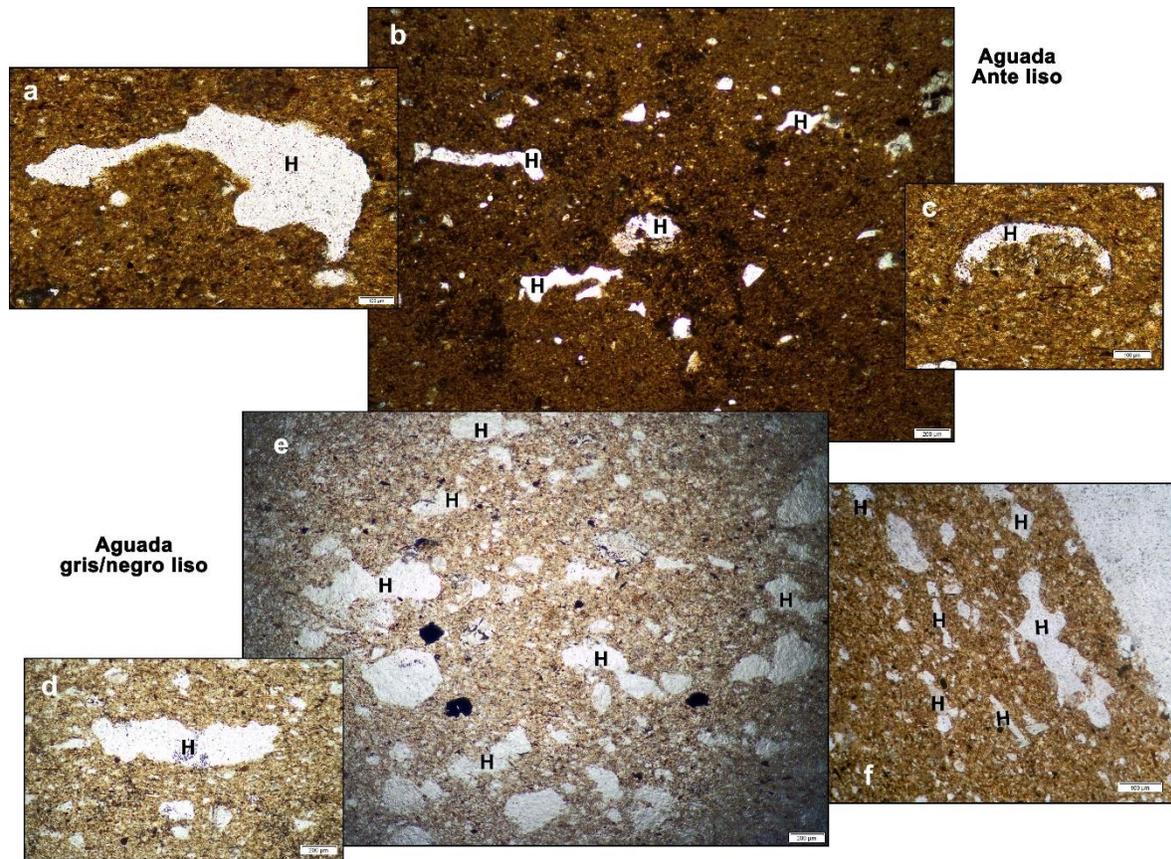


Figura 22. Calcografías tiestos Ag. cocción oxidante arriba y cocción reductora abajo. La “H” indica huecos de la pasta. (a) y (c) detalle de huecos a 10x. (b) Vista general de la pasta a x2. Se observa una leve orientación horizontal de las inclusiones. (d) y (f) detalles de huecos irregulares a 10x. Se puede observar alineación de huecos en “f”. (e) Vista general de la pasta a 2x. Se observan minerales opacos.

Muestras	Cuarzo	Feldes.	Mica	Vegetal	Anfibol	Arenisca	Granito	Min. Opacos	Carbonato	Arcilla
Ag. G. L.	X	X			X			X		
Ag. A. L.	X	X						X		
Ordinario	X	X	X			X	X		X	X
Ordinario	X	X	X	X				X	X	

Tabla 12. Petrografía. Inclusiones identificadas por muestras.

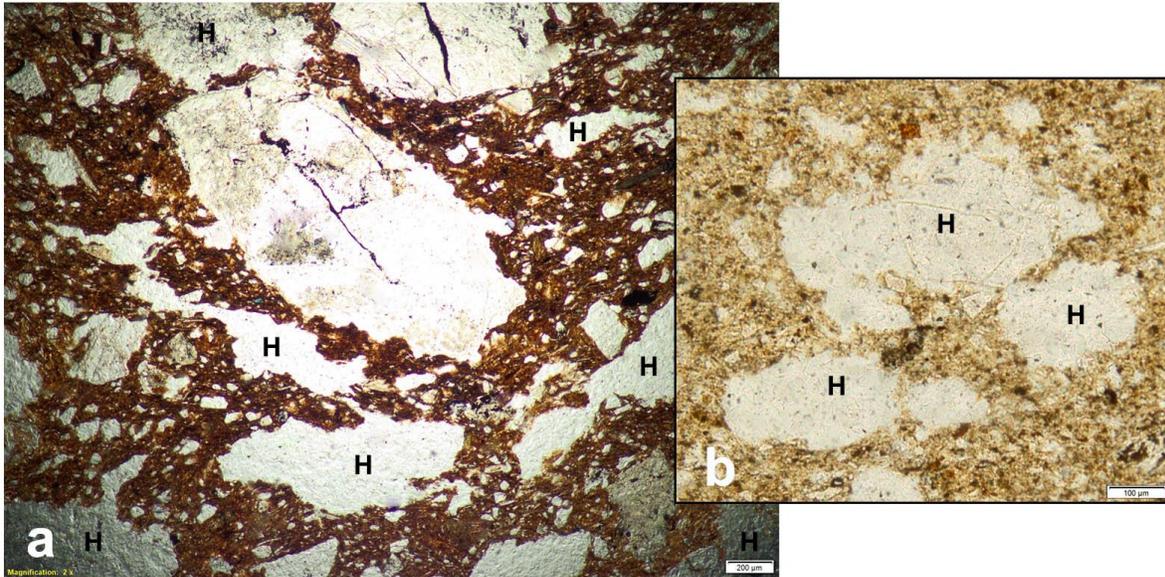


Figura 23. Calcografías de tiesto Ord. cocción oxidante. La “H” indica oquedades en la pasta. No se observa orientación de las inclusiones. (a) Vista general de la matriz a 2x. (b) Detalle de huecos a 10x.

9.3. Microscopías y EDS

9.3.1. Observaciones por LB

Estas primeras observaciones me permitieron corroborar que la colonización de los tiestos por los cianolíquenes inicia en las superficies externas debilitadas por la acción de agentes erosivos, especialmente los cantos y el interior de las microfisuras resultado del impacto térmico o mecánico generado por la meteorización (Soto 2015). Las superficies compactas y pulidas de los fragmentos Aguada se encontraba usualmente libre de líquenes, mientras que los bordes desparejos y los sectores agrietados se hallaban abundantemente colonizados (Figura 18f y 19f). En cambio, las superficies irregulares y rústicas de los tiestos Ordinarios se presentaron como óptimas para la colonización biológica (Figura 18d, 19d y 24). Incluso en fragmentos Aguada con superficies pulidas, pequeñas grietas y agujeros a veces permiten la acumulación de sedimento y material fino, desencadenando la colonización por líquenes (Figura 25). Eventualmente, los espacios entre las apotecias sirven como trampas de polvo, incrementando el material suelto depositado en la cerámica (Figura 21a). Ello es especialmente cierto por el ataque al sustrato representado por oquedades y *biopits* de formas regulares, circulares y subcirculares, de entre 0,5 y 2 cm, dejadas por el talo del líquen una vez este se ha desprendido del sustrato (Figura 24 y 26).

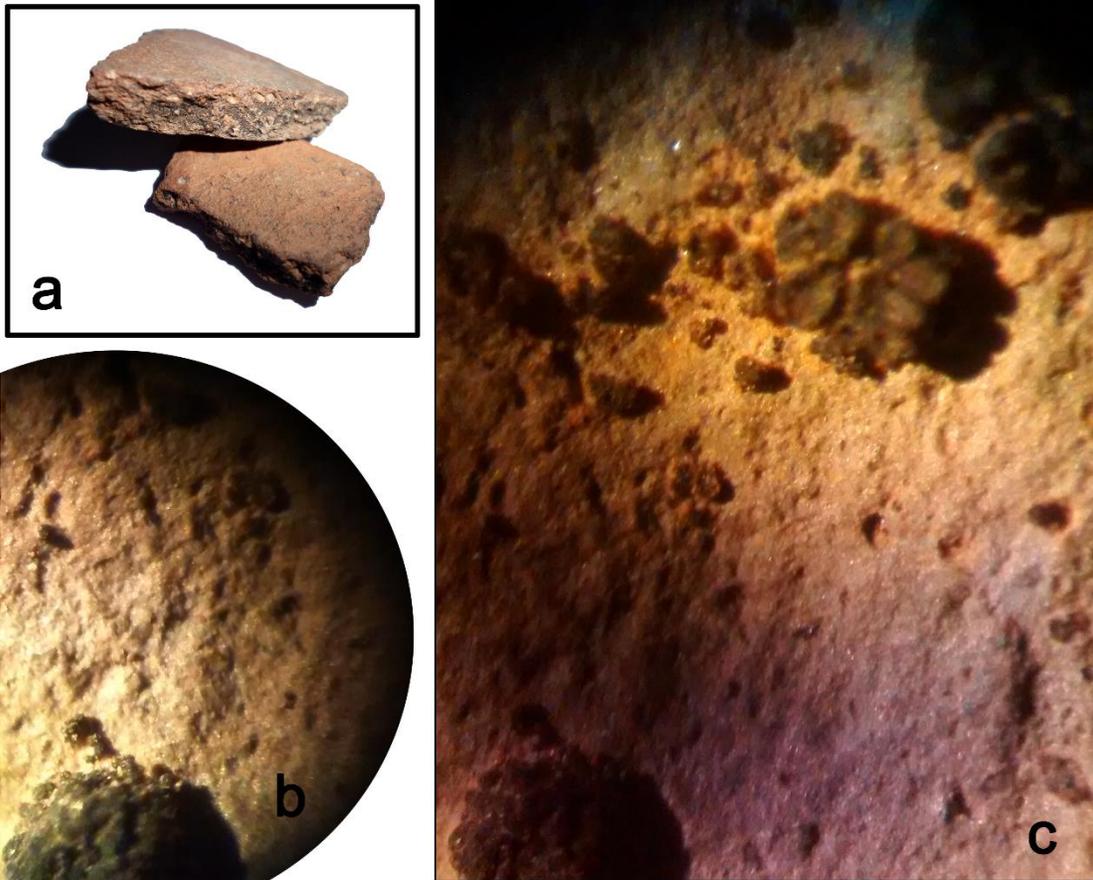


Figura 24. (a) Tiestos Ord. (b) y (c) LB de tiestos Ord. a 10x. Microcavidades de la superficie son señaladas por círculos rojos. Se observan pequeños talos de cianolíquenes del mismo tamaño que los *biopits* señaladas.

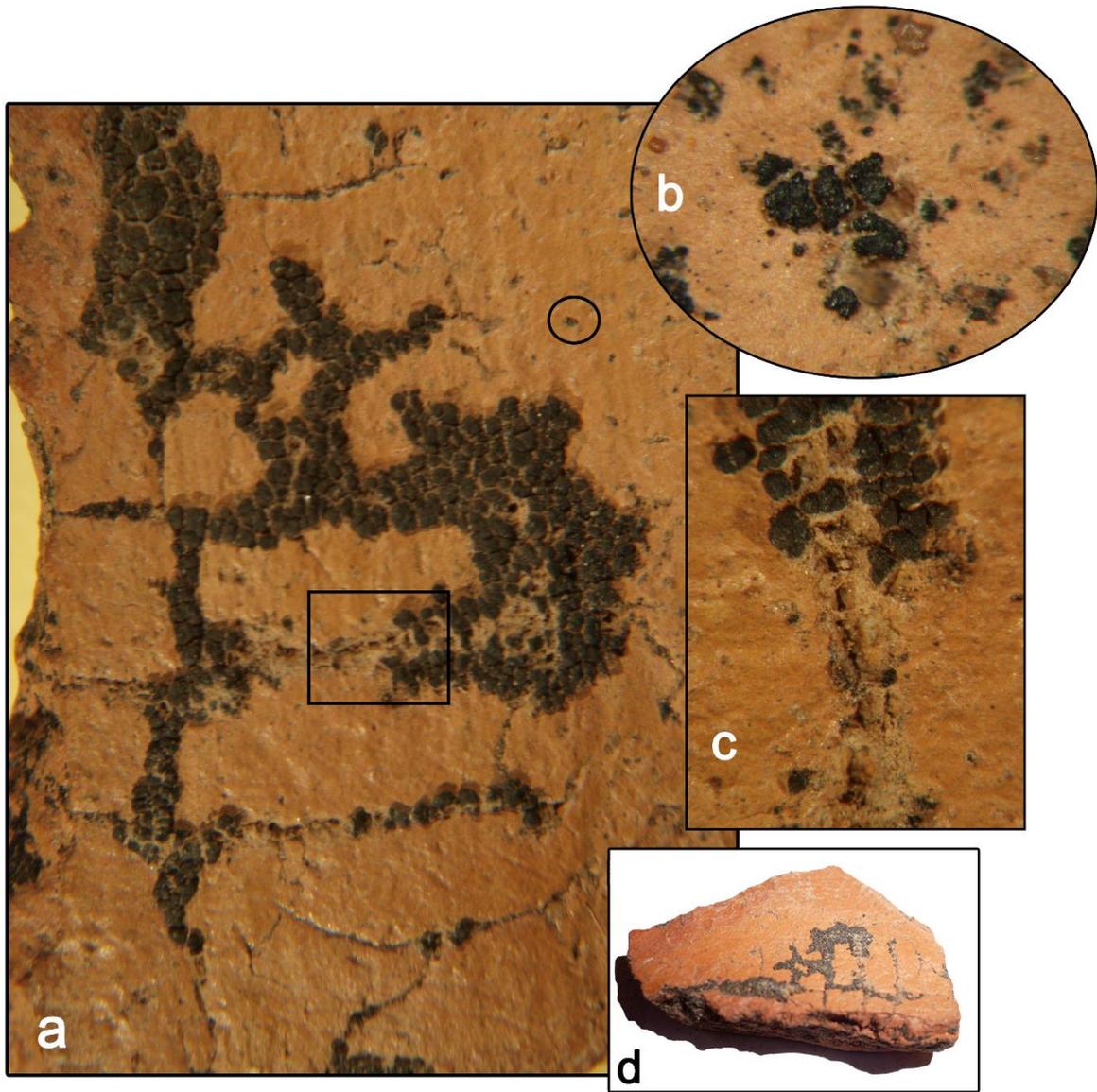


Figura 25. (d) Tiesto Ag. ante liso. Ampliaciones con LB de "d". (a) Cianolíquenes creciendo en los sectores debilitados de las superficies, especialmente en grietas y microfisuras a 10x. (b) Ampliación área circulada de "a" a 56x. Talos de cianolíquenes en superficie pulida. (c) Ampliación de sector rectangular a 56x. Cianolíquenes desgranando el sustrato. Se observa polvo suelto en la grieta y en torno a los talos.

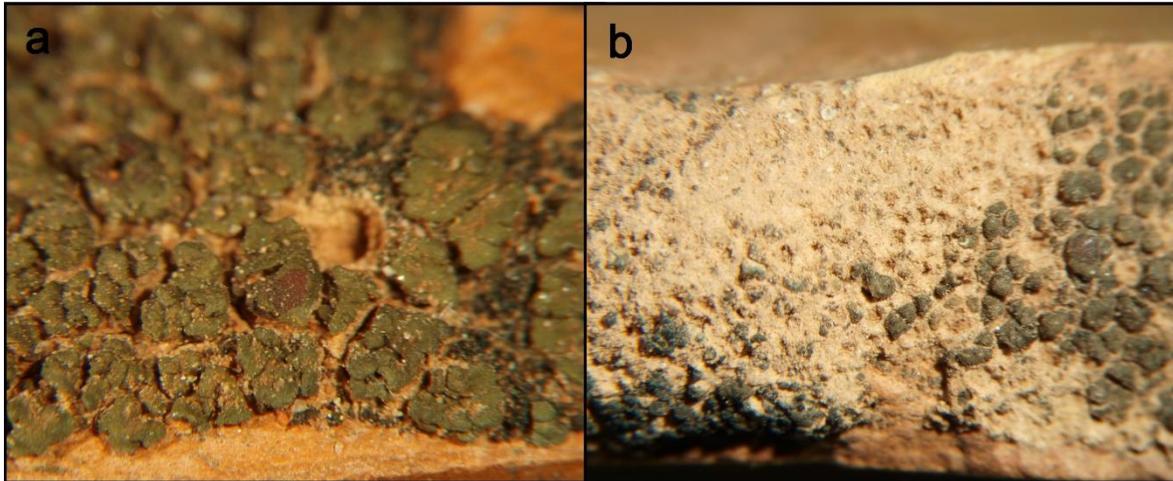


Figura 26. LB de Ag. ante liso. (a) Se ve claramente en el canto el *biopit* dejado por el talo al desprenderse a 56x. (b) Vista general del canto de otro fragmento a 10x. Se observan *biopits* y el material desgranado de la cerámica semi-adherido al canto. Nótese que el tono de la pasta de la superficie y del borde inferior del canto es diferente porque no se encuentra impactado.

9.3.2. Observaciones por MO

Se observó como las hifas de los cianolíquenes atravesaban el sustrato (Figura 27a) y como el talo incorporaba en sus estructura fragmentos de mineral que habían sido desprendidos de la cerámica (Figura 27b). Lo que también se observó en las microfotografías de las especies de líquenes (Figura 21). Esto evidencia un claro deterioro mecánico por los cianolíquenes.

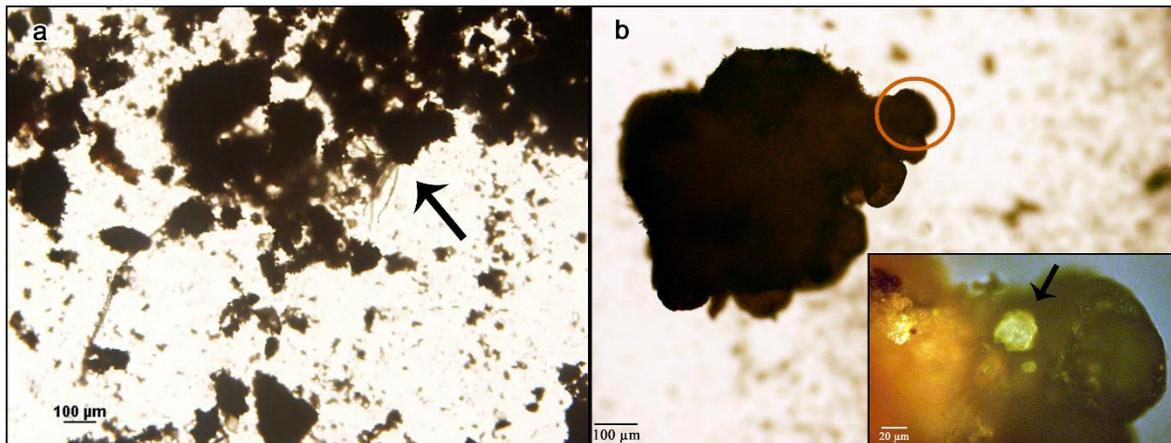


Figura 27. MO de tiesto Ag. cocción oxidante. (a) la flecha señala las hifas del cianolíquen entre el sustrato. (b) Se observa un talo de cianolíquen. La magnificación de la apotecia circulada permite observar fragmentos minerales absorbidos al interior del líquen.

9.3.3. Observaciones por MEB

Una de las técnicas aptas para observaciones y análisis de superficies, ideal para estudiar la interfase entre el sustrato y los agentes biológicos, es el MEB-EDAX (Little *et al.* 2006). Es así que se observaron las muestras en las que se basaron los cultivos microbiológicos en primera instancia y luego, se abordaron muestras del PC y de otros sectores de LC para buscar similitudes y diferencias.

En todos los casos se evidenció presencia de estructuras biológicas o cambios en la estructura del sustrato consecuencia de su actividad vital. La colonización de los tiestos por los cianolíquenes se visualizó con mayor resolución, corroborándose además de que no sólo éstos se adhieren a las irregularidades de las superficies producidas por meteorización (Figura 28b) sino a las ocasionadas por las técnicas de acabado de superficies (Figura 29e, 31c), probablemente asociable a la acumulación de material suelto y, en los cantos y bordes de los tiestos (Figura 28c, 28d, 28e y 29a). La penetración de las hifas del líquen en el sustrato (Figura 28a) y el desgranado de la cerámica (Figura 28c y 31c) también son evidentes con mayor detalle. Una ampliación de un borde permite corroborar que el sustrato queda completamente resquebrajado con las estructuras de los cianolíquenes firmemente adheridas cuantos estas se presentan de difícil observación (Figura 28f). Mientras que la magnificación del área de contacto entre el talo y el sustrato de otra especie de cianolíquen nos muestra que la matriz cerámica se encuentra totalmente recubierta por EPS e hifas (Figura 29b) y ha quedado completamente desintegrada (Figura 31d).

También se observó como las hifas de hongos filamentosos perforan y fragmentan la estructura de la matriz arcillosa (Figura 30a, 30b, 30f y 31a) y van adhiriéndose a las superficies (Figura 30c, 30e y 30f). A mayores aumentos se constató la presencia de bacterias creciendo sobre los mismos hongos (Figura 30d), los líquenes (Figura 29c), probablemente cianobacterias en las hifas fúngicas de los líquenes (31d) y, también, sub-superficialmente en la cerámica (Figura 29e). Asimismo, un sector de una muestra se mostró totalmente recubierto por pequeñas microconcavidades de apenas unos pocos micrones de diámetro que podrían estar dando cuenta de metabolitos ácidos que desintegraron el sustrato (Figura 29f). La identificación de SPE y diversas sustancias recubriendo la matriz en especial en sectores con actividad biológica (Figura 29b, 30c, 30d, 30e y 30f), también se constató en las muestras provenientes del PC (Figura 31a y 31b) y es muy probable que contribuyan a la alteración química del sustrato por la actividad metabólica (Crispin y Gaylarde 2005; De los Ríos *et al.* 2009) y que funcionen como adhesivo para material suelto (Figura 28a, 30c, 30d, 30f y 31b).

La única diferencia notoria en el conjunto de muestras respecto del PC fue que la colonización de líquenes fue menor en éste, probablemente debido a la menor exposición solar de los tiestos por la pendiente de la quebrada y la vegetación copiosa que la cubre.

Finalmente, en la observación de los tres fragmentos provenientes de excavación no se individualizaron estructuras biológicas de ningún tipo ni rastros que pudieran sugerir la presencia de microorganismos activos. No obstante, para completamente descartar la presencia de microbiota análisis de laboratorio son necesarios y estos no fueron ejecutados en tanto el objetivo de la tesis fue abordar el material con claras evidencias de ataque biológico.

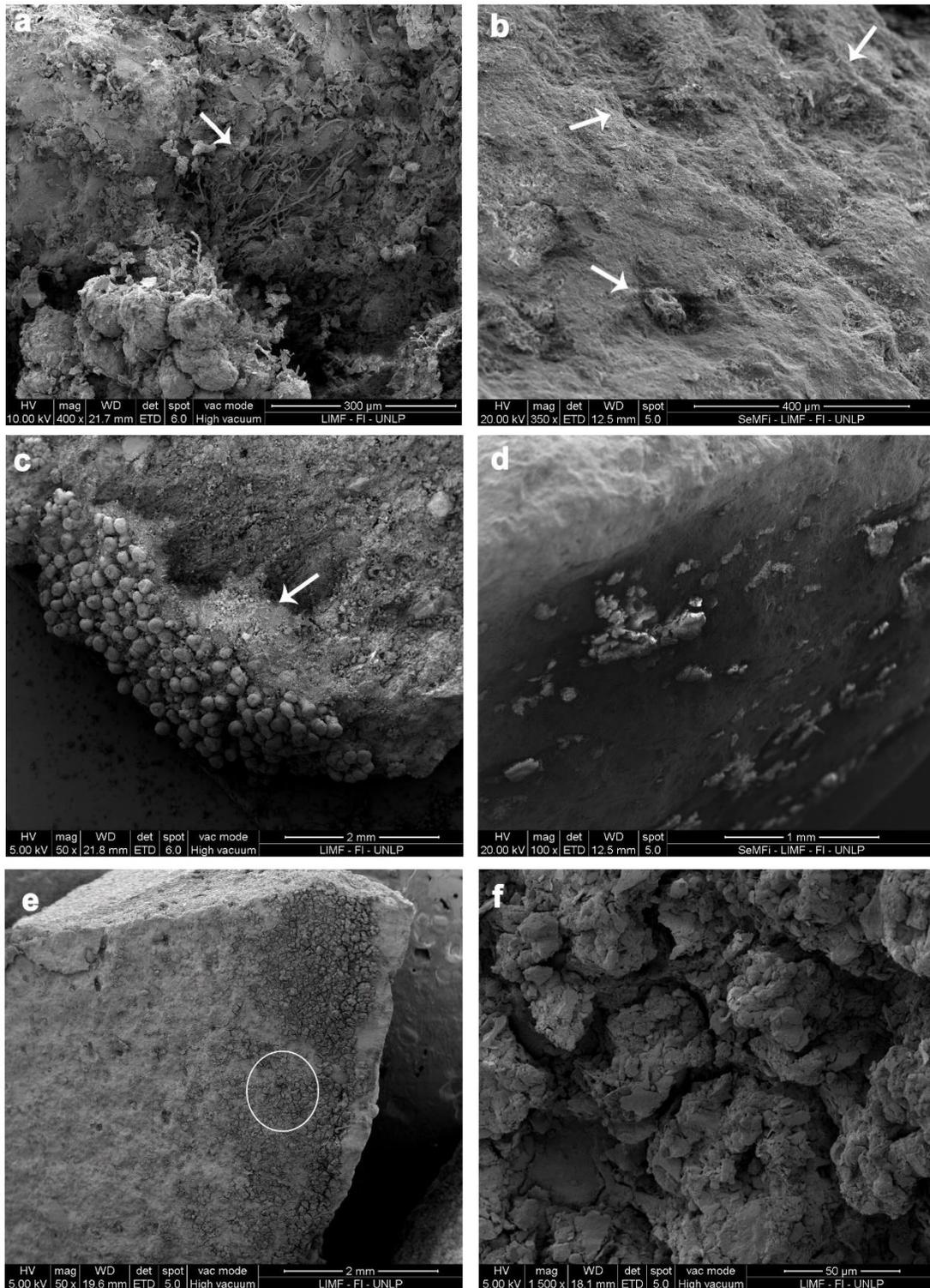


Figura 28. MEB de cianolíquenes. (a) Tiesto Ag., hifa del cianolíquenes penetrando y desgranando el sustrato marcada por una flecha. (b) Tiesto Ag., *biopits* dejados por los talos son señalados por flechas. (c) Detalle de canto de tiesto Ag., nótese el material desgranado y semi-suelto señalado por la flecha. (d) Canto de tiesto Ag. (e) Tiesto Ord. (f) Ampliación de área circulada en “e”. Talos de cianolíquenes deshidratados. Se observan grietas entre ellos que se adentran en el sustrato.

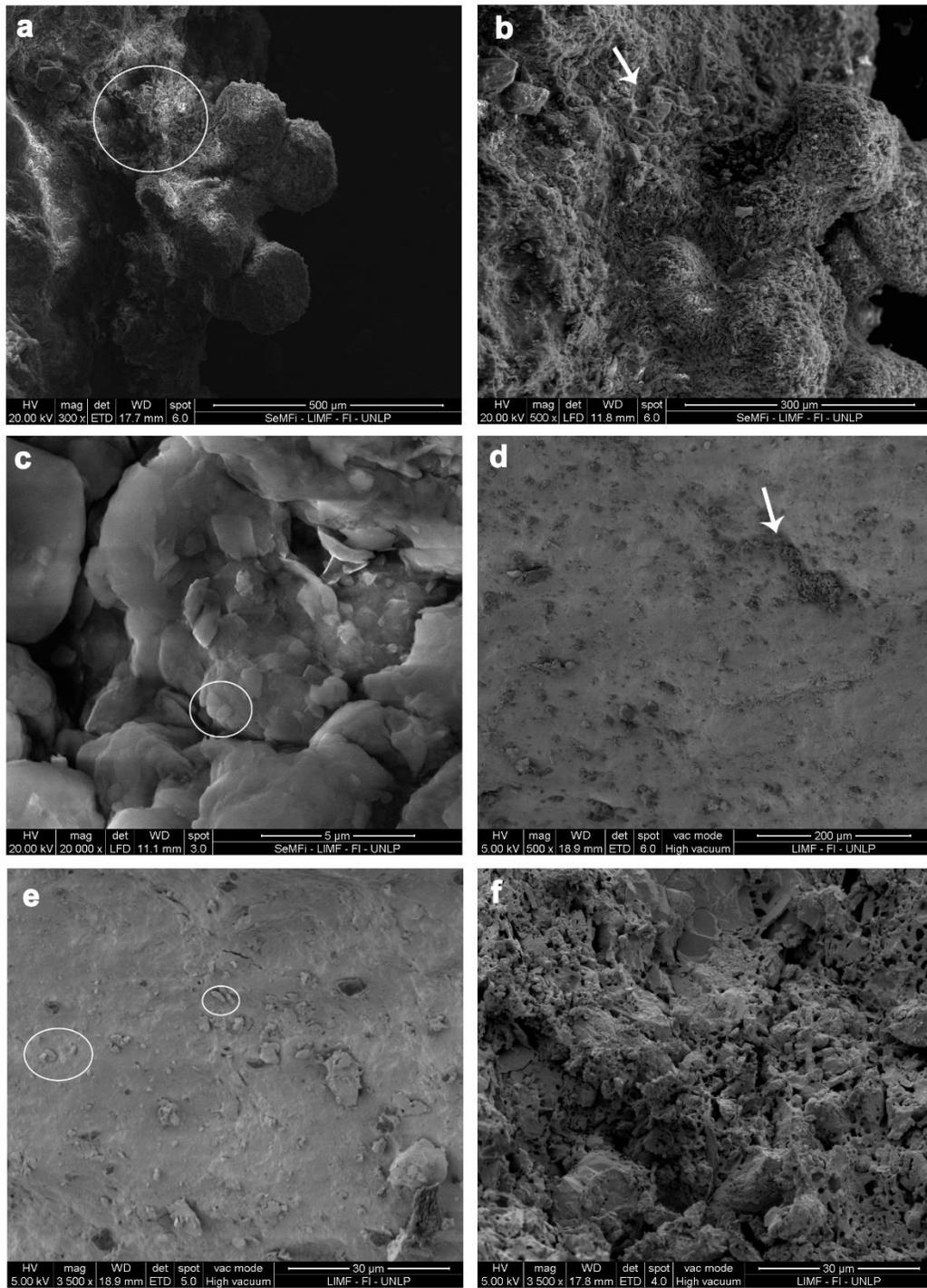


Figura 29. MEB. (a) Cianoliquen en tiesto Ord. (b) Ampliación de área circular en “a”. La flecha apunta a las hifas del liquen adentrándose en el sustrato. Toda la superficie está recubierta por EPS. (c) Magnificación de talo en tiesto Ord. Se observan bacterias ovaladas bajorelieve en todos los talos, el círculo señala una a modo de ejemplo. (d) Tiesto Ag., cianoliquenes creciendo en las irregularidades de la superficie. Indicado por una flecha. (e) Tiesto Ag. Magnificación superficie. Círculos señalan bacterias ovaladas creciendo bajorelieve. (f) Detalle tiesto Ord. Nótese que toda la matriz se encuentra recubierta de microcavidades (*micropits*) de pocos μm de diámetro, probablemente producto de metabolitos ácidos generados por los agentes biológicos.

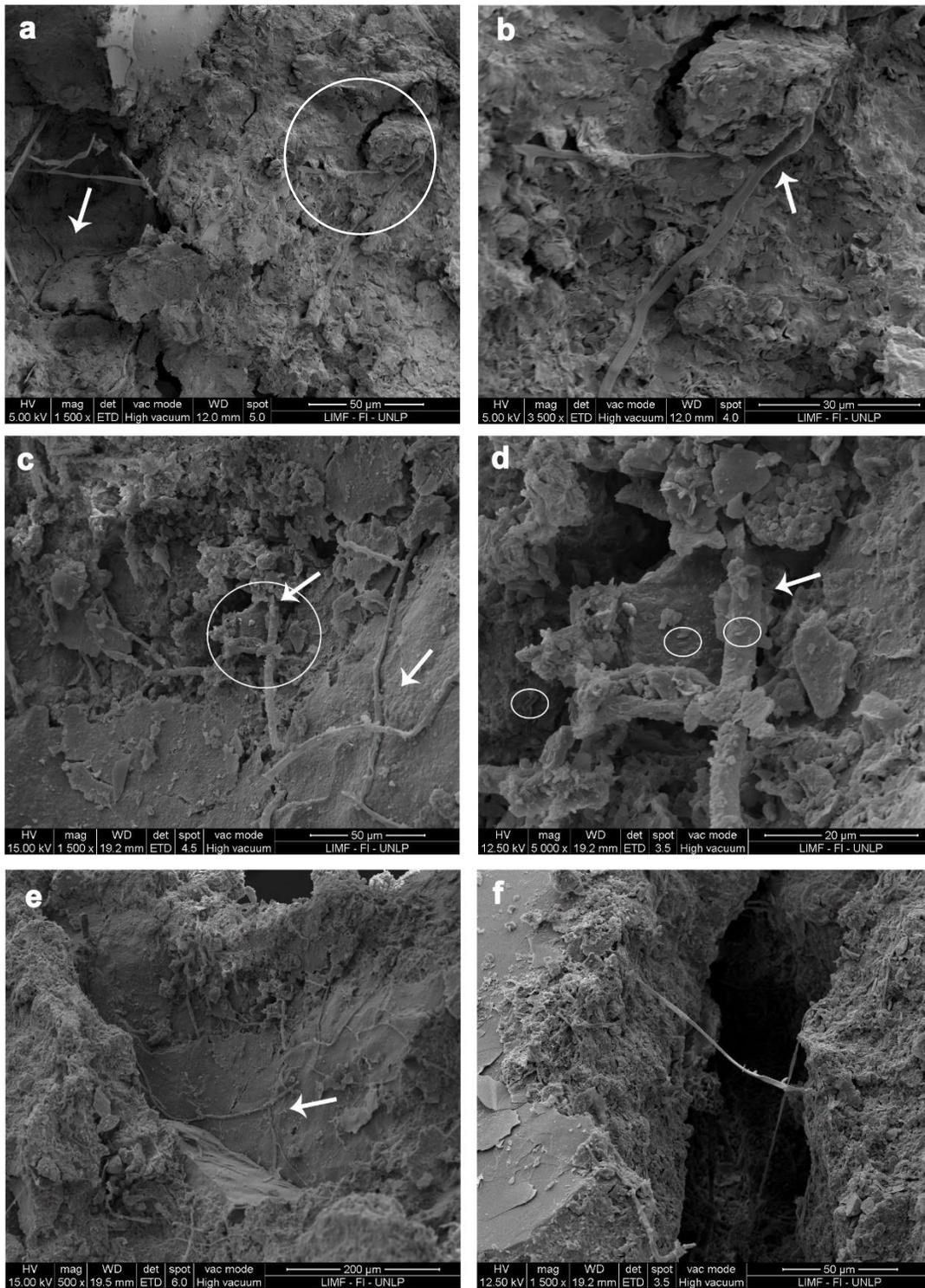


Figura 30. MEB tiestos Ord. (a) Hifas fúngicas creciendo en microfisuras y separando el sustrato. (b) Ampliación de área circulada en “a”. Se observa un fragmento de matriz siendo separado por hifas. (c) SPE e hifas (señaladas por flechas) recubren la matriz e impiden ver minerales y láminas de arcilla. (d) Magnificación de “c”. Los círculos marcan bacterias creciendo bajorelieve en material suelto como sobre la misma hifa fúngica, indicada por una flecha. (e) Matriz recubierta por hifas y SPE. (f) El SPE funciona como adhesivo para el material suelto y recubre la grieta, su interior y el extremo izquierdo. Las hifas atraviesan la pasta.

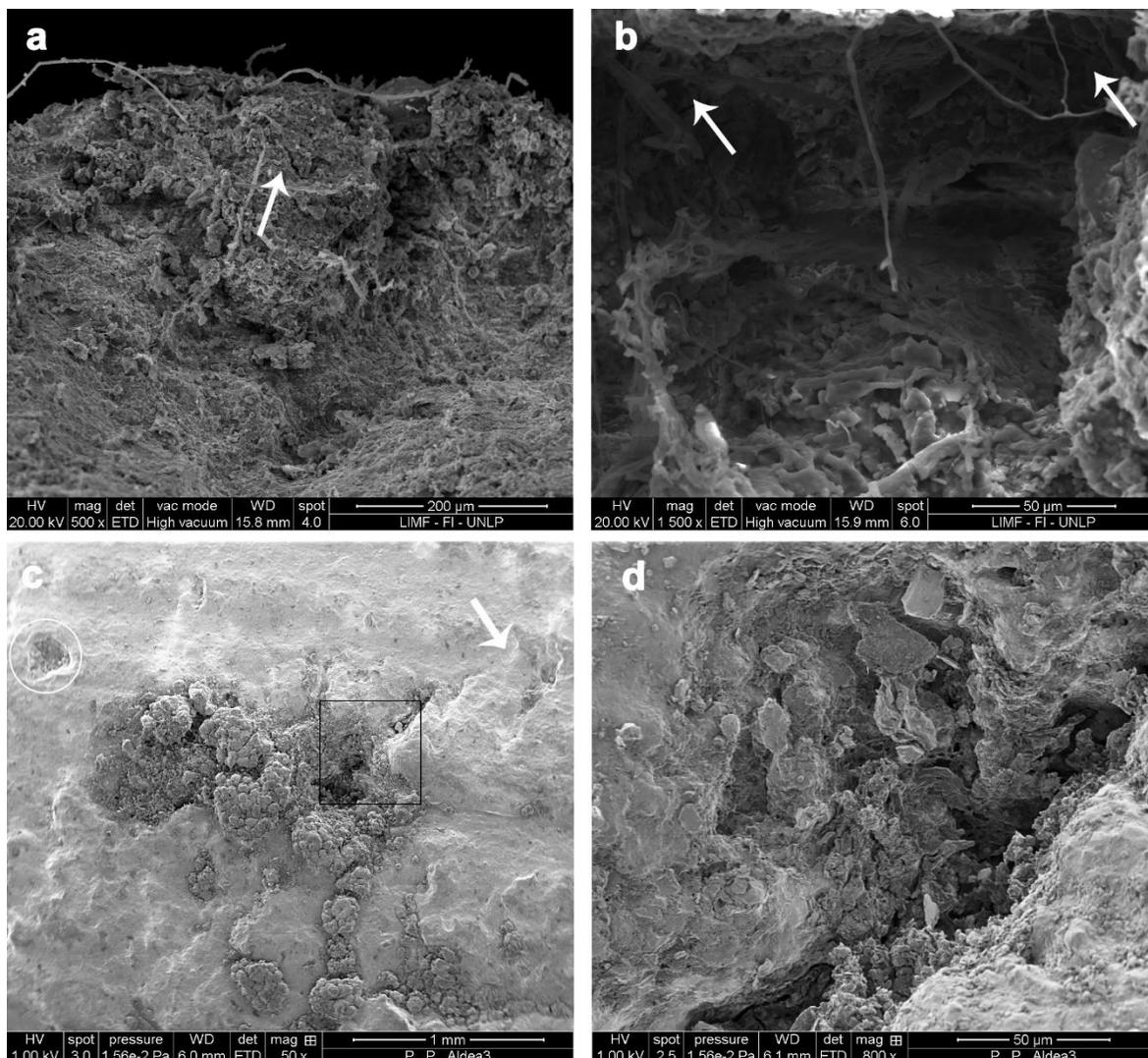


Figura 31. MEB. (a) Tiesto Ord. del PC. Hifas y SPE recubren completamente la matriz. La flecha señala una grieta probablemente generada por las hifas. (b) ídem “a”. Las flechas señalan hifas pendiendo de una concavidad al interior de la matriz. (c) Tiesto Ag. Cianolíquenes en las irregularidades de las superficies, indicadas por flechas, y en los huecos, probablemente productos de la erosión, marcado por un círculo. (d) Magnificación del sector recuadrado de “c”. Nótese el desgranado y deterioro del sustrato producido por el cianoliquen. Los oвалos negros indicados por la flecha probablemente sean cianobacterias.

9.3.4. Análisis de superficie por EDS

En el caso de las muestras donde la presencia de cianolíquenes, hongos y bacterias pudo ser demostrada por MEB (Figuras 28a, 28c y 28d), análisis adicionales por EDS indicaron valores significativamente elevados de carbono en comparación con secciones donde dicha microbiota se encontraba ausente (Figura 32). En la cerámica arqueológica, el carbono se encuentra usualmente asociado a la estructura química de la matriz, principalmente como carbonato, o como pigmento de las decoraciones (Acevedo *et al.* 2015) y, no presente como compuesto orgánico. Eso se debe a que el proceso de cocción a temperaturas mayores a los 750 °C carboniza los compuestos orgánicos (la oxidación inicia a los 500 °) al interior de la pasta (Orton y Hughes 2013; Rice 2015).

La carbonización incompleta de material orgánico es muy improbable en cerámica Aguada ya que si se hubiera dado, las vasijas resultantes no habrían sido capaces de alcanzar las tonalidades ante/naranjas/rojizas tan características de la cocción oxidante (Figura 14b, 17a, 18b, 18c, 18e, 19 y 25). Además, este estilo cerámico se caracteriza por un complejo proceso de manufactura y cocción que da cuenta de vasijas extremadamente finas en sus variantes de pasta gris y ante (González 1998), lo que no sugiere la presencia de material orgánico al interior de la pasta e implica atmósferas de entre 850-1050 °C. Temperaturas de cocción menores a 750 °C o corta exposición, pueden permitir que permanezcan compuestos orgánicos, como podría ser el caso del estilo Ordinario. Sin embargo, el producto resultante no se habría convertido en cerámica debido a que la transformación de la arcilla en cerámica ocurre *ca.* 550-600 °C (Orton y Hughes 2013). En consecuencia, las concentraciones de carbón mayores a 13% tanto en fragmentos Aguada como Ordinarios se deben presumiblemente a los compuestos orgánicos producidos por la actividad microbiana o por organismos no activos conformados por carbono. La producción de compuestos orgánicos por organismos fototróficos ha sido registrada previamente en objetos patrimoniales (Ascaso *et al.* 2002; Strzelczyk 1981).

Los hongos quimio-organotróficos aislados de los géneros *Penicillium*, *Aspergillus* y *Cladosporium* son reconocidos por estar asociados con la habilidad de remover cationes de hierro (Fe) y Manganese (Mn) de la estructura de los minerales, elementos que conforman la base de la cerámica arqueológica, que pueden ser oxidados por otras sepas fúngicas (Gómez Alarcón *et al.* 1994; Koestler *et al.* 1985). La secreción de ácido 2-keroglucoso conduce a la descomposición del sílice, presente en las inclusiones de cuarzo de la cerámica por bacterias del género *Bacillus*, *Arthrobacter* y *Streptomyces* (Papida *et al.* 2000; Warscheid y Braams 2000). Asimismo, la concentración de calcio (Ca) fue mayor en secciones con líquenes 2.97% (Figure 32a) y con microbiota alcanzó 3.50% (Figure 32b y 33b). La red biogénica creada debajo del sustrato por estos organismos puede desempeñar un rol relevante en el proceso de biomovilización de Ca (Ascaso *et al.* 2002). Adicionalmente, estos valores pueden relacionarse con los oxalatos producidos por los cianolíquenes. En este sentido, el oxalato de Ca es el más común hallado en los líquenes y sus concentraciones varían entre 1 y 50% dependiendo de las especies involucradas y del ambiente (Seaward 2004).

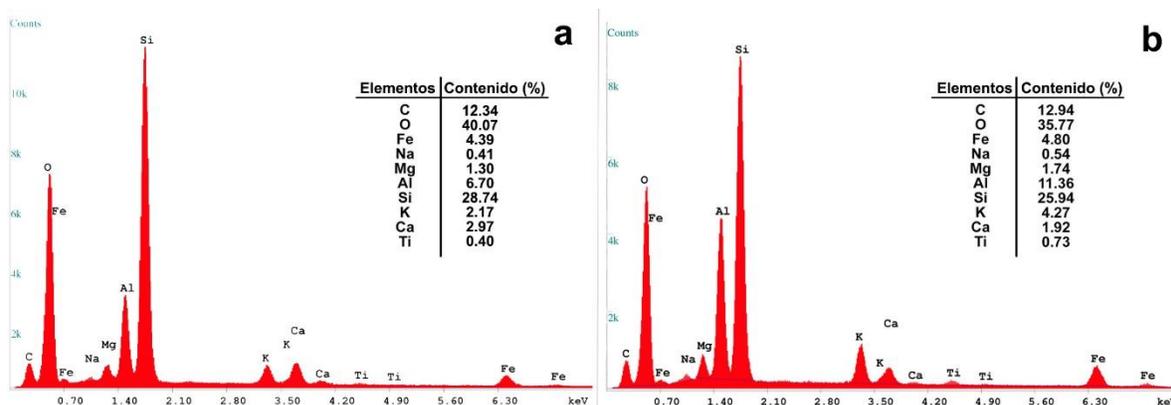


Figura 32. EDS y contenido elemental expresado en frecuencias relativas. (a) Sector con cianolíquenes. (b) Sector sobre talo recubierto de bacterias.

Los elevados valores de O ca. 40% (Figura 32), por otro lado, pueden estar asociados a la producción de metabolitos ácidos y a la liberación de moléculas de carbonato de magnesio (Gutarowska *et al.* 2015), elemento también identificado.

9.4. Ensayos de laboratorio

9.4.1. Desarrollo de biofilm por *Pseudomonas sp.*

La sepa de *Pseudomonas sp.* aislada de los tiestos Ordinarios produce un pigmento azul-verdoso, típico de *P. aeruginosa* cuya temperatura óptima para crecimiento es de 42 °C en agar cetrimide. Esta especie es catalasa y oxidasa positiva y, liquifica gelatina. Además, es ureasa positiva y reduce nitratos (Gentilini 2007).

Análisis por MEB demostraron la capacidad de bioadherencia y formación experimental de *biofilm* de *P. aeruginosa* en el tiesto Ordinario (Figura 33a). Esta sepa bacteriana utiliza las irregularidades de la superficie y los *biopits* asociadas a los talos de los cianolíquenes para desarrollarse en condiciones óptimas. La habilidad de esta especie de conformar *biofilm* significativos ha sido extensamente descrita por Guamet *et al.* (2012). Es probable que las bacterias identificadas bajo-releve en la superficie de Aguada (Figura 29e) estén representado a esta sepa o alguna otra especie de bacteria con similar comportamiento, lo que sugiere mayores riesgos para los investigadores si alguna de ellas resulta ser patógena.

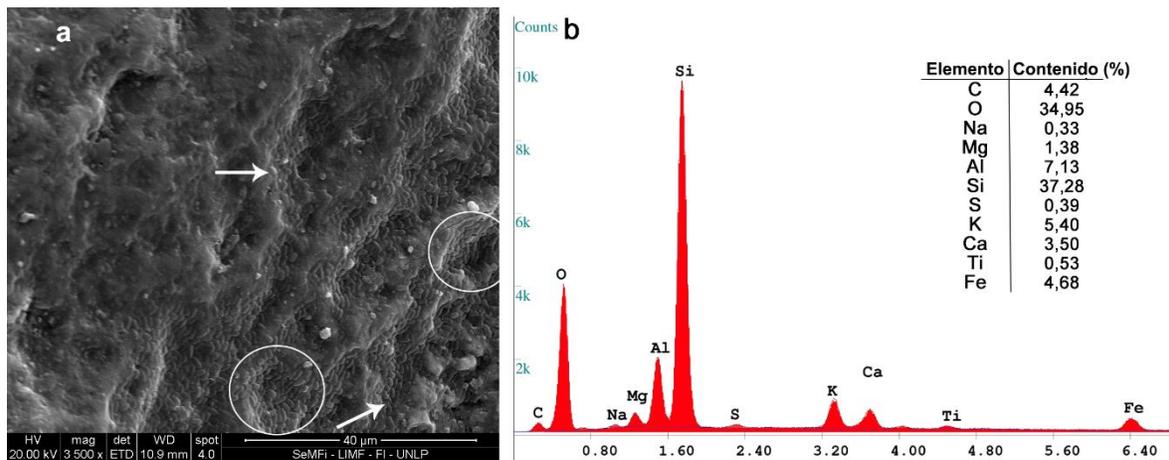


Figura 33. (a) MEB de biofilm experimental de *Pseudomonas aeruginosa*. Los círculos señalan *biopits* y las flechas irregularidades de la superficie. (b) EDS del círculo inferior. Contenido elemental expresado en porcentaje.

Vuorinen *et al.* (1981) observó rocas graníticas siendo lentamente degradadas por esta especie, lo que resultó en alteraciones morfológicas de la superficie rocosa y la elución química de los minerales que la integran.

9.4.2. Test de acidificación

Luego de 15 días de incubación y exposición a la luz, se detectó la disminución de dos unidades de pH, de 7 a 5 (Figura 34). Esto demuestra la presencia de producción de metabolitos ácidos por los agentes biológicos los que podrían llegar a intervenir en el deterioro.



Figura 34. Izquierda muestra Ag., centro control, derecha Ord. Se observa un leve cambio en la coloración producto de la disminución del pH.

9.5. Análisis de variables ambientales

9.5.1. Mediciones de T, HR y Pt rocío

Si bien las mediciones fueron tomadas durante un corto periodo de tiempo en el mes de octubre (primavera), incluyeron una tarde en que sopló el viento Zonda con un posterior descenso de la temperatura por la noche, permitiéndonos observar brevemente como acontecería este fenómeno a mayores escalas. En líneas generales se corroboró la presencia de una amplitud térmica diaria que llegó a alcanzar los 30 °C, asociada a cambios más bruscos en la HR que alcanzaron 43 unidades de diferencia diaria (Figura 35). La medición de la T y la HR nos permitió, además, calcular el punto de condensación del rocío que osciló entre los 0,6 °C entre la una y dos de la madrugada de la noche posterior al viento Zonda y los 12,6 °C a las 11 a.m. Ello se condice con las conocidas características de la biota de los desiertos y ambientes áridos, donde la humedad necesaria es adquirida durante la noche cuando la intensidad de la luz es la más baja. Además, este fenómeno se prolonga hasta las últimas horas de la mañana en los valles de altura y sectores montañosos, momento en que el sol llega a elevarse por sobre los cerros.

	μ	σ	Máxima	Mínima
Temperatura	21,064	11,379	44,812	4,246
Humedad Relativa	46,097	21,652	84,233	12,736

Punto de rocío	6,664	2,773	12,655	0,663
-----------------------	-------	-------	--------	-------

Tabla 13. Variables ambientales. Síntesis estadística de valores máximos, mínimos, μ (media) y σ (desviación estándar).

Los valores obtenidos se condicen con las características climáticas del valle de Antinaco (una síntesis estadística puede ser apreciada en la Tabla 13).

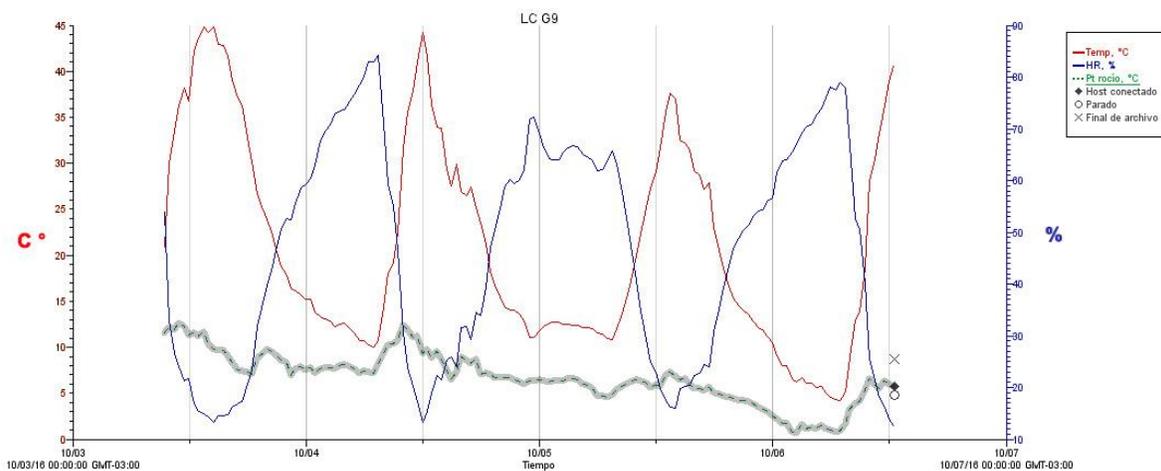


Figura 35. Gráfico de las fluctuaciones de T (rojo), HR (azul) y el Pt rocío (verde).

9.5.2. Análisis de los componentes del sedimento

El resultado del análisis edafológico del sedimento dio un valor de materia orgánica del 6,7%, lo que es muy inusual para los suelos riojanos que no alcanzan el 1 %. Sin embargo, es cierto que todo el valle estuvo intensamente poblado en el pasado, en consecuencia, las actividades humanas desarrolladas habrían alterado la composición química del suelo incrementando el porcentaje de materia orgánica, ceniza y el pH. La persistencia de estos valores sugiere, que los procesos erosivos no consiguen lavar por completo los suelos de nutrientes.

Asimismo, el notable porcentaje de materia orgánica funciona no sólo como nutriente básico para la microbiota, sino que puede estar incrementado por la presencia de microorganismos activos metabólicamente, relacionable a los resultados obtenidos por EDS en las cerámicas. Si bien la presencia de otros nutrientes como nitratos y fósforo es muy baja, lo que es coincidente con la escasa vegetación actual del valle que es más dependiente de valores mayores, sus ínfimas cantidades (Tabla 14) son más que suficientes para el desarrollo y crecimiento de la microbiota registrada.

Si consideramos la composición del suelo y el valor de materia orgánica, se hace evidente que los suelos del valle de Antinaco presentan las condiciones óptimas para no sólo la vida microbiana, sino para el desarrollo de costras biológicas. Hecho corroborado por su alta frecuencia y amplia extensión en los sectores del valle en torno a los sitios arqueológicos de Aldea 3, Aldea 1, LC – G16, LC – G6, LC – G9, entre otros.

VARIABLES	UNIDADES	833
pH		8,5
Azufre de sulfato	[ppm]	355
Calcio	[%]	2,14
Magnesio	[%]	1,28
Sodio	[%]	0,16
Potasio	[%]	0,41
Cenizas	[%]	93,1
Materia Orgánica	[%]	6,9
Fósforo	[ppm]	925
Nitratos	[ppm]	66

Tabla 14. Análisis sedimentológico de suelo LC – Aldea 3.

9.5.3. Biota líquénica

Un muestreo justificado al azar de sustratos con presencia de cianolíquenes fue realizado en diferentes sectores de LC, siempre en las inmediaciones de áreas con tiestos superficiales con líquenes. Se recogieron muestras de ramas secas, sedimento y rocas.

La mayoría de las especies identificadas corresponden a comunidades de costras biológicas (Figura 7) sobre sedimento solamente, excepto los tres casos sobre rocas silíceas que se condicionan con especies también registradas en cerámica: *Lichinella intermedia*, *L. mongólica* ined. y *Peltula obscurans* var. *Hassei* (Tabla 15). Esto no sólo nos sugiere que las especies colonizando la cerámica poseen una gran capacidad adaptativa vinculada a las propiedades físicas del sustrato, sino que lo corrobora. En la misma área de estudio han sido registradas en sustratos con alto contenido en sílice, cerámicas y rocas silíceas, no en sedimento. Las especies reconocidas en las costras biológicas, también de cianolíquenes, sólo se registran en sedimento en otras regiones del mundo a excepción de *Lichinella intermedia* y *L. stipatula*, que se adaptan a sustratos rocosos y sedimento. En consecuencia, un muestreo más amplio de muestras colonizadas por líquenes en tiestos cerámicos podría llegar a registrar a *L. stipatula* junto a otras especies provenientes de sustratos silíceos.

Al igual que los cianolíquenes registrados en las cerámicas, estos se corresponden con especies de ambientes áridos y tierras secas de amplia dispersión mundial.

ESPECIES DE CYANOLÍQUENES	CERÁMICA	SUSTRATO	DATOS COMPARATIVOS		
			Sustrato	Ambiente	Regiones
<i>Psorotichia spec.</i>	Aguada	Sedimento			
<i>Lichinella intermedia</i> Henssen, Büdel & T.H.Nash	Aguada y Ordinaria	Roca silícea	Rocas, sedimento	Árido cálido	Desierto de Sonora, Planicie del Colorado, Montañas Rocallosas
<i>Lichinella mongolica</i> ined. H. Magn	Aguada y Ordinaria	Rocas silíceas	Rocas silíceas	Árido frío	Desiertos fríos y estepas
<i>Lichinella stipatula</i> Nyl.		Sedimento	Rocas, sedimento	Árido cálido	Amplia dispersión en desiertos
<i>Enchylium</i> <i>coccophorum</i> (Tuck.) Otálora, P.M.Jørg. & Wedin		Sedimento	Sedimento	Árido cálido	Desiertos
<i>Peltula obscurans var.</i> <i>Hassei</i> (Zahlbr.) Wetmore	Aguada	Rocas silíceas	Rocas	Árido cálido	Desiertos
<i>Peltula patellata</i> (Bagl.) Swinscow & Kroog		Sedimento	Sedimento	Árido	Tierras secas y desiertos
<i>Placidium lacinulatum</i> (Ach.) Breuss		Sedimento	Sedimento	Árido	Tierras secas amplia dispersión
<i>Placidium tenellum</i> (Breuss) Breuss		Sedimento	Sedimento	Árido	Tierras secas amplia dispersión
<i>Peccania subnigra</i> (de Lesd.) Wetmore		Sedimento	Sedimento	Árido cálido	Amplia dispersión en tierras secas del SO de Norte América
<i>Heppia adglutinata</i> A. Massal.		Sedimento	Sedimento	Árido	Tierras secas de norte y centro de Europa

Tabla 15. Biota líquénica en el área de estudio. Información comparativa en qué áreas y sustratos, incluyendo a las cerámicas, ya han sido registradas.

9.5.4. Cultivos microbiológicos de sedimento

Sobre la misma muestra de sedimento en la que se realizaron los análisis químicos se hicieron análisis microbiológicos incluyendo la siembra del sedimento para evaluar la presencia de microorganismos que pudieran haber colonizado las cerámicas. Se logró identificar la misma sepa de *Pseudomonas aeruginosa* hallada en los tiestos Ordinarios.

Los recuentos fueron ligeramente más bajos que en las cerámicas. Los recuentos totales de hongos oscilaron entre 12-19 UFC/ml. Las bacterias heterótrofas mesófilas totales variaron entre 62,60 x 10² UFC/ml en PCA, medio más nutritivo, y 48,80 x 10² UFC/ml en CPS, medio mineral y similar al contenido elemental del sustrato. Los cultivos de BAT, DRCM y Postgate “B” dieron negativo, al igual que en las cerámicas.

Los valores de recuentos son relativamente más bajos que los obtenidos en las cerámicas, pero si se contempla la concentración de materia orgánica en el suelo, podemos sugerir que el medio es favorable para el desarrollo y crecimiento de microorganismos, lo que podría estar relacionado con organismos viables pero no cultivables.

9.6. Ensayos de diversos métodos de limpieza y control del biodeterioro

9.6.1. Limpieza mecánica de superficies

El ensayo de remoción de los líquenes fue imposible. Tratar de desprender el talo del liquen sólo logró arrastrar parte del sustrato cerámico pulverizado que le subyacía, y esto sólo fue posible en el sector de los cantos dónde se puede raspar con mayor intensidad. Un cepillo de cerdas no ofrece resultado alguno.

No sólo estas especies se encuentran firmemente adheridas al sustrato imposibilitando su remoción, sino que muchos estudios sobre limpieza del patrimonio cultural pétreo (De los Ríos *et al.* 2008), dan cuenta que mientras la estructura sub-superficial permanezca eventualmente el liquen volverá a desarrollarse. Estos trabajos explican que luego de una primera limpieza del material, la subsiguiente recolonización por los agentes biológicos es más intensa y presenta hasta mayor heterogeneidad de especies.

9.6.2. Ensayos a bajas temperaturas

Este ensayo presentó resultados más satisfactorios en lo que respecta a la eliminación de los cianolíquenes. Después de una exposición prolongada -20 °C, las cianobacterias de los talos (las únicas que pudieron ser observadas en el MO) dejaron de ser viables en contraposición a las presentes en los talos de la muestra control proveniente del mismo tiesto. La diferencia se constató en la fluorescencia verdosa (manifestación de clorofila) propia de las cianobacterias al ser expuestas a luz UV, ausente en las muestra congelada y presente en la control. Lo que es esperable, ya que la clorofila se genera en la fotosíntesis de organismos fototróficos al estar estos expuestos a la luz solar. Debido a que la observación por luz UV quemaba las cédulas en cuestión de segundos, no se logró capturar una imagen para ejemplificar lo observado.

Es de destacar que todavía la remoción del liquen del sustrato se muestra dificultosa.

9.6.3. Evaluación de viabilidad de agentes biológicos simulando procesos postdepositacionales

Se observaron cuatro tiestos enterrados durante dos años y ocho meses. Dos correspondientes a tiestos Aguada, uno ante liso y otro gris liso, y dos a fragmentos Ordinarios, uno de cocción oxidante y otra reductora. Se empleó como muestra control el fragmento de Aguada ante liso (3LC) usado en los análisis microbiológicos.

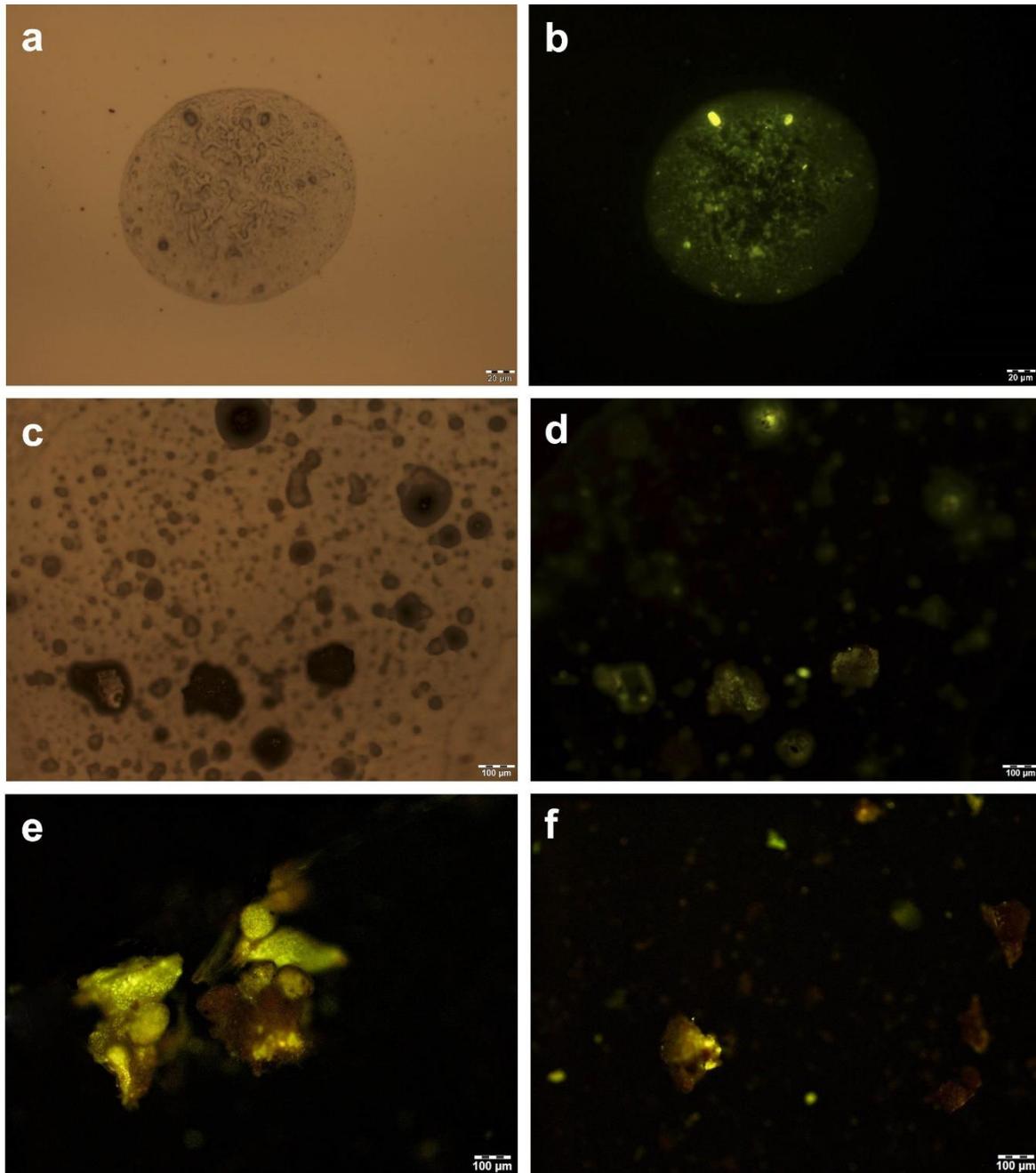


Figura 36. MO. (a) Tiesto Ag., detalle de talo. (b) Talo “a” bajo luz UV, nótese la fluorescencia verdosa. (c) Tiesto Ord., vista general de los talos. (d) Aplicación de luz UV a “c”, obsérvese la intensa fluorescencia verdosa de talos y pequeños óvalos correspondientes probablemente a cianobacterias. (e) Muestra control Ag., detalle de talos bajo luz UV, la fluorescencia es menor y de tono amarillento. (f) Muestra control Ag., vista general, baja fluorescencia y con brillo amarillo.

Se observaron abundancia de fragmentos de talos liquénicos y cianobacterias (Figura 36), en contraposición a las hifas fúngicas que fueron escasas. Una posible explicación es que la falta de oxígeno haya dificultado el desarrollo de los hongos. Por otro lado, al aplicar luz UV los talos y

cianobacterias manifestaron fluorescencia verdosa que da cuenta de la activación de la fotosíntesis en las cianobacterias de los talos liquénicos a pesar de que se hallaron enterrados durante treinta y dos meses. Las cianobacterias, a diferencia de plantas superiores, poseen un mecanismo mucho más flexible y expeditivo en lo que refiere al proceso de fotosíntesis (lo que incluye la capacidad de absorber más luz de la necesaria para realizarla). Eso se debe a que la proteína ficobilina más que la membrana integral de las proteínas de clorofila a/b, es la encargada de captar la luz, a diferencia de las plantas superiores. También, en contraposición a ellas, la fluorescencia es mayor en la oscuridad que en plena luz y se incrementa rápidamente en el primer segundo de iluminación (Delgadillo Rodríguez *et al.* 2017), lo que coincide con lo observado por MO (Figura 36b y 36d). Ya que la muestra control presentó menos fluorescencia que las de los fragmentos enterrados (Figura 36e y 36f). Es notorio que la ficobilina no es afectada por el potencial redox de la fotosíntesis (Campbell *et al.* 1998), es decir, por la disponibilidad de oxígeno. Además, es notorio que en observaciones por MO con UV anteriores no se observó cianobacterias desprendidas de los talos liquénicos, lo que puede sugerir que estas se desprendieron del talo en decadencia encontraba en decadencia y las cianobacterias se desplazaron al sustrato para beneficiarse de la condensación de humedad nocturna que es mayor porque los minerales se enfrían más y, en consecuencia, más agua se puede condensar en su superficie. Otra posible explicación es que alguna de las especies de cianolíquenes presentes posean una morfología invertida, es decir, que las cianobacterias se dirijan más hacia las hifas en contacto con el sustrato que al talo expuesto al sol. La morfología inversa ha sido registrada por Büdel y Schultz (2003) para *Peltula inversa*, una especie de cianolíquen que crece en el desierto de Namibia.

Todo sugiere que los cianolíquenes son capaces de resistir años enterrados antes de dejar de ser viables y, aún en decadencia, las cianobacterias que los componen poseen la capacidad de resistir. En consecuencia, los agentes biológicos colonizando las cerámicas no sólo están adaptados a un clima hostil y árido, sino que son capaces de resistir periodos prolongados mediante la reducción de sus funciones vitales para lidiar con escasez de oxígeno, dióxido de carbono y luz. Además, disponen una rápida habilidad readaptativa que les permite reactivar la respiración celular y el proceso fotosintético en pocos minutos. Los procesos postdeposicionales pueden sepultar y desenterrar material arqueológico siendo biodeteriorado por cianolíquenes sin que ello implique ningún cambio significativo en la ecología de los agentes biológicos impactando el material.

10. Integración de resultados

10.1. Mecanismos de biodeterioro

Siguiendo a St. Clair y Seaward (2004) podemos enfatizar dos de los cuatro tipos de biodeterioro mecánico producido por los líquenes y sugerir un tercero, para el caso de estudio. En primer lugar, se espera que bajo ciertas circunstancias la hifa del liquen penetre la matriz cerámica causando un severo daño mecánico como fue observado por MEB (Figuras 28a y 31d). Ello se debe a que las cerámicas arqueológicas poseen una resistencia estructural menor a la de las rocas

naturales (Orton y Hughes 2013; Rice 2015), ergo, el daño mecánico sufrido es más intenso y acaece en un lapso menor de tiempo. Seaward (1988) estimó que apenas 15 años eran necesarios para que las costras de líquenes descamasen las capas superiores de vasijas de terracota del periodo romano.

En segundo lugar, se corroboró como al desarrollarse los cianolíquenes no sólo desintegran el sustrato (Figura 28c) sino que también lo absorben dentro de su estructura, una de las características de los llamados líquenes crustosos (Ascaso *et al.* 2002; De los Ríos *et al.* 2009; Chen *et al.* 2000; Nash 2008). La colonización de líquenes crustosos tiene como consecuencia la incorporación de cristales de minerales de diversos tamaños al talo a través de la penetración de las hifas fúngicas (Figura 21 y 27b).

En tercer lugar, es muy probable que el efecto de contracción y expansión producido por la absorción de la humedad nocturna por la cerámica y su subsecuente evaporación diurna (Little 2000; Rice 2015), pueda hallarse intensificado por la expansión y contracción de las hifas de los líquenes y por la hinchazón de los carbohidratos que componen al mucílago, característica conocida de los cianolíquenes (Nash 2008). En otras palabras, la amplitud térmica del área de estudio no sólo estaría produciendo estrés en la estructura de la cerámica y la consecuente fractura térmica, sino que su efecto se vería intensificado por la presencia de cianolíquenes colonizando sus superficies externas.

En el interior de la pasta también se observó daño mecánico y químico. El impacto de biopelículas en objetos patrimoniales que alteran la apariencia estética y conducen a estrés mecánico y la destrucción interna de la estructura debido a la producción y secreción de melanina por hongos dematiaceos del género *Aspergillus* y *Penicillium*, ha sido registrado por numerosos estudios (Gu *et al.* 1998; Gutarowska y Czyżowska 2009; Warscheid y Braams 2000). El daño mecánico producido por hifas fúngicas fue observado por MEB (Figura 30a y 30b). Es más, fragmentos desprendidos de ladrillos fueron observados por microscopía electrónica de barrido de campo como resultado de la actividad metabólica microbiana (Gutarowska *et al.* 2015), como también fue notado material suelto en las observaciones por MEB (Figura 28a, 30c, 30d y 30f). En dicho sentido, ácidos orgánicos pueden ocasionar la disolución del sustrato, como fue observado por MEB (Figura 29f), y ocasionar la formación de sales solubles e insolubles en sustratos minerales (Ascaso *et al.* 2002; Gómez Alarcón *et al.* 1994; Warscheid y Braams 2000). Asimismo, estos ácidos pueden ser la explicación de la presencia de elementos inusuales en la cerámica como lo son el calcio, el potasio y el azufre (Pietrzak *et al.* 2016) que han sido registrados por el EDS (Figura 32 y 33b). Además, la bioadhesión y los ensayos de formación de *biofilm* con *Pseudomona aeruginosa* demostraron la habilidad de esta sepa para desarrollarse en los *biopits* dejados por los cianolíquenes e irregularidades de la superficie para desarrollarse (Figura 33a).

En síntesis, los procesos de meteorización en las condiciones áridas del valle central de Antinaco están obviamente forzados por los agentes biológicos, tales como cianolíquenes en superficies y, hongos y bacterias al interior del sustrato. Mientras que los primeros producen el debilitamiento y desintegración de la estructura (Soto 2015; Soto *et al.* 2017), los segundos producen desagregación del sustrato (Ascaso *et al.* 2002; De los Ríos *et al.* 2009; Seaward 2004; St. Clair y Seaward 2004), destruyendo el material.

10.2 Bioreceptividad de las cerámicas arqueológicas

La aptitud de cualquier sustrato a ser colonizado por organismos es lo que Guillite (1995) definió como bioreceptividad e implica una relación directa entre las propiedades físicas del sustrato y los agentes biológicos colonizándolos.

En el caso de la cerámicas, los resultados de la presente investigación en los estilos Ordinarios y Aguada de LC y el PC, dan cuenta que el 50% del material superficial se encuentra impactado por estos agentes independientemente de estilo cerámico. Ello sugiere que en general la cerámica arqueológica expuesta a las condiciones ambientales constituye un sustrato ideal para el biodeterioro por líquenes, hongos y bacterias por tres diferentes razones. La primera razón que ha sido reconocida por conservadores desde hace al menos dos décadas, y la más sobresaliente respecto a su contraparte moderna e industrial, es que las cerámicas arqueológicas presentan una matriz porosa (Becerra Angulo 2009; Buys y Oakley 1993; Orton y Hughes 2013; Rice 2015). Por un lado, fueron manufacturadas de acuerdo a una específica funcionalidad deseada, creando un amplio repertorio de variabilidad en la selección de arcillas e inclusiones, técnicas de amasado y modelado, morfología de las piezas, métodos de acabado y tipo de decoración, por tanto, en las propiedades físicas y químicas de las piezas acabadas (Orton y Hughes 2013; Rice 2015). En el caso de estudio y, muy probablemente de todo el noroeste argentino, los procesos de cocción en hornos pozo no alcanzaron temperaturas mayores a 1200 °C². Los picos de temperatura máxima en estos casos no suelen ser prolongados y no permiten que la pasta se vitrifique por completo (el cuarzo, el feldespato y la arcilla entre otros minerales, no se funden y consolidan entre sí), consecuentemente, los poros internos no se rellenan y quedan conectados entre sí y con la superficie exterior (Harry y Johnson 2004; Rice 2015). La segunda razón, se debe a que las cerámicas en tanto material poroso son retenedoras de la humedad. La materia prima base es la arcilla, un mineral plástico que se expande y contrae de acuerdo a la cantidad de humedad que absorba del medio ambiente (Orton y Hughes. 2013; Rice 2015). Si bien luego del proceso de cocción las arcillas sufren un cambio fisicoquímico y pierden esa plasticidad inicial, las cerámicas arqueológicas al todavía poseer poros en su interior siguen siendo retenedoras de la humedad ambiental. La tercera razón, vinculada también con las características intrínsecas de la arcilla que la compone, es que poseen baja conductividad térmica. El uso de adobe o tapia para la construcción de viviendas responde en parte a esta propiedad térmica de las arcillas (retener el calor y/o frío ambiental). Las cerámicas no son la excepción, al ser calentadas retienen el calor por un periodo corto de tiempo y por eso fueron y siguen siendo usadas para fabricar recipientes para el procesamiento de alimentos y su consumo, como también han sido empleadas en la industria, entre otros tantos ejemplos. Si bien su conductividad es baja en contraposición a la de los metales, es suficiente para crear un microclima cálido y húmedo al interior de las concavidades de la pasta óptimo para el desarrollo de microbiota.

La conjunción de estas tres propiedades manifiesta que las cerámicas arqueológicas, sean de baja cocción y alta porosidad, rústicas como el estilo Ordinario, o de alta cocción y baja porosidad, compactas como las Aguada, presentan un sustrato estable para el desarrollo de macro organismos como los cianolíquenes (Soto 2015) y microorganismos como las bacterias y los hongos (Guiamet *et al.* 2018; Soto *et al.* 2017). Además, el caso de estudio pone en evidencia que en ambientes

² Actualmente se está investigando la tecnología de cocción y manufactura de hornos cerámicos de LC. Ensayos sobre réplicas de los hornos intervenidos no lograron temperaturas mayores a 1050 C° con una exposición de al menos 30 minutos (Wachsman 2019).

hostiles con marcada tendencia a la aridez, la biocenosis de la cerámica es influenciada por factores climáticos locales como la marcada amplitud térmica diaria y estacional, la baja humedad y la constante exposición a la luz solar (Pena Poza *et al.* 2018). Estos factores causan adicional daño a la estructura mineral de la matriz cerámica y conllevaban a su subsecuente exposición al biodeterioro (Koziróg *et al.* 2014; Otlewska *et al.* 2015; Rajkowska *et al.* 2014). Se presenta, entonces, una sinergia entre las condiciones ambientales, las propiedades físico-químicas del material, la meteorización y erosión con los agentes biológicos que como resultado va incrementando la porosidad de las pastas y potenciando el biodeterioro del material (Figura 37).

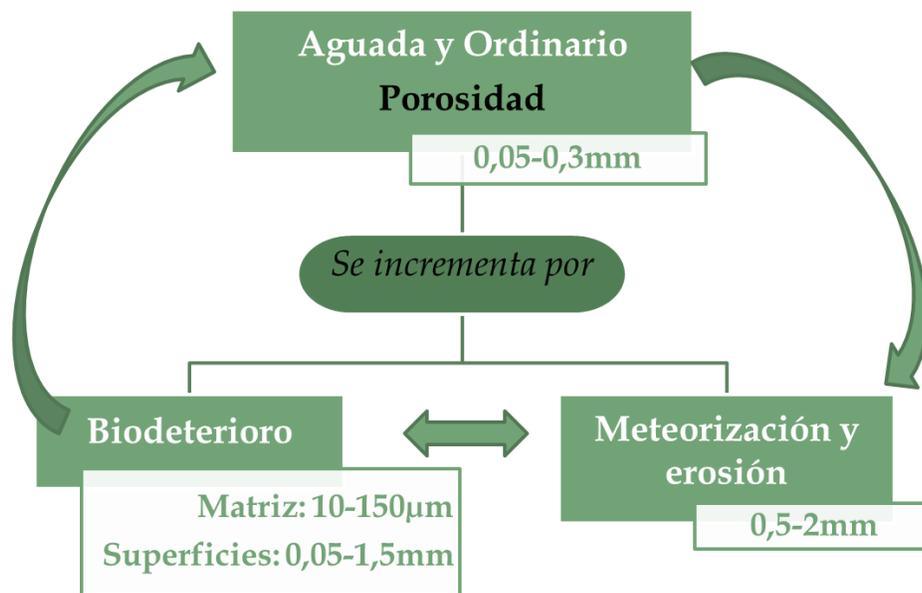


Figura 37. Diagrama de sinergia de agentes involucrados en el biodeterioro de la cerámica arqueológica.

10.3. Origen del biodeterioro

La presencia de una microbiota líquénica en el área de estudio ha sido corroborada tanto en sustratos naturales como rocas, vegetación muerta, sedimento como en muros y cimientos de rocas graníticas de estructuras arqueológicas. En el caso de la arquitectura en piedra de LC y del PC, a simple vista, los líquenes presentes no se limitan a la variedad de cianolíquenes pardo-negrucos sino que incluyen especies foliáceas de tonos verdosos-celeste-grisáceos y otras crustáceas anaranjadas-verdosas³. Lo que nos habla de una heterogeneidad mayor de especies y una complejidad mayor del proceso de biodeterioro.

Es de destacar la presencia abundante de comunidades microbianas complejas, costras biológicas, creciendo sobre el sedimento a escasos centímetros del material arqueológico sobre superficie (Figura 7). El mismo sedimento se caracteriza por el predominio de arcilla (vg. cationes

³ Como no fue el objetivo de esta investigación registrar en detalle la biota líquénica en arquitectura, las escasas fotografías tomadas no poseen buena resolución para ejemplificar adecuadamente la variedad de las especies observada.

de hierro) y por rocas graníticas (vg. cationes de sílice) meteorizadas provenientes de los cordones montañosos que hacen a la geología local. Dichos elementos son la base de la composición mineralógica de las cerámicas (Figura 32 y Figura 33b), tal cual ha sido discutida por Rice (2015) y Orton y Hughes (2013), entre otros. Además, el análisis edafológico del suelo no sólo dio un elevado valor de materia orgánica que da cuenta de su gran cantidad de nutrientes para microorganismos, sino que los análisis microbiológicos demostraron la existencia de hongos y bacterias, aislándose la misma sepa de *Pseudomona aeruginosa* identificada en las cerámicas Ordinarias.

Especies de líquenes frecuentes de costras biológicas podrían establecerse en los márgenes de los fragmentos si estos se hallan en contacto directo con el sedimento permitiendo el almacenamiento de humedad. No obstante, en las superficies llanas de los fragmentos podrían darse el desarrollo de diferentes especies adaptadas a rocas creciendo directamente sobre la cerámica y especies que al menos requieren una mínima meteorización de la superficie para que las oquedades e irregularidades actúen como trampas de polvo. Por ejemplo, *Peltula obscurans* (Figure 19a y 19c) y *Peccania sinaiensis* pueden crecer en ambos tipos de sustratos en ambientes áridos, costras biológicas en sedimento compactado y sobre delgadas acumulaciones de polvo sobre rocas u otros sustratos más duros. Además, los resultados de las identificaciones de especies corroboran que *Psorotichia sp.*, *Lichinella intermedia*, *L. mongólica* ined. y *Peltural obscurans* var. *Hassei* han sido registradas tanto en la cerámica como en las rocas y sedimento del área de estudio. Hecho que sugiere que en primera instancia la colonización de las cerámicas por los líquenes se debe a la presencia de las mismas especies en el ambiente.

De los sitios del área de estudio, el sitio LC es el que se ha visto más severamente impactado por la actividad humana a pesar de poseer sectores con buen estado de conservación. La incidencia de estos agentes culturales generaron grandes movimientos de suelos que perturbaron la matriz arqueológica y material otrora enterrado pasó a estar expuesto en superficie. En esta línea de procesos postdepositacionales pero a menor escala, se encuentran las erosiones por escorrentías estacionales, la acción de la meteorización y la colonización de agentes biológicos (Soto y Guiamet 2017), se trata de un ciclo natural en que estos factores se retroalimentan, potencian o restringen de acuerdo a las características ambientales y a la incidencia de los agentes culturales. En consecuencia, al constituir el valle de Antinaco central parte de una localidad arqueológica que fue densamente poblada en el periodo de Integración Regional por poblaciones agroalfareras, la materialidad más abundante en estos sitios es la cerámica. La cual es colonizado por una microbiota menor al presentarse como un sustrato óptimo para su desarrollo en condiciones ambientales hostiles.

10.4. Los procesos postdepositacionales: ¿biodeterioro o bioturbación?

Reflexionando a partir de los resultados de la presente tesis, no quepa duda de que los agentes biológicos son parte de los procesos de formación de sitios arqueológicos. No obstante, existe una disgregación referente a la categoría analítica empleada desde la arqueología para referir a este proceso.

Schiffer (1983, 1987), precursor de la definición de los procesos postdepositacionales que conforman el registro arqueológico, habla de bioturbación por raíces y la acción de animales cavadores como los roedores, los reptiles y los insectos, entre otros. La bioturbación, según él,

incide de manera mecánica en el material en el caso de las raíces (Figura 13) o alterando la matriz sedimentaria arqueológica en el caso de animales cavadores. No alude de forma alguna a cambios químicos o a la presencia de una biota menor. Es esta línea de investigación la que se ha venido siguiendo en la arqueología desde hace décadas sin llegar a adecuarse a las nuevas tecnologías o perspectivas que la convierten en una mirada sesgada en lo referente al impacto de agentes biológicos.

Al retomar la noción de biodeterioro, nos encontramos con una noción amplia sobre la degradación de un material por la actividad vital de diferentes organismos (Allsopp *et al.* 2004). El biodeterioro es, en realidad, un proceso de descomposición de materiales orgánicos o desagregación de inorgánicos inherente a la naturaleza y, en consecuencia, forma parte de los procesos postdeposicionales que hacen a la formación de sitios arqueológicos y que contribuyen a la dinámica de geoformas y suelos de la misma manera que lo es la bioturbación. Autores como Ward y Larcombe (2003) o Panizza *et al.* (2015), algunos de los pocos que mencionan esta cuestión, al hablar de la dinámica de factores y procesos que operan en la formación de los sitios arqueológicos mencionan al biodeterioro como parte de los procesos postdeposicionales incidentes junto a las variables ambientales, la meteorización y la erosión. Las ciencias de la conservación y el creciente interés por la protección del patrimonio cultural de diversas disciplinas, adoptan esta perspectiva y se han enfocado en todas las variables y agentes que impactan negativamente los objetos culturales tanto en los sitios arqueológicos como en los museos y depósitos. Dichos estudios se han centrado en la acción del biodeterioro por una biota menor fundamentalmente en obras de arte (Valgañón 2008), arte rupestre y arquitectura en piedra (St. Clair y Seaward 2004).

Si ejemplificamos esta problemática con el caso de estudio, nos encontramos con que el impacto de cianolíquenes, hongos y bacteria en la cerámica arqueológica es un proceso endémico a ambientes con tendencia a la aridez y, probablemente, a otro tipo de materiales arqueológicos (o no) que en ellos se encuentren. Es muy probable que la aridización de los valles del NOA los convierta en ecosistemas aptos para el desarrollo de comunidades microbianas y costras biológicas. Si consideramos que las costras biológicas se encuentran ampliamente distribuidas por todo el valle de Antinaco central y, que aún en los sectores donde no se hallan presentes se han reconocido microorganismos, es posible que se produzca una alteración de la composición química de los suelos. Lo que concuerda con el test de producción de metabolitos ácidos por lo cianolíquenes. Variables como el pH y el fósforo han servido como indicadores de diversas actividades humanas (Pingarrón *et al.* 2014) y han permitido lograr grandes avances en la interpretación de áreas de actividad rituales, domésticas, funerarias y productivas por lo que su alteración por el biodeterioro presenta serias implicancias para materiales porosos como la cerámica y la matriz sedimentaria que contiene la evidencia arqueológica.

Además, estudios específicos sobre la funcionalidad y ecología de las costras biológicas nos hablan de sus diversos roles ambientales como estabilizadores de suelo en áreas desérticas o fuertemente erosionadas (Mager y Thomas 2011; Pietrasiak *et al.* 2013), fijadoras de carbono y nitrógeno (Burgheimer *et al.* 2006; Chartier *et al.* 2013; Housman *et al.* 2006) y, su contribución al desarrollo de plantas vasculares y vegetación superior que requieren de mayores nutrientes (Maestre *et al.* 2011; Root y McCune 2012). Último rol que la llevo a ser utilizada como una estrategia para detener la erosión de los suelos y avanzar en la reforestación (Belnap *et al.* 2007).

Los nombrados roles de las costras biológicas hacen que sea incuestionable su incidencia y participación en los procesos formadores de sitios arqueológicos.

El biodeterioro y la bioturbación no son procesos diferentes, sino dos categorías que refieren a lo mismo pero que debido al uso que fueron recibiendo en diferentes disciplinas y a lo largo del tiempo, están teñidas de connotaciones distintas. Por un lado, la bioturbación se presenta, desde las ciencias arqueológicas, como una categoría restringida vinculada al movimiento de suelos por cierto tipo de agentes biológicos. Mientras que por otro, el biodeterioro se manifiesta como una noción más inclusiva desde una perspectiva interdisciplinar de tinte más positivo (más ciencias exactas y naturales que sociales), que refiere al deterioro de todo tipo de materiales por cualquier tipo de biota.

En este punto se presentan tres caminos a seguir en lo referente a los procesos postdeposicionales ocasionados por agentes biológicos. La primera, es la redefinición del concepto de bioturbación para que incluya a la biota en su totalidad y no refiera únicamente al impacto de la presencia o ausencia de vegetación (Somonte *et al.* 2004), lo que es una mirada sesgada y desactualizada. Un enfoque de dicho tipo inevitablemente es de carácter interdisciplinar y va hilando fino en cuestiones que usualmente son abordadas desde una escala más gruesa. La segunda opción, siguiendo a Lacayo (2002), es hablar de causas físicas, causas químicas y causas biológicas. Si bien las causas físicas y químicas involucran daños mecánicos y químicos producidos por diferentes efectos de la reincidencia de factores ambientales, con una breve alusión a la acción humana indirecta, las causas biológicas encierran tanto alteraciones mecánicas como químicas por todo tipo de organismos. El autor desarrolla al hacer una revista de los factores de alteración *in situ* de sitios arqueológicos una alternativa pragmática y sencilla de entender y aplicar. Sin embargo, las categorías de bioturbación y biodeterioro se encuentran firmemente arraigadas en el conocimiento interdisciplinar y su abandono puede resultar en un arduo proceso de prolongada duración. En tercer y último lugar se presenta la solución más simple y menos trabajosa, a mi entender, que es la utilización de la noción de biodeterioro como reemplazo de la categoría tradicional de bioturbación y es la que adopto en la presente tesis. El uso de esta categoría desde las ciencias arqueológicas no demanda reformulaciones de su contenido ni una discusión teórica, sino la reflexión sobre su uso: los procesos de biodeterioro ambiental y/o atmosférico estudiados desde las ciencias biológicas vinculados al patrimonio cultural son lo que denominamos procesos postdeposicionales en la arqueología. La única salvedad necesaria para emplear esta noción es no recaer en concepciones restringidas como con la categoría de bioturbación y no olvidaros que este proceso de deterioro biológico tiene distintos impactos en la preservación de nuestro objeto de estudio.

10.5. Los lineamientos de la conservación preventiva y la preservación de la cerámica biodeteriorada

Es evidente que la composición inorgánica de la cerámica arqueológica no la hace excluyente de ser colonizada y deteriorada por agentes biológicos. Todos los materiales arqueológicos, sean orgánicos o inorgánicos, se encuentran en riesgo de ser afectados por agentes biológicos y deben recibir la misma atención y preocupación de parte de investigadores para su preservación desde el momento en que son extraídos del sitio arqueológico hasta su depósito en colecciones de referencia para futuras investigaciones.

El problema que se nos presenta entonces, es que existe escasa información sobre las especies de macro y microorganismos identificadas para la cerámica y, por consiguiente, no se pueden establecer patrones y cruzar información de distintas bases de datos inexistentes. Exactamente eso ocurre con el caso de estudio aquí expuesto. Varias de las especies de cianolíquenes identificadas constituyen primeras citas para América del Sur y el país, incluso nuevas especies o primeras citas sobre sustrato cerámico arqueológico que da cuenta de la gran capacidad adaptativa de los organismos (Soto 2015; Soto *et al.* 2017). El desarrollo de mayores investigaciones e experimentación son imprescindibles para entender con profundidad este proceso y cómo se comportan estos organismos en su ambiente natural, el contexto arqueológico de hallazgo y cómo en un ambiente artificial, las áreas de guarda de institutos de investigación, reservas técnicas y/o museos. Lo único certero sobre el caso de estudio, es que los agentes biológicos registrados en las cerámicas son resistentes al control de los factores indirectos de deterioro porque se trata de especies resistentes a fluctuaciones ambientales por sus propias características ecológicas y etológicas adaptadas a ambientes hostiles. Una clara prueba de ello es que las muestras empleadas en este estudio, recolectadas entre el 2010-2013, guardadas en bolsas de polietileno estériles dentro de una caja de cartón cerrada en el área de guarda de colecciones en tránsito del IA, permitieron una taxonomía exitosa de agentes biológicos. En otras palabras, los organismos aún seguían viables a pesar de haber sido sometidos a un ambiente con escasez de oxígeno, sin luz solar y nula agua líquida (si bien la HR de Buenos Aires es mucho mayor que la de La Rioja).

Al abordar este tipo de investigación se presentan una serie de complicaciones que pueden ser comunes a otras materialidades arqueológicas también. La primera, que se desprende de lo expresado y discutido en los acápitales anteriores, es la difícil identificación de los agentes biológicos. Si no se hallan macroorganismos visibles (cianolíquenes o hongos) que alerten sobre el biodeterioro actuante, lo que ocurre al interior de la matriz cerámica puede pasar desapercibido. Se requiere de la realización de análisis microbiológicos diversos o de la aplicación de técnicas avanzadas de microbiología para corroborar la efectiva presencia de microorganismos y eso implica interacción con especialistas de la biología y microbiología. Como fue señalado en la literatura discutida, eso todavía no ocurre con la frecuencia necesaria en todos los equipos de investigación. En el caso de la Argentina, los estudios sobre preservación de la cerámica arqueológica y los métodos aplicados se limitan a tratar las alteraciones visibles, principalmente los daños mecánicos provocados por las sales (Becerra Angulo 2009; Cronyn 1990; De la Fuente 2008; Inmaculada y Muñoz Matute 2012; entre otros).

El segundo problema, es la falta de información sobre los agentes biológicos identificados. Las actividades del técnico en preservación, del arqueólogo, como de cualquier personal encargado de manejar las colecciones, se encuentran entorpecidas al carecer de protocolos adecuados de remoción o de métodos efectivos de control de los organismos, ya que la mera regulación de los factores indirectos de deterioro no es suficiente. Después de todo, existen casos registrados de hongos que permanecen latentes durante años hasta volver a reactivarse (Madigan *et al.* 2009), hecho corroborado por Colonna Preti y Eeckourt (2014) y por la presente tesis. Ya que la microbiota coloniza la cerámica en el sitio arqueológico y permanece latente al interior de su matriz hasta que las condiciones adecuadas se presentan para su desarrollo. Durante los ensayos diversos de laboratorio realizados sobre el material de estudio se evidenció la reactivación de hongos filamentosos sobre la cerámica, principalmente en los sectores sobre los cianolíquenes (Figura 38), lo que es esperable dada la identificación de parásitos fúngicos sobre los talos.

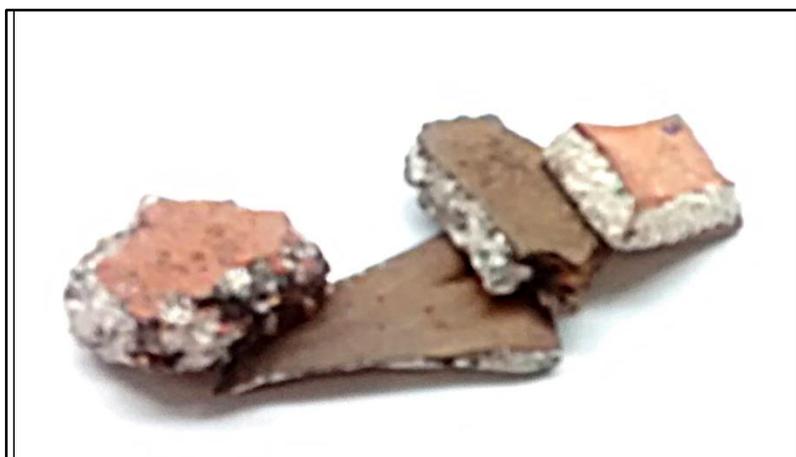


Figura 38. Hongos filamentosos (tono blancuzco) creciendo sobre los cianolíquenes (tono negruzco) colonizando los tiestos cerámicos.

En tercer lugar, el desconocimiento sobre la posible nocividad de los organismos puede ser remediada, en parte, por la aplicación de los lineamientos generales del cuidado del personal de la conservación preventiva, específicamente el uso de guantes de látex o nitrilo (para los alérgicos) y de delantales o batas de laboratorio (Guild y Mac Donald 2004; Strang y Kigawa 2009). Aunque no se trate del caso de estudio, es destacable que algunos *biofilms* poseen la capacidad de absorber contaminantes ambientales o residuos industriales y emplearlos como nutrientes (Warscheid y Braams 2000). La manipulación de materiales contaminados no sólo por agentes biológicos sino por compuestos de hidrocarburos, hidrógeno u otros, puede influir negativamente en la salud de las personas.

En último lugar, pero no por ello menos importante, se hallan los daños constatables provocados por el biodeterioro y los riesgos implícitos para la conservación física del material como para el desarrollo de futuras investigaciones arqueológicas. La formación de *biofilm* al interior del sustrato cerámico altera su composición interna y puede dificultar, o directamente impedir, los análisis arqueométricos que tan enriquecedores resultados nos brindan. Tal cual lo evidencia el caso de estudio, dónde las observaciones por MEB corroboran que las láminas de la arcilla o las inclusiones de la matriz cerámica son apenas visibles por la presencia de SPE. El deterioro mecánico por hifas de hongos (Soto *et al.* 2017) o cianolíquenes constatado por Soto (2015) podría alterar la orientación de las inclusiones y presentar un impedimento a la hora de analizar técnicas de manufactura por análisis petrográficos o rayos X. El deterioro químico generado por la actividad metabólica de los microorganismos y por la presencia de SPE, podría imposibilitar la realización de análisis de residuos grasos. El conocimiento de los usos de las vasijas y de las técnicas culinarias por medio de análisis de lípidos es una de las líneas de investigación que se ha desarrollado con resultados muy fructuosos en los últimos tiempos (Barnard y Eerkens 2007; Rice 2015; entre otros). De hecho, se han registrado casos de hongos que son propensos a crecer en medios grasos (Madigan *et al.* 2009) que podrían llegar a impactar especialmente las cerámicas con residuos lípidos a su interior, siendo los poros de la pasta contenedores de lípidos al mismo tiempo una fuente de nutrientes y un microecosistema ideal para su desarrollo. Situación que afectaría al

material de estratigrafía y presentaría un contexto diferente al caso de estudio presentado, que da cuenta del biodeterioro del material de superficie. Por último, no por ello menos importante, es la alteración de la composición elemental y estructural del material por la actividad biológica y la misma presencia de agentes biológicos que pueden no ser visibles, o ignorados, e impactar negativamente en las dataciones realizadas sobre el material. La datación de C^{14} y AMS se basa en el contenido de C de las muestras que, como ya hemos visto, se incrementa por la presencia de microbiota y líquenes, lo que arruinaría dataciones realizadas sobre materiales orgánicos colonizados. Además, la datación por termoluminiscencia sobre materiales inorgánicos también podría verse sesgada en dicho sentido, ya que se basa en las alteraciones que provocan las radiaciones ionizantes en las estructuras cristalinas de los minerales y los agentes biológicos alteran esas estructuras, precisamente, los cianolíquenes las destruyen y absorben dentro de sus talos (Figura 21 y 26b). En otras palabras, los agentes biológicos son contaminantes cuya incidencia significativa debe ser evaluada antes de ejecutar los diferentes tipos de análisis enunciados.

Las irregularidades de las superficies cerámicas, sean de piezas íntegras o de tan sólo fragmentos, fácilmente pueden ser colonizadas por esporas de líquenes u hongos que irán generando estrés mecánico en la estructura al desarrollarse, expandiendo fisuras y poros de la pasta hasta ocasionar un eventual quiebre o descamado de la superficie, tal como fue señalado por Seaward (1988, 2004) en las vasijas romanas de terracota y como muchos trabajos sobre sustratos rocosos indican (Ascaso *et al.* 2002; Ascaso y Wiertchóz 1995; Gaylarde *et al.* 2001; entre otros).

También, es interesante tener en cuenta que los líquenes son muy susceptibles a los cambios ambientales climáticos y atmosféricos, particularmente por la contaminación (Geiser y Neitlich 2007; Geiser *et al.* 2010; Lakatos *et al.* 2007; Seaward *et al.* 1989; entre otros). Del Monte (1991) corroboró que el desarrollo de los líquenes en el monumento *Trajan's Column* se detuvo por el incremento de la contaminación atmosférica, por lo que la identificación de determinadas especies puede funcionar como indicador de la calidad del aire en los reservorios técnicos de institutos de investigación o en los depósitos de museos.

10.6 La aplicabilidad de métodos de control y limpieza a la cerámica biodeteriorada

Los ensayos realizados corroboraron que los métodos usuales de remoción mecánica de los cianolíquenes mediante raspado por bisturí u otro elemento rígido, no son efectivos ni recomendados debido a la dificultad de desprender las hifas sólidamente adheridas sin desgranar la cerámica y, no siempre posible cuando éstos se hallan creciendo en grietas de las superficies o en decoraciones por incisión o grabado. Además, no hay garantía de que el cianoliquen no pueda volver a crecer en tanto organismos simbiote cuya mitad inferior compuesta por hifas fúngicas se encuentran firmemente arraigadas y desarrolladas al interior del sustrato (De los Ríos *et al.* 2008).

Si bien las tejas coloniales (*ca.* siglo XVIII) comparten con las cerámicas arqueológicas su media a alta porosidad y cocción a temperaturas *ca.* 800 a 1000 °C (Pena Poza *et al.* 2018), lo que las torna altamente bioreceptivas a la colonización biológica como numerosos estudios han demostrado (Coutinho *et al.* 2015; Kiurski *et al.* 2005; Gladis y Schumann 2011; Gromaire *et al.* 2015; Radeka *et al.* 2007; entre otros), su estructura plástica y manufactura industrial es completamente diferente. En consecuencia, no pueden ser equiparadas a las cerámicas

arqueológicas de manufactura completamente manual en condiciones totalmente disímiles. No obstante, sí se puede tomar a consideración que la aplicación de biocidas para remover *biofilms* de líquenes no ha demostrado resultados favorables (Coutinho *et al.* 2013, 2015, 2016; Gromaire *et al.* 2015; entre otros). La eliminación parcial o daño de la primera comunidad biológica colonizando las tejas conlleva una nueva colonización más severa con mayor heterogeneidad de especies que deterioran más intensamente el sustrato. En algunos casos, la reincidencia de las especies es evidente en tan solo seis meses (Coutinho *et al.* 2016) mientras que en otros, esta se da en el transcurso de un año (Gromaire *et al.* 2015). Ello es así porque los *biofilms* constituyen comunidades microbioanas complejas cuyas diferentes especies que los componen exhiben diferentes características y sensibilidades a los biocidas (Favero-Longo *et al.* 2018). Estudios recientes en la arquitectura y monumentos pétreos patrimoniales han demostrado la ineficacia de los biocidas y sus efectos contraproducentes para la preservación (Favero Longo *et al.* 2018; Pfindler *et al.* 2018; Urzì *et al.* 2016; entre otros). La aplicación de biocidas no es una alternativa recomendable para las cerámicas arqueológicas no sólo por los argumentos esbozados, sino porque su uso puede alterar, eliminar o dañar la presencia de residuos grasos, además de que algunos de ellos pueden ser tóxicos (Vaillant Callol 2013). Sin embargo, Pena Poza *et al.* (2018) ha combinado un tipo particular de biocida no tóxico con la aplicación de radiación láser obteniendo resultados muy positivos. En primera lugar, la radiación láser daña la estructura interna del talo, haciéndolo susceptible a la penetración del biocida y en segundo, el biocida altera y destruye la estructura de los organismos simbioses (algas y cianobacterias).

El congelado de las piezas afectadas, si bien fue ensayado para la tesis, puede generar estrés mecánico y provocar el resquebrajamiento de la estructura ya deteriorada por la contracción y expansión de la cerámica con el cambio de HR y T (Little 2000), por lo que su uso puede no ser recomendado para todo tipo de piezas. Asimismo, se necesita evaluar la viabilidad de los microorganismos después de este procedimiento para tener un panorama completo de la efectividad contra los tres agentes biológicos identificados.

La aplicación de métodos radioactivos como concentración de luz UV o solar, puede dañar las decoraciones pintadas si presentes y no ser del todo efectiva en el caso de los cianolíquenes, en tanto su talo posee un filtro contra la radiación solar. Otros métodos radiactivos pueden ser perjudiciales o imposibilitar el posterior manejo de las colecciones para investigación o exhibición. Sin dejar de considerar que sus elevados costos hacen improbable su uso para desinfectar gran cantidad de material, como es el caso de estudio cuya totalidad del material cerámico recolectado en más de dos décadas de investigación supera los 10000 fragmentos.

La utilización de bolsas de polietileno estériles para guardar el material demostró que a pesar de reducir la circulación de oxígeno, generan un microambiente templado que puede permitir el desarrollo de la microbiota si no se cuida de erradicar completamente la humedad del material *a priori*. Una opción podría ser colocar al interior de las bolsas silica gel antes de sellarlas y asegurarse de que se mantenga en un sitio fresco, sin que el contenedor que las contenga sea expuesto a ninguna fuente de calor halógena u de otro tipo.

En otras palabras, se requiere de la realización de mucha experimentación en este ámbito para evaluar técnicas de control de diversos agentes biológicos conformes a los diferentes usos y técnicas de investigación sin dejar de considerar el valor patrimonial de las cerámicas. Lo más probable es que se tenga que aplicar un conjunto de técnicas para que cada una complemente las falencias de la otra, tal cual el caso de la radiación por láser y el uso de biocidas. Una opción

novedosa que ha mostrado resultados interesantes en textiles arqueológicos es la aplicación de nanopartículas de plata (Piertzak *et al.* 2016) o el uso de sustancias naturales que funcionan como biocidas en el registro documental (Lavin *et al.* 2015).

10.7 Cianoliquenes, hongos y bacterias como bioindicadores para la arqueología

Desde el estudio de los procesos de formación de sitio, los líquenes adheridos a material en estratigrafía operan como bioindicadores relativos de la dinámica de suelos. Como se explicó anteriormente, los líquenes son organismos simbiotes con una parte fúngica y otra fototrófica algas y/o cianobacterias, por lo que requieren hallarse a la intemperie para realizar la fotosíntesis. Hallar material enterrado con evidencias de líquenes, nos confirma que la matriz sedimentaria ha sido disturbada por procesos postdepositacionales y/o agentes erosivos aun cuando no se presenten evidencias de madrigueras, túneles de insectos o presencia de vegetación. Desgraciadamente, se requiere el avance de la liquenología para conocer la viabilidad de especies de líquenes en condiciones de entierro para poder estimar el tiempo en que se dieron los procesos de sedimentación y erosión de suelos. El caso de estudio dio cuenta de que los cianolíquenes son resistentes a esta dinámica de suelos y que a partir de los dos años de entierro la simbiosis de hongos y cianobacterias empieza a debilitarse.

Los hongos y bacterias, principalmente, se presentan como indicadores más fehacientes de la historia de vida de los objetos (Piñar *et al.* 2019), es decir, de los ambientes y regiones por los cuales han transitado. Ciertas especies de hongos y bacterias se registran en determinados ambientes y regiones, al igual que las diatomeas se asocian a la presencia de agua. La identificación de estos agentes biológicos se muestra como otra alternativa novedosa para los estudios de redes de intercambio de materias primas u objetos suntuarios y/o éxóticos. Muchas veces los arqueólogos nos encontramos limitados a las decoraciones de las cerámicas o la existencia de estudios de pastas que nos permitan vincular una pieza con una región. Lo mismo ocurre para la obsidiana, cuya fuente de aprovisionamiento se indaga a partir de la técnica de activación neutrónica. La microbiología se presenta como una nueva alternativa que si bien requiere del conocimiento de las especies locales, la identificación y tipificación de bacterias y/o hongos adaptados a cierto tipo de ambientes ya nos puede arrojar luz en el asunto. Intercalar la información sobre una vasija cruzando un ambiente “árido” o “frío” con otras líneas de evidencia, puede ser la pieza del rompecabezas faltante para dilucidar posibles rutas de comunicación e intercambio de los pobladores del pasado.

En otras palabras, el uso de los microorganismos y los líquenes como bioindicadores no requiere de un completo conocimiento de la biota del área de estudio o de las diferentes regiones. No es equiparable al caso de los isótopos estables, cuyas mediciones son sesgadas si no se calibran con curvas regionales. Las identificaciones de las especies nos pueden ofrecer resultados fructíferos si se sabe cómo aprovecharlos aun cuando exista escasa información de la microbiota, como ocurre con nuestro país. A mayor información más precisos son los resultados, pero la falta de la misma no hace inoperativa la línea de evidencia.

11. Consideraciones finales

Las cerámicas arqueológicas debido a las propiedades físicas de la porosidad, la resistencia y la baja conductividad térmica, constituyen un sustrato estable y óptimo para la colonización de agentes biológicos adaptados a condiciones climáticas de aridez. La porosidad de las pastas, sea de mayor grado en las vasijas rústicas o en menor grado en vasijas más finas y de matriz más compacta, funciona como un micro-ecosistema con la capacidad de almacenar la humedad y mantener la temperatura necesaria para el desarrollo de microorganismos. Si bien la conductividad térmica es baja en comparación con los metales, la temperatura almacenada aún por periodos relativamente cortos de tiempo es suficiente para el desarrollo de microorganismos. La resistencia de la cerámica la convierte en una roca de origen antrópico más firme a la incidencia de los agentes erosivos y postdepositacionales a diferencia de sustratos naturales que son más susceptibles, como lo son el sedimento fácilmente arrastrado por escorrentías estacionales o por el viento y los materiales orgánicos de rápida degradación, y por ello más estable para la colonización de agentes biológicos.

Los agentes biológicos identificados no sólo dan cuenta de una comunidad microbiana compleja que se adecúa al sustrato cerámico convirtiéndolo en el ecosistema necesario para subsistir en ambientes áridos, sino que corrobora su retroalimentación y potenciación con los procesos formadores de sitios arqueológicos. Cuanto más debilitada se halle la cerámica por el diferente conjuntos de alteraciones postdepositacionales, será más factible que el proceso de biodeterioro. Además, aquellos procesos postdepositacionales que no dañan el material pero turban la matriz arqueológica, como es el caso de los grandes movimientos de suelo por obras de infraestructura o diversas actividades humanas, son los mismos que lo exponen a las cambios ambientales y a la posibilidad de una colonización biológica.

El estudio de la biota del valle demostró que tanto cianolíquenes como microorganismos son parte de las especies locales. Los cianolíquenes crecen en costras biológicas y rocas de composición mineralógica similar a la cerámica, los microorganismos se encuentran en el sedimento. Si fuera el caso que el material cerámico en estratigrafía también se encontrase colonizado por hongos y bacterias, las observaciones por microscopio electrónico de barrido no han demostrado que éstos estén generando actividad vital sustancial que pueda dañar al sustrato significativamente, a diferencia de lo observado en el material de superficie. Tal discriminación se debe a las condiciones predominantes en ambos ambientes. La superficie goza de la calidez de las radiaciones solares, las fluctuaciones de humedad y temperaturas, la libre circulación de oxígeno, las precipitaciones y la presencia del viento, principal agente que dispersa esporas, bacterias y otros microorganismos. En la matriz sedimentaria, las temperaturas son bajas, las precipitaciones no necesariamente permean el sustrato, la humedad no es tan fluctuante, el oxígeno escasea y no hay exposición a la radiación solar ni al viento. La cerámica superficial es sometida a mayor cantidad de alteraciones postdepositacionales, pero es justamente esa variedad de procesos y la no restricción de los factores ambientales, los que se retroalimentan y potencian la colonización biológica.

Es por ello que los cianolíquenes, variedad de líquenes adaptados a ambientes hostiles con marcada amplitud térmica y escasa humedad, crecen en las superficies debilitadas de la cerámica por la acción de los procesos postdepositacionales (erosión, meteorización atmosférica, pisoteo,

resquebrajamiento y el resultado de decisiones de manufactura diferentes que hacen a las variables tecnomorfológicas de las piezas), como lo son las microfisuras y picado de las superficies y los cantos de los tiestos. Estas especies de cianolíquenes se adhieren firmemente a la cerámica, mientras que las hifas fúngicas perforan el sustrato produciendo su desgranado y la estructura superior del talo asimila el material desprendido. Al desprenderse el talo en las superficies externas, se generan *biopits* regulares que funcionan, a su vez, como área ideal para la colonización por otras especies de cianolíquenes o microorganismos como es el caso de la *Pseudomonas aeruginosa*. No sólo la actividad vital de estas especies produce alteraciones mecánicas, sino que las sustancias producto de su metabolismo generan cambios químicos. Al mismo tiempo, hongos y bacterias se desarrollan al interior de la pasta, si bien también pueden ser hallados en las superficies externas. Al igual que los cianolíquenes, las hifas de hongos filamentosos atraviesan el sustrato y producen daño mecánico al crecer en microfisuras y forzar la estructura de la matriz hasta fracturarla. En el caso de los parásitos fúngicos, estos se alimentan del material orgánico que hace al talo de los cianolíquenes y también presentan una estructura filamentosa blanquecina. Asimismo, las bacterias han sido registradas creciendo tanto bajo la superficie como sobre los cianolíquenes, usualmente rodeadas de abundante sustancias poliméricas extracelulares que actúan como adhesivos para el material suelto. La observación de la matriz cerámica recubierta de sustancias poliméricas extracelulares o colmada de diminutos *biopits*, pone de manifiesto la presencia de un daño químico por metabolitos ácidos, pero es necesario la aplicación de técnicas de metagenómica y metabolómica para fehacientemente identificar las sustancias producidas y su particular efecto en el material.

Es así que la cerámica impactada por este proceso ve sus propiedades físicas transformadas. Simultáneamente al incremento de la porosidad por *biopits* al interior y exterior de la pasta, la resistencia de la estructura del sustrato se debilita por la acción mecánica de hifas y las consecuencias químicas de la actividad metabólica de los microorganismos tipificados. Sean cerámicas del estilo Ordinario, de pasta más porosa con inclusiones gruesas y acabado más rústico, o del estilo Aguada, de pasta más compacta y escasas inclusiones finas con acabado pulido, son impactadas por igual por el biodeterioro. No sólo la cerámica puede verse afectada, todo tipo de materialidades arqueológicas pueden verse impactadas si son sometidos a los agentes biológicos.

Una de las cuestiones más alarmantes que reveló esta investigación es que si los organismos impactando la cerámica no son observables, no hay indicios evidentes de que el biodeterioro esté actuando. La realización de cultivos microbiológicos sólo para descartar esta posibilidad es difícil de concretar. Los análisis y ensayos de laboratorio requieren de muchos insumos de elevado costo, además de una dedicación exclusiva, que no siempre son factibles para los proyectos de investigación arqueológica que disponen de un presupuesto acotado. Es por ello fundamental estar alertas de qué procesos postdeposicionales operan en el sitio arqueológico de estudio y de la existencia de indicadores visuales, como lo puede ser la presencia de costras biológicas, que estén sugiriendo la presencia activa de agentes biológicos en las inmediaciones. La mejor forma de estar atentos a la posibilidad es trabajando interdisciplinariamente no sólo entre arqueólogos y preservadores, sino también con biólogos, microbiólogos, químicos, geólogos, conservadores y otros profesionales para así poder construir bases de datos, establecer patrones, generar conocimiento sistemático sobre estos organismos y sus efectos nocivos para la salud como sobre el material, como las estrategias adecuadas para su erradicación, tanto en la cerámica como en cualquier otro bien arqueológico en el que se presenten. Si bien los cultivos microbiológicos son una herramienta no práctica para determinar si todas las materialidades están impactadas por

microbiota, tal vez exista algún otro método, o se pueda desarrollar uno trabajando interdisciplinariamente, que sea de menor costo y fácil aplicación por personal no especializado.

La cuestión de la erradicación del biodeterioro *per se* es un verdadero desafío debido a la complejidad del procesos descrito y a la gran variedad de factores, agentes y variables intervinientes en la conformación de los *biofilms*. Los cianolíquenes no pueden ser removidos sin destruir el material y los hongos y bacterias desarrollados al interior de la pasta son también de difícil eliminación. En el puntual caso de estudio, las especies reconocidas se encuentran adaptadas a condiciones adversas y pueden permanecer varios años viables pero no activas. Los primeros ensayos sobre métodos de control y limpieza realizados funcionan como una primera aproximación para la preservación de la cerámica afectada por agentes biológicos pero dejan abiertos muchos interrogantes sobre las técnicas y métodos adecuados para su limpieza. Al constituir los cianolíquenes una simbiosis de hongos y cianobacterias, se reproducen como ellos por la liberación de esporas, por ende, es de suma importancia evaluar el ratio de diseminación de dichas esporas y las condiciones en que ello ocurre. Diversos materiales arqueológicos podrían verse contaminados de dicha manera, lo que requiere también, la confección de guardas que contemplen esta cuestión. Los lineamientos de la conservación preventiva son útiles como medidas primarias para impedir o entorpecer la reactivación de los agentes biológicos, pero su eliminación o control demanda inevitablemente de la aplicación de una compleja variedad de métodos que disminuyan por una lado la actividad metabólica de líquenes y que por otro la de microorganismos. Ensayos con biocidas naturales biodegradables, no tóxicos para el humano y sin efectos secundarios sobre las propiedades del material, son una opción interesante a considerar que ha tenido muy buenos resultados en archivos documentales. Otro caso con mayores limitaciones debido al tamaño de las piezas y sus costos, pero que ha mostrado resultados óptimos en objetos patrimoniales, es la aplicación de nanopartículas de plata como inhibidores de la actividad microbiana. Ambos métodos son muy prometedores pero ninguno ha sido ensayado con cianolíquenes. Inevitablemente, la selección de procedimientos eficientes en la eliminación y/o control de agentes biológicos que no afecten la cerámica y mantengan su valor científico inalterable, exhorta al desarrollo de mucha experimentación.

Dado los resultados expuestos, los efectos nocivos que el biodeterioro puede ejercer sobre la amplia gama de análisis arqueométricos usualmente conducidos en las investigaciones de la cerámica arqueológica no pueden ser negados. Es cierto, sin embargo, que análisis de ácidos grasos no suelen realizarse en el material superficial, pero ello no descarta que existan microorganismos colonizando las cerámicas y que su almacenamiento en condiciones no aptas los reactive, tal cual estudios recientes han demostrado. Es de especial importancia profundizar en los efectos negativos que materiales biodeteriorados puedan ocasionar en métodos de datación absoluta como puede ser la termoluminiscencia. La datación es una de las principales herramientas utilizadas en la arqueología e ignorar un factor de riesgo al seleccionar un material a datar puede traer serias implicancias en los resultados obtenidos.

En consecuencia, se puede hablar de dos tipos de impacto producido por los cianolíquenes, hongos y bacterias en la cerámica arqueológica: uno concreto y otro abstracto. El impacto concreto, refiere al daño físico directo y observable, mecánico y bioquímico, que recibe el material por el desarrollo de los agentes biológicos. El daño abstracto nos habla de las consecuencias indirectas no observables que produce el biodeterioro en las investigaciones arqueométricas, lo que puede conducir al sesgo de resultados o el entorpecimiento de análisis futuros.

Asimismo, no hay que olvidar la potencialidad de la identificación de estos agentes biológicos como bioindicadores de la dinámica de suelos, para el estudio de los agentes postdepositacionales, y de las redes de intercambio de objetos, para los microorganismos. Independientemente de que se decidan hacer los estudios sobre su impacto en el material.

Los resultados de esta tesis ponen en evidencia la necesidad de seguir avanzando en la investigación interdisciplinar del biodeterioro de material cerámico como de otros objetos arqueológicos. Mayores estudios específicos se requieren para avanzar en la comprensión de la escala en que el biodeterioro incide en los procesos formadores de sitios arqueológicos. La reducción de la incertidumbre generada en la temática de preservación de la cerámica de los agentes biológicos, manifiesta la necesidad de que esta línea de investigación sistemática perdure y se profundice para poder así desarrollar métodos de control y erradicación efectivos que no pongan en riesgo su integridad.

12. Anexo

Se presenta la Tabla 16 con el detalle de los tiestos por estilo y sitio arqueológico analizados en las distintas etapas de la investigación.

N	Sitio	Sector	Estilos	Análisis y observaciones de superficies				ID agentes biológicos		Anál. Lab.	Ensayos control y limpieza		
				LB	MO	MEB-EDS	CAL	Microor.	Líqu.		RM	Con	SPP
1	LC	Montículo	Ag. Ante L.	x	x	x x						x	
2	Ald 3	R2 Excav	Ag. Ante L.	x		x							
3	Ald 3	R2 Excav.	Ag. Gris L.	x		x							
4	Ald 3	R2 Excav.	Ordinario	x		x							
5	PC		Ag. Ante L.	x		x							
6	Ald 3	R1-R2	Ag. Gris L.	x	x								x
7	Ald 3	R1-R2	Ordinario	x	x								x
8	LC	G16	Ag. Ante L.	x	x						x		x
9	LC	Montículo	Ordinario	x	x						x		x
10	PC		Ag. Ante L.	x					x				
11	PC		Ag. Ante L.	x					x				
12	PC		Ag. Ante L.	x					x				
13	PC		Ag. Ante L.	x					x				
14	LC	Montículo	Ag. Ante L.	x					x				
15	LC	Montículo	Ag. Ante L.	x					x				
16	Ald 3	Ex Basural	Ag. Gris L.	x					x x				
17	Ald 3	Ex Basural	Ag. Gris L.	x					x				
18	Ald 3	Ex Basural	Ag. Bicolor	x					x x				
19	Ald 3	Ex Basural	Ag. Gris L.	x					x x				
20	LC	G6	Ag. Ante L.	x					x x				
21	LC	G6	Ag. Ante L.	x					x x				
22	LC	G6	Ag. Ante L.	x					x x				
23	LC	G6	Ag. Gris L.	x					x x		x		
24	LC	G6	Ag. Ante L.	x					x x				
25	LC	G6	Ag. Bicolor	x					x				
26	LC	G6	Ag. Bicolor	x					x				
27	LC	G6	Ag. Ante L.	x					x				
28	LC	G9	Ag. Ante L.	x					x				
29	LC	G9	Ag. Ante L.	x					x				
30	LC	G9	Ag. Ante L.	x					x				

31	LC	G9	Ag. Ante L.	x					x x				
32	LC	G9	Ag. Bicolor	x					x x				
33	LC	G9	Ordinario	x					x				
34	LC	G9	Ordinario	x					x		x		
35	LC	Montículo	Ag. Ante L.	x					x x				
36	LC	Montículo	Ag. Ante L.	x					x x				
37	LC	Montículo	Ag. Bicolor	x					x x				
38	LC	Montículo	Ordinario	x					x				
39	LC	Montículo	Ordinario	x					x				
40	Ald 3	R1-R2	Ag. Ante L.	x					x x				
41	Ald 3	R1-R2	Ag. Ante L.	x					x x				
42	Ald 3	R1-R2	Ag. Ante L.	x					x x				
43	Ald 3	R1-R2	Ag. Ante L.	x					x x				
44	Ald 3	R1-R2	Ag. Ante L.	x					x x				
45	Ald 3	R1-R2	Ag. Ante L.	x					x				
46	Ald 3	R1-R2	Ag. Bicolor	x					x				
47	Ald 3	R1-R2	Ag. Bicolor	x					x				
48	Ald 1		Ag. Bicolor	x		x			x x				
49	Ald 3	R1-R2	Ag. Bicolor	x					x				
50	Ald 3	Plataforma	Ag. Bicolor	x					x				
51	Ald 3	Plataforma	Ag. Bicolor	x		x			x x				
52	Ald 3	Plataforma	Ag. Bicolor	x					x x				
53	Ald 3		Ordinario	x					x x				
54	Ald 3		Ordinario	x					x x				
55	Ald 3		Ordinario	x					x				
56	Ald 3		Ordinario	x					x				
57	Ald 3		Ordinario	x					x				
58	Ald 3		Ordinario	x					x				
59	Ald 3		Ordinario	x					x x				
60	Ald 3		Ordinario	x					x x				
61	Ald 3		Ordinario	x					x x				
62	LC	G16	Ag. Gris L.	x					x x				
63	LC	G16	Ag. Gris L.	x					x x				
64	Ald 13		Ag. Bicolor	x					x				
65	Ald 13		Ag. Bicolor	x					x				
66	Ald 13		Ag. Tricolor	x					x				
67	Ald 13		Ag. Tricolor	x	x				x x				
68	Ald 13		Ag. Bicolor	x	x				x x				
69	Ald 13		Ag. Bicolor	x					x x				
70	Ald 13		Ag. Bicolor	x					x				
71	Ald 13		Ag. Bicolor	x					x				

72	Ald 13		Ag. Bicolor	x					x				
73	Ald 13		Ag. Bicolor	x					x				
74	Ald 13		Ordinario	x					x				
75	LC	G16	Ag. Ante L.	x		x			x x				
76	LC	G16	Ag. Ante L.	x					x x				
77	LC	G16	Ag. Ante L.	x					x x				
78	LC	G16	Ag. Ante L.	x					x x				
79	PC		Ordinario	x		x							
80	PC		Ag. Gris L.	x		x							
81	Ald 3		Ordinario	x		x x		x		x			
82	Ald 3		Ordinario	x		x x x x		x		x			
83	Ald 3		Ag. Gris L.	x		x x		x					
84	Ald 3		Ag. Ante L.	x		x x		x		x			
85	Ald 1		Ag. Ante L.	x			x						
86	LC	G6	Ag. Gris L.	x			x						
87	Ald 3	Ex Basural	Ordinario	x			x						
88	Ald 3	Ex Basural	Ordinario	x			x						

Tabla 16. Tiestos superficie N=85; tiestos de excavación N=3. El número de cruces indica la cantidad de veces que la misma muestra fue analizada por determinada técnica. Sitios arqueológicos, LC: La Cuestecilla; PC: Pucará de Chañarmuyo; Ald 3: Aldea 3; Ald 1: Aldea 1; Ald 13; Aldea 13. Estilos cerámicos, Ag. Gris L.: Aguada Gris Liso; Ag. Ante L.: Aguada Ante Liso; Ag. Bicolor: Aguada Bicolor; Ag. Tricolor: Aguada Tricolor. Técnicas, LB: lupa binocular; MO: microscopía óptica; MEB-EDS: microscopio electrónico de barrido y espectroscopía de energía por dispersión de rayos X; CAL: microscopía calcográfica. ID: identificación; Microrg.: microorganismos; Liq.: líquenes. Anál. Lab.: Análisis de laboratorio. Ensayos de control y limpieza, RM: remoción mecánica; Con: congelamiento; SPP: simulación de procesos postdeposicionales.

13. Referencias bibliográficas

- Agrawal, O.P., S. Dhawan, y K.L. Gark. 1989. *Microbial deterioration of painting - a review*. Lucknow: INTACH Conservation Centre.
- Albeck, M.E. 1996. "Utilización de la liquenometría como indicador cronológico en las estructuras agrícolas prehispánicas de Coctaca". *Shincal* 5: 67–79.
- Allsopp, D., K.J. Seal, y C.C. Gaylarde. 2004. *Introduction to Biodeterioration*. Second. Cambridge: Cambridge University Press. Doi:10.1017/CBO9780511617065
- Altieri, A., M.C. Laurenti, y A. Roccardi. 1999. "The conservation of archaeological sites: materials y techniques for short-term protection of archaeological remains". In *Proceedings of the 6th International Conference, Non-destructive Testing y Microanalysis for the Diagnostics y Conservation of the Cultural y Environmental Heritage*, 673–687. Roma.
- Ankri, S., y D. Mirelman. 1999. "Antimicrobial properties of allicin from garlic". *Microbes y Infection* 2: 125–129.
- Ariño, X., J.J. Ortega Calvo, A. Gómez Bolea, y C. Saiz Jimenez. 1995. "Lichen colonization of the Roman pavement at Baelo Claudia (Cadiz, Spain): biodeterioration vs. bioprotection". *Science of the Total Environment* 167 1: 353–363.
- Ascaso, C. 2002. "Ecología microbiana de sustratos líticos". In *Ciencia y Medio Ambiente*. Centro de Ciencias Medioambientales, 90-103. España.
- Ascaso, C., y J. Wierzchos. 1995. "Study of the biodeterioration zone between the lichen thallus y the substrate". *Cryptogamic Botany* 5: 270–281.
- Ascaso, C., J. Wierzchos, V. Souza Egipsy, A. De los Ríos, y J. Delgado Rodríguez. 2002. "In situ evaluation of the biodeteriorating action of microorganisms y the effects of biocides on carbonate rock of the Jeronimos Monastery (Lisbon)". *International Biodeterioration & Biodegradation* 49: 1–12.
- Baldini, M.I., y C.M. Sempé. 2005. "El estilo Aguada: su iconografía y la imagen del sacrificador". In *Azampay. Presente y pasado de un pueblito Catamarqueño*, editado por Carlota M. Sempé, Susana Salceda, y Marta Maffia, 333–343. La Plata: Ediciones al Margen.
- Balesta, B., y F. Wynveldt. 2009. "Paisaje socio-político y beligerancia en el valle de Hualfín (Catamarca, Argentina)". *Antípoda* 6: 143–168.
- Ballart, J. 1997. *El patrimonio histórico y arqueológico: valor y uso*. Barcelona: Ariel.
- Barnard, H., y J.W. Eerkens, eds. 2007. *Theory y practice of archaeological residue analysis*. BAR international series 1650. Oxford, England: Archaeopress.
- Barnett, H.L., y B.B. Hunter. 1987. *Illustrated Genera of Imperfect Fungi*. 3rd ed. Minneapolis: Burgess Publishing.
- Barraclough, A. 1992. "Quaternary sediment analysis: a deductive approach at A-level". *Teaching Geography* 17: 15–18.
- Barreno Rodríguez, E. 2003. "Biología de los líquenes". In *Líquenes de la Reserva Natural Integral de Muniellos, Asturias*, 65–82. 5. Oviedo: Consejería de Medio Ambiente, Ordenación del Territorio e Infraestructuras del Principado de Asturias.
- Barrio Martín, J., I. Donate Carretero, M.C. Medina Sánchez, A.I. Pardo Naranjo, M.P. Recio de la Rosa, C. Pascual Centenera, y E. Criado Herreros. 2015. "El láser aplicado a la

- limpieza de cerámica arqueológica.” In *La Ciencia y el Arte V. Ciencias experimentales y conservación de patrimonio*, 71–80. España: Ministerio de Educación, Cultura y Deporte.
- Basile, M. 2013. “Las manifestaciones plásticas de la región de Fiambalá: cambios y continuidades entre los siglos V y XV.” In *Delineando Prácticas De La Gente Del Pasado: Los Procesos Socio-Históricos del Oeste Catamarqueño*, editado por Norma Ratto, 177–238. Buenos Aires: Sociedad Argentina de Antropología.
- Beans, H.S. 1967. “Types y characteristics of disinfectants.” *Journal of Applied Bacteriology* 30: 6–16.
- Becerra Angulo, J.A. 2009. *Conservación y preservación de objetos culturales cerámicos*. México: UDG Virtual y Casa Keramos.
- Belnap, J., S.L. Phillips, y S.D. Smith. 2007. “Dynamics of cover, UV-protective pigments, y quantum yield in biological soil crust communities of an undisturbed Mojave Desert shrubland.” *Flora - Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants* 202 8: 674–686. Doi:10.1016/j.flora.2007.05.007
- Berthelin, J. 1985. “Microbial weathering processes in natural environments.” In *Physical y Chemical Weathering in Geochemical Cycles*, editado por A. Lerman y M. Meybeck, 33–59. Francia: Kluwer Academic Publishers y NATO Scientific Affairs Division.
- Bettini, C., y A. Villa. 1981. “Description of a method for cleaning tombstones.” In *Proceedings of 2nd International Symposium on the Conservation of Stone*, 523–534. Bologna.
- Biurrun, F.N., W.D. Agüero, y D.F. Teruel. 2012. “Consideraciones fitogeográficas sobre la vegetación de Los Llanos de La Rioja.” *Estudios sobre el Ambiente y el Territorio* 5: 1–21.
- Blanchette, R.A. 2000. “A review of microbial deterioration found in archaeological wood from different environments.” *International Biodeterioration & Biodegradation* 46: 189–204.
- Bondenbender, G. 1911. “Constitución Geológica de la parte meridional de La Rioja y regiones limítrofes.” *Boletín de la Academia Nacional de Ciencias*, 1 1: 5-220.
- Book, E., y W. Sand. 1993. “The microbiology of masonry biodeterioration: a review.” *Journal of Applied Bacteriology* 74: 503–514.
- Borrego, S., P.S. Guiamet, S. Gómez de Saravia, P. Batistini, M. Garcia, P. Lavin, y I. Perdomo. 2010. “The quality of air at archives y the biodeterioration of photographs.” *International Biodeterioration & Biodegradation* 64 2: 139–145. Doi:10.1016/j.ibiod.2009.12.005.
- Borrego, S., P.S. Guiamet, I. Vivar, y P. Batistoni. 2018. “Fungi involved in biodeterioration of documents in paper y effect on substrate.” *Acta Microscópica* 27 1: 37–44.
- Borrero, L.A., K. Borrazo, I.A. Garibotti, y M.C. Pallo. 2011. “Concentración de pilas de rocas en la cuenca superior del río Santa Cruz (Argentina).” *Magallania*. 39 2: 193–206.
- Brodo, I.M., S.D. Shanoff, y S. Sharnoff. 2001. *The Lichens of North America*. Cambridge: Yale University Press.
- Büdel, B. 1987. “Zur Biologie und Systematik der Flechtengattung Heppia und Peltula im südlichen Afrika.” *Bibliotheca Lichenologica* 23: 1–105.
- Büdel, B., y T.H. Nash III. 2002. “Peltula.” In *Lichen Flora of the Greater Sonoran Desert Region.*, editado por Thomas Nash III, B. Ryan, C. Gries, y F. Bungartz, 1:331–340. Arizona: Arizona State University.
- Büdel, B., y M. Schultz. 2003. A way to cope with high irradiance and drought: inverted morphology of a new cyanobacteriallichen, *Peltula inversa* sp. nova, from the Nama Karoo, Namibia. *Bibliotheca Lichenologica* 86:225-232.

- Büdel, B., M. Schultz, y T.H. Nash III. 2002. "Heppia." In *Lichen Flora of the Greater Sonoran Desert Region*, editado por Thomas Nash III, B. Ryan, C. Gries, y F. Bungartz, 3:204–207. 1st ed. Arizona: Arizona State University.
- Burgheimer, J., B. Wilske, K. Maseyk, A. Karnieli, E. Zaady, D. Yakir, y J. Kesselmeier. 2006. "Ground y space spectral measurements for assessing the semi-arid ecosystem phenology related to CO₂ fluxes of biological soil crusts." *Remote Sensing of Environment* 101 1: 1–12. Doi:10.1016/j.rse.2005.03.003.
- Buys, S., y V. Oakley. 1993. *The Conservation y Restoration of Ceramics*. Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Cabrera, A.L. 1976. "Regiones fitogeográficas argentinas." In *Enciclopedia argentina de agricultura y jardinería*, 2:1–85. Buenos Aires: ACME.
- Callegari, A.B., M.E. Gonaldi, L.M. Wisnieski, y G.M. Rodríguez. 2010. "Paisajes Ritualizados. Traza Arquitectónica del Sitio Aguada La Cuestecilla y su área de Influencia (Dto. Famatina, La Rioja)." In *Actas del XVII Congreso Nacional de Arqueología Argentina*. Mendoza.
- Callegari, A.B., y G. Raviña. 2000. "Construcciones de piedras de colores. El empleo recurrente del negro, rojo y blanco." In *Arte Rupestre en las Rocas. Arte rupestre, menhires y piedras de colores en Argentina.*, 113–120. Buenos Aires: Sociedad Argentina de Antropología.
- Callegari, A.B., D.M. Soto, y S. De Acha. 2017. "El arte rupestre de la localidad arqueológica La Cuestecilla, Norte de la provincia de La Rioja." *Cuadernos del Instituto Nacional de Antropología y Pensamiento Latinoamericano - Series Especiales* 5 1: 1–23.
- Callegari, A.B., G. Spengler, y M.G. Rodriguez. 2015. "La Complejidad Social en Aguada. El Caso del Valle de Antinaco, Departamento de Famatina, Norte De La Provincia De La Rioja (Argentina)." *Arqueología - Dossier* 21: 111–137.
- Callegari, A.B., G. Spengler, y S. De Acha. En prensa. "Estrellas riojanas. Geoglifos del Norte de la provincia de La Rioja, Argentina." *Boletín del museo chileno de arte precolombino*.
- Callegari, A.B., G. Spengler, M.E. Gonaldi, y E. Aciar. 2013. "Construcción del paisaje en el Valle de Antinaco, departamento de Famatina, provincia de La Rioja (ca. 0-1300 AD)." In *Tradición e identidad. Arqueología y espacialidad. Enfoques, métodos y aplicación.*, 303–344. Quito: Abya Yala.
- Calvelo, S. 1998. "Lichenology in Argentina: past, present y future." In *Lichenology in Latin America: history, current knowledge y applications*. San Pablo: CETESB.
- Campbell, D., V. Hurry, A.K. Clarke, P. Gustafsson, y G. Öquist. 1998. "Chlorophyll Fluorescence Analysis of Cyanobacterial Photosynthesis y Acclimation." *Microbiology y Molecular Biology Reviews* 62 3: 667–683.
- Cardew, M. 1969. *Pioneer Pottery*. New York: St's Martin Press.
- Carta de Venecia. 1964. "Carta Internacional para la Conservación y Restauración de Monumentos."
- Catalán Mezquíriz, E. 2013. "Evolución de criterios en la conservación y restauración de cerámicas: intervenciones antiguas versus nuevas intervenciones." *Anales del Museo de América* 21: 241–251.
- Caziani, S.M., y E.J. Derlindati. 1999. "Humedales altoandinos del Noroeste de Argentina: su contribución a la biodiversidad regional." In *Tópicos sobre humedales subtropicales y templados de Sudamérica. Oficina Regional de Ciencia y Tecnología de la UNESCO para América Latina y el Caribe*, editado por Al Málvarez, 1–13. Montevideo: ORCYD.

- Chadeganipour, M., R. Ojaghi, H. Rafiei, M. Afshar, y S.T. Hashemi. 2013. "Bio-deterioration of library materials: study of fungi threatening printed materials of libraries in Isfahan university of medical sciences in 2011." *Jundishapur Journal of Microbiology* 6 2: 127–131. Doi:10.5812/jjm.4751.
- Chartier, M.P., C.M. Rostagno, y L.S. Videla. 2013. "Selective erosion of clay, organic carbon y total nitrogen in grazed semiarid rangelands of northeastern Patagonia, Argentina." *Journal of Arid Environments* 88: 43–49. Doi:10.1016/j.jaridenv.2012.08.011.
- Chen, J., H.P. Blume, y L. Beyer. 2000. "Weathering of rocks induced by lichen colonization — a review." *CATENA* 39 2: 121–146. Doi:10.1016/S0341-8162(99)00085-5.
- Childers, B.B. 1994. "Long-term lichen-removal experiments y petroglyph conservation: Fremont County, Wyoming, Ranch Petroglyph site." *Rock Art Research* 11: 101–112.
- Claus, D., y R. Barkeley. 1986. "The genus *Bacillus*." In *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*, editado por P. Sneath, M. Mair, M. Sharpe, y J. Holt, 2:1105–1139. 1st ed. Baltimore: Williams & Wilkins.
- Colonna Preti, K., y P. Eeckhout. 2014. "The Bacteriological Contamination of Archaeological Ceramics: an Example from Pachacamac (Peru)." In *Recent Advances in Glass, Stained Glass, y Ceramics Conservation*, editado por H. Roemich y K. van Lookeren Campaign. London: SPA Uitgevers.
- Corbalán, M., A. Hladki, y A. Biasuso. 2017. "Evaluación del deterioro antrópico y biológico en el petroglifo de Piedra Pintada, San Pedro de Colalao, provincia de Tucumán." *Cuadernos del Instituto de Antropología y Pensamiento Latinoamericano - Series Especiales* 5 2: 1–16.
- Coutinho, M.L., A.Z. Miller, S. Gutiérrez Patricio, M. Hernández Marine, A. Gómez Bolea, M.A. Rogerio Candelera, A.J.L. Philips, V. Jurado, C. Saiz Jiménez, y M.F. Macedo. 2013. "Microbial communities on deteriorated artistic tiles from Pena National Palace (Sintra, Portugal)." *International Biodeterioration & Biodegradation* 84: 322–332. Doi:10.1016/j.ibiod.2012.05.028.
- Coutinho, M.L., A.Z. Miller, y M.F. Macedo. 2015. "Biological colonization y biodeterioration of architectural ceramic materials: An overview." *Journal of Cultural Heritage* 16 5: 759–777. Doi:10.1016/j.culher.2015.01.006.
- Coutinho, M.L., A.Z. Miller, P.M. Martin-Sanchez, J. Mirão, A. Gómez Bolea, B. Machado Moreira, L. Cerqueira Alves, V. Jurado, C. Saiz Jiménez, A. Lima, A.J.L. Philips, F. Pina, y M.F. Macedo. 2016. "A multiproxy approach to evaluate biocidal treatments on biodeteriorated majolica glazed tiles." *Environmental Microbiology* 18 12: 4794–4816. Doi:10.1111/1462-2920.13380.
- Cremonte, B., y L. Pereyra Domingorena. 2013. *Atlas de pastas cerámicas arqueológicas. Petrografía de estilos alfareros del NOA*. San Salvador de Jujuy: Universidad nacional de Jujuy.
- Criado Boado, F. 1993. "Límites y posibilidades de la Arqueología del Paisaje." *SPAL: Revista de prehistoria y arqueología de la Universidad de Sevilla* 2: 9–56.
- . 1999. *Del terreno al espacio: planteamientos y perspectivas para la arqueología del paisaje*. Santiago de Compostela: Grupo de Investigación en Arqueología del Paisaje, Universidad de Santiago de Compostela.
- Crispin, C.A., y C. Gaylarde. 2005. "Cyanobacteria y biodeterioration of cultural heritage: a review." *Microbial Ecology* 49: 1–9.

- Cronyn, J.M. 1990. *The elements of archaeological conservation*. London; New York, NY: Routledge.
- Crow, P. 2008. "Mineral weathering in forest soils y its relevance to the preservation of the buried archaeological resource." *Journal of Archaeological Science* 35 8: 2262–2273. Doi:10.1016/j.jas.2008.02.008.
- Dakal, T., y P. Arora. 2012. "Evaluation of potential of molecular y physical techniques in studying biodeterioration." *Reviews in Environmental Science y Biotechnology* 11 1: 71–104. Doi:10.1007/s11157-012-9264-0.
- Dakal, T.C., y S.S. Cameotra. 2012. "Microbially induced deterioration of architectural heritages: routes y mechanisms involved." *Environmental Sciences Europe* 24 1: 36. Doi:10.1186/2190-4715-24-36.
- De Aparicio, F. 1934. "El Pucará de Chañarmuyo." *La Nación*, edición del 20 de mayo de 1934.
- De la Fuente, G.A. 2008. "Post-depositional chemical alterations in archaeological ceramics: a critical review y implications for their conservation." *Boletín del Laboratorio de Petrología y Conservación Cerámica* 1 2: 21–37.
- De la Fuente, G.A., y M.C. Páez. 2007. "Ceramic conservation in archaeological museums: the current situation in Northwest Argentina (province of Catamarca)." In *Glass y ceramic conservation*, editado por L. Pilosi, 180–188. Nova Gorica: Goriski muzej Kromberk.
- De la Fuente, N. 1972. "Investigaciones arqueológicas en la quebrada de Chañarmuyo, provincia de La Rioja." *Antiquitas. Boletín de la Asociación Amigos del Instituto de Arqueología*. 15: 2–11.
- De la Fuente, N.R. 2002. *Arqueología de Famatina: reseña de la arqueología de Famatina y su relación con zonas aledañas*. Argentina: 25–33.
- De los Ríos, A., B. Cámara, M.Á. García del Cura, V.J. Rico, V. Galván, y C. Ascaso. 2009. "Deteriorating effects of lichen y microbial colonization of carbonate building rocks in the Romanesque churches of Segovia (Spain)." *Science of The Total Environment* 407 3: 1123–1134. Doi:10.1016/j.scitotenv.2008.09.042.
- De los Ríos, A., B. Cámara, J. Wierzchos, y C. Ascaso. 2008. "Diagnóstico de procesos de biodeterioro por combinación de microscopía in situ y técnicas de biología molecular." In *La Investigación sobre patrimonio cultural*, editado por Cesáreo Saiz Jiménez y Miguel Ángel Rogerio-Candelera, 183–195. Sevilla: Red temática del patrimonio histórico y cultural.
- Delgadillo Rodríguez, I.P., L.C. Montenegro Ruíz, G.A. Pinilla Agudelo, y L.M. Melgarejo. 2017. "Medición de la fluorescencia de la clorofila a en algas encapsuladas en alginato de calcio." *Acta Biológica Colombiana* 22 2. Doi:10.15446/abc.v22n2.56166. <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/actabiol/article/view/56166>.
- Díaz, R.J. 1970. "La Rioja: situación, límites y población." In *Manual de Historia y Geografía de La Rioja*, II: 57–107. La Rioja: Editorial Riojana.
- Egea, J.M. 1989. "Die gattungen Heppia und Peltula in Westeuropa und Nordafrika." *Bibliotheca Lichenologica* 31: 1–122.
- Endere, M.L. 2001. "Patrimonio arqueológico en argentina. Panorama actual y perspectivas futuras." *Revista de Arqueología Americana* 20: 143–158.
- Fantuzzi, L. 2010. "La alteración posdeposicional del material cerámico. Agentes, procesos y consecuencias para su preservación e interpretación arqueológica." *Comechingonia Virtual* 4 1: 27–59.

- Favero, M.S. 2004. "Naturally occurring microorganisms y their resistance to physical y chemical agents." In *Disinfection, sterilization y antisepsis: Principles, practices, challenges, y new research*, editado por William A. Rutala, 1–14. Washington: Association for Professionals in Infection Control y Epidemiology.
- Favero Longo, S.E., F. Brigadeci, A. Segimiro, S. Voyron, M. Cardinali, M. Girlanda, y R. Piervittori. 2018. "Biocide efficacy y consolidant effect on the mycoflora of historical stuccos in indoor environment." *Journal of Cultural Heritage* 34. Technoheritage 2017: 33–42. Doi:10.1016/j.culher.2018.03.017.
- Flores, M., C. Fernandez, y M. Barbácho. 1992. "Microbial biodeterioration of stone in historic-artistic monuments." In *Microbial corrosion*, editado por C. A. C. Sequeira y K. Tiller, 262–265. London: The institute of materials.
- Gallego, M., y F. Oliva. 2005. "Evaluación de agentes de deterioro biológicos y culturales en los sitios en cuevas y abrigos rocosos del Sistema Serrano de Ventania, Provincia de Buenos Aires." *Revista de la Escuela de Antropología* 11: 131–146.
- Gallego, M., y M.C. Pannizza. 2005. "Aproximaciones a los problemas de deterioro del arte rupestre. El Sistema Serrano de Ventania (Provincia de Buenos Aires, Argentina), como caso de estudio." In *Primer Congreso Latinoamericano de Antropología.*, 1–15. Publicación en CD.
- Garibotti, I.A., K. Borrazo, y L.A. Borrero,. 2011. "Aplicación de técnicas liquenométricas en la arqueología de Patagonia utilizando Rhizocarpon subgenero rhizocarpon." In *Bosques, montañas y cazadores. Investigaciones arqueológicas en la Patagonia Meridional.*, 85–103. Buenos Aires: Dunken.
- Garibotti, I.A., y R. Villalba. 2009. "Lichenometric dating using Rhizocarpon subgenus Rhizocarpon in the Patagonian Andes, Argentina." *Quaternary Research* 71 3: 271–283. doi:10.1016/j.yqres.2009.01.012.
- Gaylarde, C.C. 2013. "Biodegradation, Biodeterioration, Bioremediation." In , editado por Johana Verran, 7. London: International Biodeterioration & Biodegradation Society.
- Gaylarde, C.C., y P.M. Gaylarde. 2005. "A comparative study of the major microbial biomass of biofilms on exteriors of buildings in Europe y Latin America." *International Biodeterioration & Biodegradation* 55 2: 131–139. Doi:10.1016/j.ibiod.2004.10.001.
- Gaylarde, P.M., C. Gaylarde, P.S. Guiamet, S.G. Gómez de Saravia, y H.A. Videla. 2001. "Biodeterioration of Mayam building at Uxmal y Tulum, Mexico." *Biofouling* 17 1: 41–45.
- Gazzano, C., S.E. Favero Longo, E. Matteucci, A. Roccardi, y R. Piervittori. 2009. "Index of Lichen Potential Biodeteriogenic Activity (LPBA): A tentative tool to evaluate the lichen impact on stonework." *International Biodeterioration & Biodegradation* 63 7: 836–843. Doi:10.1016/j.ibiod.2009.05.006.
- Geiser, L.H., S.E. Jovan, D.A. Glavich, y M.K. Porter. 2010. "Lichen-based critical loads for atmospheric nitrogen deposition in Western Oregon y Washington Forests, USA." *Environmental Pollution* 158 7: 2412–2421. Doi:10.1016/j.envpol.2010.04.001.
- Geiser, L.H., y P.N. Neitlich. 2007. "Air pollution y climate gradients in western Oregon y Washington indicated by epiphytic macrolichens." *Environmental Pollution* 145 1: 203–218. Doi:10.1016/j.envpol.2006.03.024.
- Gentilini, E. 2007. "Pseudomonas." In *Microbiología veterinaria*, editado por N. O. Stanchi, P. E. Martino, y E. Gentilini, 235–238. Buenos Aires: Inter-Médica S.A.I.C.I.

- Giacobini, C., M.P. Nugari, M.P. Micheli, B. Mazzone, y M. Seaward. 1986. "Lichenology y the conservation of ancient monuments: an interdisciplinary study." *Biodeterioration* 6: 386–392.
- Gladis, F., y R. Schumann. 2011. "Influence of material properties y photocatalysis on phototrophic growth in multi-year roof weathering." *International Biodeterioration & Biodegradation* 65 1: 36–44. Doi:10.1016/j.ibiod.2010.05.014.
- Gómez Alarcón, G., M.L. Muñoz, y M. Flores. 1994. "Excretion of organic acids by fungal strains isolated from decayed sandstone." *International Biodeterioration & Biodegradation* 34 2: 169–180. Doi:10.1016/0964-8305(94)90006-X.
- Gonaldi, M.E., A.B. Callegari, G. Spengler, S. Aumont, G.M. Rodriguez, y L.M. Wisnieski. 2008. *El Patrimonio Arqueológico del Norte del Dto. De Famatina, y otros temas generales de arqueología*. Buenos Aires: Asociación de Amigos del Instituto Nacional de Antropología (AINA).
- González, R.A. 1961. "La cultura de La Aguada del NOA." *Revista del Instituto de antropología de la universidad de Córdoba*. 2: 2–21.
- . 1977. *Arte Precolombino de la Argentina*. Buenos Aires: Filmediciones Valero.
- González, R.A. 1998. *Arte precolombino. La Aguada. Arqueología y diseños*. Filmediciones Valero.
- Gorbushina, A. 2007. "Minireview: life on the rocks." *Environmental Microbiology* 9 7: 1613–1631.
- Gorbushina, A.A., y W.J. Broughton. 2009. "Microbiology of the atmosphere-rock interface: how biological Interactions y physical stresses modulate a sophisticated microbial ecosystem." *Annual Review of Microbiology* 63 1: 431–450. Doi:10.1146/annurev.micro.091208.073349.
- Gordillo, I. 2009. "Dominios y recursos de la imagen. Iconografía cerámica del valle de Ambato (Catamarca, Argentina)." *Estudios Atacameños arqueología y antropología surandinas* 37: 99–121.
- Grimshaw, R.W. 1971. *The chemistry y physics of clays y others ceramic materials*. 2nd ed. New York: John Wiley.
- Gromaire, M.C., A. Van de Voorde, C. Lorgeoux, y G. Chebbo. 2015. "Benzalkonium runoff from roofs treated with biocide products – In situ pilot-scale study." *Water Research* 81: 279–287. Doi:10.1016/j.watres.2015.05.060.
- Gu, J.-D., M. Roman, T. Esselman, y R. Mitchell. 1998. "The role of microbial biofilms in deterioration of space station candidate materials." *International Biodeterioration & Biodegradation* 41 1: 25–33.
- Guiamet, P.S. 2001. "Efecto de los contaminantes fúngicos y bacterianos en el biodeterioro de materiales." In *Prevención y protección del patrimonio cultural iberoamericano e los efectos del biodeterioro ambiental*, editado por Héctor A. Videla y C. A. Giudice, 49–56. CYTED.
- Guiamet, P.S., S. Borrego, P. Lavín, I. Perdomo, y S.G. Gómez de Saravia. 2011. "Biofouling y biodeterioration in materials stored at the Historical Archive of the Museum of La Plata, Argentine y at the National Archive of the Republic of Cuba." *Colloids y Surfaces B: Biointerfaces* 85 2: 229–234. Doi:10.1016/j.colsurfb.2011.02.031.
- Guiamet, P.S., M. Crespo, P. Lavin, B. Ponce, C. Gaylarde, y S.G. Gómez de Saravia. 2013. "Biodeterioration of funeral sculptures in La Recoleta Cemetery, Buenos Aires,

- Argentina: Pre- y post-intervention studies.” *Colloids y Surfaces B: Biointerfaces* 101: 337–342. Doi:10.1016/j.colsurfb.2012.06.025.
- Guiamet, P.S., P.M. Arenas, P. Lavin, P. Batistoni, y S.G. Gómez de Saravia. 2010a. “Utilidad de extractos obtenidos de plantas en el control de microorganismos que afectan al patrimonio cultural.” In *Tradiciones Transformaciones en Etnobotánica*, editado por María Lelia Pochetino, Ana H. Ladio, y Patricia M. Arenas, 419–422. Argentina: CYTED.
- Guiamet, P.S., A. Igareta, P. Batistoni, y S.G. Gómez de Saravia. 2014. “Fungi y bacteria in the biodeterioration of archeological fibers. Analysis using different microscopic techniques.” *Revista argentina de microbiología* 46 4: 376–377.
- Guiamet, P.S., P. Lavin, y S.G. Gómez de Saravia. 2010b. “Participación de comunidades microbianas en el biodeterioro de rocas de interés histórico-cultural.” *Revista argentina de microbiología* 42 2: 141–141.
- Guiamet, P.S., F. Oliva, M. Gallego, y S.G. Gómez de Saravia. 2008a. “Biodeterioration : an applied case for rock art in the Ventania Hill System (Buenos Aires, Argentina).” *O Público e o privado* 12: 105–120.
- Guiamet, P.S., F. Oliva, P. Lavin, y S.G. Gómez de Saravia. 2010c. “Biodeterioro en abrigos rocosos con arte rupestre del sistema serrano de Ventania (provincia de Buenos Aires).” In *La arqueometría en Argentina y Latinoamérica*, 357–364. Córdoba: Universidad Nacional de Córdoba.
- Guiamet, P.S., J. de la Paz Naranjo, A. Arenas Patricia, y S.G. Gómez de Saravia. 2008b. “Differential sensitivity of Bacillus sp. isolated from archive materials to plant extract.” *Pharmacology On line* 3: 649–658.
- Guiamet, P.S., K. Pietrzak, B. Gutarowska, A. Otlewska, A. Igareta, T. Teileche, y P. Batistini. 2015. “Textiles de la puna Argentina. Identificación del biodeterioro a través de diferentes técnicas.” In *Patrimonio cultural: la gestión, el arte, la arqueología, y las ciencias exactas aplicadas*, editado por Oscar Martín Palacios, Cristina Vázquez, y Nicolás Ciarlo, 259–265. CABA: Nuevos Tiempos.
- Guiamet, P.S., V. Rosato, S.G. Gómez de Saravia, A.M. García, y D.A. Moreno. 2012. “Biofouling of crypts of historical y architectural interest at La Plata Cemetery (Argentina).” *Journal of Cultural Heritage* 13 3: 339–344. Doi:10.1016/j.culher.2011.11.002.
- Guiamet, P.S., D.M. Soto, y M. Schultz. 2018. “Bioreceptivity of archaeological ceramics in an arid region of northern Argentina.” *International Biodeterioration & Biodegradation*. En prensa. Doi:10.1016/j.ibiod.2018.10.003.
- Guild, S., y M. MacDonald. 2004. *Mould Prevention y Collection Recovery: Guidelines for Heritage Collections*. Technical Bulletin 26. Canadá: Canadian Conservation Institute.
- Guillite, O. 1995. “Bioreceptivity: a new concept for building ecology studies.” *Science of the Total Environment* 167: 215–220.
- Guráieb, A.G., y M.M. Frère. 2008. *Caminos y encrucijadas en la gestión del patrimonio arqueológico argentino*. Aguerre Ana M. Buenos Aires: Facultad de Filosofía y Letras, Universidad de Buenos Aires.
- Gutarowska, B. 2016. *A modern approach to biodeterioration assessment y the disinfection of historical book collections*. Lodz: OPRAWA.
- Gutarowska, B., S. Celikkol Aydin, V. Bonifay, A. Otlewska, E. Aydin, A.L. Oldham, J.I. Brauer, K. Duncan, J. Adamiak, J.A. Sunner, y I.B. Beech. 2015. “Metabolomic y high-

- throughput sequencing analysis—modern approach for the assessment of biodeterioration of materials from historic buildings.” *Frontiers in Microbiology* 6.
Doi:10.3389/fmicb.2015.00979.
- Gutarowska, B., y A. Czyżowska. 2009. “The ability of filamentous fungi to produce acids on indoor building materials.” *Annals of Microbiology* 59 4: 807–813.
Doi:10.1007/BF03179227.
- Gutarowska, B., D. Rembisz, K. Zduniak, J. Skóra, M. Szyrkowska, E. Gliścińska, y A. Koziróg. 2012a. “Optimization y application of the misting method with silver nanoparticles for disinfection of the historical objects.” *International Biodeterioration & Biodegradation* 75 2: 167–175. Doi:10.1016/j.ibiod.2012.10.002.
- Gutarowska, B., J. Skora, K. Zduniak, y D. Rembisz. 2012b. “Analysis of the sensitivity of microorganisms contaminating museums y archives to silver nanoparticles.” *International Biodeterioration & Biodegradation* 68 1: 7–17.
Doi:10.1016/j.ibiod.2011.12.002.
- Hale, M.E. 1967. *The biology of lichens*. Londres: Edward Arnold.
- Harry, K.G., y A. Johnson. 2004. “A non-destructive technique for measuring ceramic porosity using liquid nitrogen.” *Journal of Archaeological Science* 31: 1567–1575.
- Hernández, J.B., y J.J. Tresserras. 2008. *Gestión del patrimonio cultural*. Barcelona: Ariel.
- Herrera, L.K., C. Arroyave, P.S. Guimet, S.G. Gómez de Saravia, y H.A. Videla. 2004. “Biodeterioration of peridotite y other constructional materials in a building of the Colombian cultural heritage.” *International Biodeterioration & Biodegradation* 54: 135–141.
- Housman, D.C., H.H. Powers, A.D. Collins, y J. Belnap. 2006. “Carbon y nitrogen fixation differ between successional stages of biological soil crusts in the Colorado Plateau y Chihuahuan Desert.” *Journal of Arid Environments* 66 4: 620–634.
Doi:10.1016/j.jaridenv.2005.11.014.
- Hueck, H.J. 1965. “The biodeterioration of materials as part of hylobiology.” *Materials und Organism* 1 1: 5–34.
- . 1968. “The biodeterioration of materials – an appraisal.” In *Biodeterioration of Materials*, editado por A. H. Walters y J. S. Elphick, 6–12. London: Elsevier.
- ICAHM-ICOMOS. 1990. “Carta Internacional para la Gestión del Patrimonio Arqueológico.”
- . 2008. “Carta Internacional para la Interpretación y Presentación de Sitios de Patrimonio Cultural.”
- INDEC. 2010. Acceso 3 de febrero del 2016.
<https://redatam.indec.gob.ar/argbin/RpWebEngine.exe/PortalAction?&MODE=MAIN&BASE=CPV2010A&MAIN=WebServerMain.inl>
- Inmaculada, D., y C. Muñoz Matute. 2012. “La cerámica en el conjunto arqueológico de Madinat Al-Zahara: de la recuperación de materiales a su divulgación.” In *II Congreso de Cerámica*, 1–31. La Rambla: Asociación Española de Ciudades de la Cerámica.
- INTA. 1990. *Atlas de suelo de la República Argentina*. Vol. II. Buenos Aires: Instituto nacional de tecnología agropecuaria (INTA).
- Jacobs, P. 1998. “Cleaning: Principles, methods y benefits.” In *Disinfection, sterilization, y antisepsis in healthcare*, editado por William A. Rutala, 165–181. New York: Polyscience Publications.

- Jans, M.M.E. 2008. "Microbial corrosion of bone - a review." In *Current Developments in Bioerosion*, editado por M. Wisshak y L. Tapanila, 397–413. Erlangen Earth Conference. Berlin: Springer.
- Jans, M.M.E., C.M. Nielsen Marsh, C.I. Smith, M.J. Collins, y H. Kars. 2004. "Characterisation of microbial attack on archaeological bone." *Journal of Archaeological Science* 31 1: 87–95. Doi:10.1016/j.jas.2003.07.007.
- Jatzwauk, L., H. Schone, y H. Pietsch. 2001. "How to improve instrument disinfection by ultrasound." *Journal of Hospital Infection* 48: 80–83.
- Jones, A. 2004. "Archaeometry y Materiality: Materials-Based Analysis in Theory y Practice." *Archaeometry* 46 3: 327–338.
- Karbowska-Berent, J., J. Jarmilko, y J. Czuczko. 2014. "Fungi in Fox Spots of a drawing by Leon Wyczółkowski." *Restaur* 35 2: 159–179.
- Kennard, F., y W. Williamson. 1971. "Transverse strength of ball clay." *Bulletin of the American Ceramic Society* 50: 745–748.
- Kerschner, R.L. 2007. "Providing Safe y Practical Environments for Cultural Property in Historic Buildings—and Beyond." In . Tenerife, España: The Getty Conservation Institute. Acceso 6 de junio del 2016.
http://www.getty.edu/conservation/our_projects/science/climate/paper_kerschner.pdf
- Kim, J.S., E. Kuk, K.N. Yu, J.-H. Kim, S.J. Park, H.J. Lee, S.H. Kim, Y.K. Park, Y.H. Park, C.Y. Hwang, Y.K. Kim, Y.S. Lee, D.H. Jeong, y M.H. Cho. 2007. "Antimicrobial effects of silver nanoparticles." *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology y Medicine* 3 1: 95–101. Doi:10.1016/j.nano.2006.12.001.
- Kiurski, J.S., J.G. Ranogajec, A.L. Ujhelji, M.M. Radeka, y M.T. Bokorov. 2005. "Evaluation of the effect of lichens on ceramic roofing tiles by scanning electron microscopy y energy-dispersive spectroscopy analyses." *Scanning* 27 3: 113–119.
- Koestler, R.J., A.E. Charola, M. Wypyski, y J.J. Lee. 1985. "Microbiological induced deterioration of dolomitic y calcitic stone as viewed by scanning electron microscopy." In *Proceedings of the fifth international congress of deterioration y conservation of stone*, 2:149–163. Lausanne: Presses Politechniques Romandes.
- Konsa, K., I. Tirrul, y A. Hermann. 2014. "Wooden objects in museums: Managing biodeterioration situation." *International Biodeterioration & Biodegradation* 86: 165–170.
- Kottek, M., J. Grieser, C. Beck, B. Rudolf, y F. Rubel. 2006. "World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated." *Meteorologische Zeitschrift* 15 3: 259–263.
Doi:10.1127/0941-2948/2006/0130.
- Koziróg, A., A. Otlewska, M. Piotrowska, K. Rajkowska, P. Nowicka Krawczyk, M. Hachułka, G.J. Wolski, B. Gutarowska, A. Kunicka Styczyńska, Z. Libudzisz, Z. Żakowska, y A. Żydzik Białek. 2014. "Colonising organisms as a biodegradation factor affecting historical wood materials at the former concentration camp of Auschwitz II – Birkenau." *International Biodeterioration & Biodegradation* 86: 171–178.
Doi:10.1016/j.ibiod.2013.08.004.
- Kusch, F.M. 1991. "Forma, diseño y figuración en la cerámica pintada y grabada de La Aguada." In *Arte Rupestre en la Arqueología Contemporánea.*, 14–24. Buenos Aires.: Sociedad Argentina de Antropología, Asociación Amigos del Instituto Nacional de Antropología y Pensamiento Latinoamericano.

- Kusch, F.M., y C. Abal. 2006. “El jaguar de las cuatro zonas.” In *La cultura Aguada y su dispersión*, 151–159. San Pedro de Atacama: Universidad Católica del Norte. Instituto de investigaciones arqueológicas y museo.
- Lacayo, T.E. 2002. “Factores de alteración in situ: Conservación preventiva del material arqueológico.” In *Investigaciones Arqueológicas en Guatemala*, editado por J. P. Laporte, H. Escobedo, y B. Arroyo, 453–457. Museo Nacional de Arqueología y Etnología. México.
- Lafón, H.R. 1970. “Climatología.” In *Manual de Historia y Geografía de La Rioja*, II:163–169. La Rioja: Editorial Riojana.
- Lakatos, M., B. Hartard, y C. Máguas. 2007. “The Stable Isotopes $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{18}\text{O}$ of Lichens Can Be Used as Tracers of Microenvironmental Carbon y Water Sources.” In *Terrestrial Ecology*, I: 77–92. Stable Isotopes as Indicators of Ecological Change.
- Lavin, P., S.G. Gómez de Saravia, y P.S. Guiamet. 2014. “An environmental assessment of biodeterioration in document repositories.” *Biofouling* 30: 561–569.
- Lavin, P., S.G. Gómez de Saravia, y P.S. Guiamet. 2015. “*Scopulariopsis* sp. y *Fusarium* sp. in the documentary heritage: evaluation of their biodeterioration ability y antifungal effect of two essential oils.” *Environmental Microbiology* 71 3. Doi:10.1007/s00248-015-0688-2.
- Lazzarini, L., y M. Laurenzi Tabasso. 1986. *Il restauro della pietra*. Pádua: CEDAM.
- Little, B.J., J.S. Lee, y R.I. Ray. 2006. “Diagnosing microbiologically influenced corrosion: a state of the art review.” *Corrosion* 62: 1006–1017.
- Little, M. 2000. “Ceramics y Glass.” In *The winterthur guide to caring for your collection*, editado por Gregory J. Landrey, 57–66. Winterthur Decorative Arts. London: University Press of England.
- Liu, H., S.Y. Chen, J.Y. Guo, P. Su, Y.K. Qiu, C.H. Ke, y D.Q. Feng. 2018. “Effective natural antifouling compounds from the plant *Nerium oleander* y testing.” *International Biodeterioration & Biodegradation* 127: 170–177. Doi:10.1016/j.ibiod.2017.11.022.
- Lowe, C., J. Morello, G. Goldstein, J. Cross, y R. Neuman. 1973. “Análisis comparativo de la vegetación de los desiertos sub tropicales de Norte y Sud-América (Monte-Sonora).” *Ecología* I 1: 35–43.
- Madigan, M.T., J.M. Martinko, P.V. Dunlap, y D.P. Clark. 2009. *Brock Biology of microorganisms*. 12th ed. San Francisco: Pearson Benjamin Cummings.
- Maestre, F.T., M.A. Bowker, Y. Cantón, A.P. Castillo-Monroy, J. Cortina, C. Escolar, A. Escudero, R. Lázaro, y I. Martínez. 2011. “Ecology y functional roles of biological soil crusts in semi-arid ecosystems of Spain.” *Journal of Arid Environments* 75 12: 1282–1291. Doi:10.1016/j.jaridenv.2010.12.008.
- Magaña, H.O., D.M. Grimaldi, y V.M. Meurs. 2001. “La conservación de los materiales arqueológicos durante los procesos de registro, excavación y extracción.” In *Conservación in situ de materiales arqueológicos. Un manual.*, editado por R. Schneider Glantz, 9–18. México: INAH.
- Mager, D.M., y A.D. Thomas. 2011. “Extracellular polysaccharides from cyanobacterial soil crusts: A review of their role in dryland soil processes.” *Journal of Arid Environments* 75 2: 91–97. Doi:10.1016/j.jaridenv.2010.10.001.
- Magnin, L.A., V. Lynch, y R. García. 2017. “Avances en el estudio de biodeterioro asociado a presencia de líquenes en materiales arqueológicos líticos. La Primavera (Santa Cruz, Argentina).” *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* 52 3: 409–422.

- Marcon, P. 2009. "Dissociation." *Canadian Conservation Institute Notes*. Acceso 3 de junio del 2016. <http://canada.pch.gc.ca/eng/1444924113472>.
- Matera, S., A.B. Callegari, y G. Spengler. 2015a. "Hablemos Sobre Patrimonio: Un Proyecto de Educación No Formal en Villa Castelli." In *Estudios de Impacto Ambiental*, 145–172. Buenos Aires: Imprenta Digital.
- Matera, S., G. Spengler, y M. Kergaravat, eds. 2015b. *Estudios de Impacto Ambiental*. Imprenta Digital. Buenos Aires.
- McNamara, C.J., y R. Mitchell. 2005. "Microbial Deterioration of Historic Stone." *Frontiers in Ecology y the Environment* 3 8: 445. doi:10.2307/3868661.
- Michalski, S. 2006. "Preservación de las colecciones." In *Cómo administrar un museo: manual práctico*, 51–90. París: ICOM.
- del Monte, M. 1991. "Trajan's Column: Lichens don't live here anymore." *Endeavour* 15 2: 86–93. Doi:10.1016/S0160-9327(05)80010-9.
- Moreno, P.P., y J.M. Egea. 1992. "Studies on the Anema-Thyrea-Peccania complex from the southeastern Iberian Peninsula y northern Africa." *Acta Botanica Barcinonensia* 41: 1–66.
- Moskal del Hoyo, M., M. Wachowiak, y R.A. Blanchette. 2010. "Preservation of fungi in archaeological charcoal." *Journal of Archaeological Science* 37: 2106–2116.
- Nash III, T. 2008. *Lichenbiology*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Nishiura, T., M. Okabe, y N. Kuchitsu. 1994. "Study on the conservation treatment of Irimizu Sanjusan Kannon - cleaning y protective treatment of a marble Buddha image." *Hozon Kagaku* 33: 67–72.
- Núñez Regueiro, V.A., y M. Tartusi. 2002. "Aguada y el proceso de integración regional." *Estudios Atacameños* 24: 9–19.
- Orton, C. y M. Hughes. 2013. *Pottery in archaeology*. 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press.
- Otlewska, A., J. Adamiak, y B. Gutarowska. 2015. "Clone-based comparative sequence analysis of 16S rRNA genes retrieved from biodeteriorating brick buildings of the former Auschwitz II-Birkenau concentration y extermination camp." *Systematic y Applied Microbiology* 38 1: 48–55. Doi:10.1016/j.syapm.2014.09.003.
- Pannizza, M.C., P.S. Guiamet, F. Oliva, y M.G. Devoto. 2015. "Aproximaciones al estudio de los procesos de deterioro sobre el arte rupestre, las estructuras líticas y las piedras paradas del sistema serrano de Ventania." *Revista de Antropología del Museo de Entre Ríos* 1 1: 32–43.
- Papida, S., W. Murphy, y E. May. 2000. "Enhancement of physical weathering of building stones by microbial populations." *International Biodeterioration & Biodegradation* 46 4: 305–317. Doi:10.1016/S0964-8305(00)00102-5.
- Peacock, D.P.S. 1977. "Ceramics in roman y medieval archaeology." In *Pottery in early commerce*, editado por D. P. S. Peacock, 21–34. London: Academic Press.
- Pena Poza, J., C. Ascaso, M. Sanz, S. Pérez Ortega, M. Oujja, J. Wierzchos, V. Souza-Egipsy, M.V. Cañamares, M. Urizal, M. Castillejo, y M. García Heras. 2018. "Effect of biological colonization on ceramic roofing tiles by lichens y a combined laser y biocide procedure for its removal." *International Biodeterioration & Biodegradation* 126: 86–94. Doi:10.1016/j.ibiod.2017.10.003.
- Pérez de Reynoso, N., S. Di Lorenzo, y L. Capizzi. 2006. "Conservación arqueológica: El caso del sitio La Huerta, Quebrada de Humahuaca, Jujuy, Argentina." *Conserva* 10: 103–116.

- Pfendler, S., F. Borderie, F. Bousta, L. Alaoui Sosse, B. Alaoui Sosse, y L. Aleya. 2018. “Comparison of biocides, allelopathic substances y UV-C as treatments for biofilm proliferation on heritage monuments.” *Journal of Cultural Heritage* 33. Cultural heritage in times of armed conflicts in the Middle East: Much more than material damage? 117–124. Doi:10.1016/j.culher.2018.03.016.
- Pía Falchi, M., y M.A. Torres. 2008. “Los Colorados (Provincia de La Rioja). Un caso de planificación interpretativa.” *Comechingonia* 2: 110–128.
- Piervittori, R., O. Salvadori, y A. Laccisaglia. 1994. “Literature on lichens y biodeterioration of stonework I.” *The Lichenologist* 26 2: 171–192.
- . 1996. “Literature on lichens y biodeterioration of stonework II.” *The Lichenologist* 28 5: 471–483.
- Piervittori, R., O. Salvadori, y D. Isocrono. 1998. “Literature on lichens y biodeterioration of stonework III.” *The Lichenologist* 30 3: 263–277.
- . 2004. “Literature on lichens y biodeterioration of stonework IV.” *The Lichenologist* 36 2: 145–157. Doi:10.1017/S0024282904014136.
- Pietrasiak, N., J.U. Regus, J.R. Johansen, D. Lam, J.L. Sachs, y L.S. Santiago. 2013. “Biological soil crust community types differ in key ecological functions.” *Soil Biology y Biochemistry* 65: 168–171. Doi:10.1016/j.soilbio.2013.05.011.
- Pietrzak, K., A. Otlewska, D. Danielewicz, K. Dybka, D. Pangallo, L. Kraková, A. Puškárová, M. Bučková, V. Scholtz, M. Ďurovič, B. Surma Ślusarska, K. Demnerová, y B. Gutatowska. 2017a. “Disinfection of archival documents using thyme essential oil, silver nanoparticles misting y low temperature plasma.” *Journal of Cultural Heritage* 24: 69–77. Doi:10.1016/j.culher.2016.10.011.
- Pietrzak, K., A. Otlewska, M. Puchalski, B. Gutarowska, y P. Guiamet. 2016. “Antimicrobial properties of silver nanoparticles against biofilm formation by *Pseudomona aeruginosa* on archaeological textiles.” *Applied Environmental Biotechnology* 1 2: 1–9. Doi:10.18063/AEB.2016.02.001.
- Pietrzak, K., M. Puchalski, A. Otlewska, H. Wrzosek, P. Guiamet, M. Piotrowska, y B. Gutarowska. 2017b. “Microbial diversity of pre-Columbian archaeological textiles y the effect of silver nanoparticles misting disinfection.” *Journal of Cultural Heritage* 23: 138–147. Doi:10.1016/j.culher.2016.07.007.
- Pingarrón, L.B., A. Ortiz Butrón, y A. Pecci. 2014. Los residuos químicos. Indicadores arqueológicos para entender la producción, preparación y consumo de alimentos en mesoamérica. *Anales de Antropología* 48 1: 201–239.
- Pinzari, F., M. Montanari, A. Michaelsen, y G. Piñar. 2010. “Analytical protocols for the assessment of biological damage in historical documents.” *Coalition* 19: 6–13.
- Piñar, G., C. Pointner, H. Tafer y K. Sterfingler. 2019. A time travel story: metagenomic analyses decipher the unknown geographical shift and the storage history of possibly smuggled antique marble statues. *Annals of Microbiology, en prensa*. Doi: 10.1007/s13213-019-1446-3
- Postgate, J.R. 1979. *The Sulphate Reducing Bacteria*. Cambridge: CUP Archive.
- Puertas, F., M.T. Blanco, A. Palomo, X. Ariño, C. Saiz Jiménez, y J.J. Ortega Calvo. 1995. “Characterization of mortar from Italica mosaics : causes of deterioration.” In *Proceedings of the 5th Conference of the International Committee for the Conservation of Mosaics*, 197–202. Conimbriga.

- Puertas, F., M.T. Blanco-Varela, A. Palomo, J.J. Ortega Calvo, X. Ariño, y C. Saiz Jiménez. 1994. "Decay of Roman y repair mortars in mosaics from Italica, Spain." *Science of The Total Environment* 153 1–2: 123–131.
- Radeka, M.M., J. Ranogajec, J. Kiurski, S. Markov, y R. Marinković Nedučin. 2007. "Influence of lichen biocorrosion on the quality of ceramic roofing tiles." *Journal of the European Ceramic Society* 27 2–3: 1763–1766. Doi:10.1016/j.jeurceramsoc.2006.05.001
- Rai, M., A. Yadav, y A. Gade. 2009. "Silver nanoparticles as a new generation of antimicrobials." *Biotechnology Advances* 27 1: 76–83. Doi:10.1016/j.biotechadv.2008.09.002
- Rajkowska, K., A. Otlewska, A. Koziróg, M. Piotrowska, P. Nowicka-Krawczyk, M. Hachułka, G.J. Wolski, A. Kunicka-Styczyńska, B. Gutarowska, y A. Zydzik-Białek. 2014. "Assessment of biological colonization of historic buildings in the former Auschwitz II-Birkenau concentration camp." *Annals of microbiology*. 64: 799–808. Doi:10.1007/s13213-013-0716-8
- Rakotonirainy, M.S., y B. Lavédrine. 2005. "Screening for antifungal activity of essential oils y related compounds to control the biocontamination in libraries y archives storage areas." *International Biodeterioration & Biodegradation* 55 2: 141–147. Doi:10.1016/j.ibiod.2004.10.002.
- Raphael, T. 2009. *Guía de Preservación de Colecciones. Una introducción al Cuidado de Colecciones para Museos Comunitarios*. Canadá: Fundación Interamericana de Cultura y Desarrollo - ICCROM.
- Ratto, N. 2007. "Arqueología y evaluación del impacto ambiental." XAMA.
- Raveendran, T.V., V.P. Limna Mol, y P.S. Parameswaran. 2011. "Natural Product Antifoulants from the octocorals of Indian waters." *International Biodeterioration & Biodegradation* 65 1: 265–268. Doi:10.1016/j.ibiod.2010.11.013.
- Regairaz, C. 2000. "Suelos de La Rioja." In *Catálogo de recursos humanos e información relacionada con la temática ambiental en la región Andina Argentina. Caracterización general y estudios temáticos por provincia*. Mendoza: CONICET-Mendoza. Acceso 13 de mayo del 2017. <https://www.mendoza-conicet.gov.ar/ladyot/catalogo/cdandes/cap01.htm>.
- Reichert, M. 1997. "Preparation of supplies for terminal sterilization." In *Sterilization technology for the health care facility*, 36–50. Gaithersburg: Aspen Publication.
- Reyes, C. 1918. "Las dos pretendidas culturas precolombinas de Chañarmuyo: túmulos y tinajas." *Revista de Derecho, Historia y Letras*.
- Rice, P.M. 2015. *Pottery analysis: a sourcebook*. Chicago: University of Chicago Press.
- Ritacco, M. 2005. "Radioinfección de bienes culturales y religiosos." *Revista Digital Nueva Museología*. Acceso 13 de mayo del 2017. www.nuevamuseologia.com.ar.
- Robinson, G. 1968. "Design of clay bodies for controlled microestructure." *Bulletin of the American Ceramic Society* 47: 477–480.
- Rodríguez, G.M. 2011. "Las personas, los campos y el espacio que los une. Estimaciones demográficas y su relación con los espacios productivos agrícolas del sitio Aguada La Cuestecilla, Depto. de Famatina, La Rioja." Buenos Aires: Facultad de Filosofía y Letras, Universidad de Buenos Aires.
- Rogério Candellera, M.A., V. Jurado, L. Laiz, y C. Saiz Jiménez. 2011. "Laboratory y in situ assays of digital image analysis based protocols for biodeteriorated rock y mural paintings recording." *Journal of Archaeological Science* 38 10: 2571–2578.

- Root, H.T., y B. McCune. 2012. "Regional patterns of biological soil crust lichen species composition related to vegetation, soils, y climate in Oregon, USA." *Journal of Arid Environments* 79: 93–100. Doi:10.1016/j.jaridenv.2011.11.017.
- Rosa, H. 2000. "El Clima." In *Catálogo de recursos humanos e información relacionada con la temática ambiental en la región Andina Argentina. Caracterización general y estudios temáticos por provincia*. Mendoza: CONICET-Mendoza. Acceso 13 de mayo del 2017. <https://www.mendoza-conicet.gov.ar/ladyot/catalogo/cdandes/cap01.htm>.
- Rosa, H., y M. Maimani. 2000. "Geomorfología de La Rioja." In *Catálogo de recursos humanos e información relacionada con la temática ambiental en la región Andina Argentina. Caracterización general y estudios temáticos por provincia*. Mendoza: CONICET-Mendoza. <https://www.mendoza-conicet.gov.ar/ladyot/catalogo/cdandes/cap01.htm>.
- Russell, A.D. 2001. "Principles of antimicrobial activity y resistance." In *Disinfection, sterilization, y preservation*, editado por S. S. Bloack, 31–55. Filadelfia: Lippincott Williams & Wilkins.
- . 2004. "Factors influencing the efficacy of germicides." In *Disinfection, sterilization y antisepsis: Principles, practices, challenges, y new research*, editado por William A. Rutala, 162–172. Washington: Association for Professionals in Infection Control y Epidemiology.
- Russell, A.D., W.B. Hugo, y G.A.J. Ayliffe. 1999. *Principles y Practice of Disinfection, Preservation y Sterilization*. Oxford: Blackwell Scientific Publications.
- Russell, A.D., y N.J. Russell. 1995. "Biocides: activity, action y resistance." In *Fifty years of antimicrobials: past perspectives y future trends*, editado por P. A. Hunter, G. K. Darby, y N. J. Russell, 327–365. Cambridge: Cambridge University Press.
- Rutala, W.A., y K.M. Shafer. 1996. "General information on cleaning, disinfection, y sterilization." In *APIC infection control y applied epidemiology: principles y practice*, editado por J. A. Pfeiffer, 1–15. St. Louis: Mosby.
- Rutala, W.A., y D.J. Weber. 2017. *Guideless for disinfection*. North Caroline: Healthcare Infection Control Practices Advisory Committee (HICPAC).
- Saiz Jiménez, C., y X. Ariño. 1995. "Colonización biológica y deterioro de morteros por organismos fotótrofos." *Materiales de Construcción* 45: 5–16.
- Sánchez del Junco, A., D.A. Moreno, C. Ranninger, J.J. Ortega-Calvo, y C. Sáiz Jiménez. 1992. "Microbial Induced Corrosion of Metallic Antiquities y Works of Art: a Critical Review." *International Biodeterioration & Biodegradation* 29: 367–375.
- Sasso, S., A.Z. Miller, M.A. Rogerio Candelera, B. Cubero, M.L. Coutinho, L. Scrano, y S.A. Bufo. 2016. "Potential of natural biocides for biocontrolling phototrophic colonization on limestone." *International Biodeterioration & Biodegradation* 107: 102–110. doi:10.1016/j.ibiod.2015.11.017.
- Satheesh, S., M.A. Ba akdah, y A.A. Al Sofyani. 2016. "Natural antifouling compound production by microbes associated with marine macroorganisms — A review." *Electronic Journal of Biotechnology* 21: 26–35. Doi:10.1016/j.ejbt.2016.02.002.
- Schiffer, M.B. 1983. "Toward the identification of formation processes." *American Antiquity* 48 4: 675–706.
- . 1987. *Formation Processes of the Archaeological Record*. Utah: University of Utah Press.
- . 1990. "Contexto arqueológico y contexto sistémico." *Boletín de Antropología Americana* 22: 81–93.

- Schultz, M. 2009. "An overview of *Lichinella* in the Southwestern United States y Northwestern Mexico, y the new species *Lichinella granulosa*." *Bryologist* 108: 567–590.
- Schultz, M., y B. Büdel. 2002. "Key to the genera of the *Lichinaceae*." *The Lichenologist* 34 1: 39–62. Doi:10.1006/lich.2001.0367.
- Seaward, M. 1988. "Lichen damage to ancient monuments: a case study." *Lichenologist* 20 3: 291–295.
- . 2004. "Lichens as Subversive Agents of Biodeterioration." In *Biodeterioration of stone surfaces: lichens y biofilms as weathering agents of rocks y cultural heritage*, 9–18. España: Springer Netherlands.
- Seaward, M., C. Giacobini, M.R. Giuliani, y A. Roccardi. 1989. "The role of lichens in the biodeterioration of ancient monuments with particular reference to central Italy." *International Biodeterioration* 25 1–3: 49–55. Doi:10.1016/0265-3036(89)90028-6.
- Sempé, C.M. 1980. "Caracterización de la cultura Abaucán (Dto. Tinogasta. Catamarca)." *Revista del Museo de La Plata*. 8 52: 73–85.
- . 1999. "La fase Punta Colorada-Guanchín en el Valle de Abaucán." In *Actas del XII Congreso Nacional de Arqueología Argentina*, 2:116–120. La Plata.
- Sillar, B., y M. Tite. 2000. "The Challenge of Technological Choices for Materials Science Approaches in Archaeology." *Archaeometry* 42 1: 2–20.
- Silver, C.S., y R. Wolbers. 2004. "Lichen Encroachment onto Rock Art in Eastern Wyoming: Conservation Problems y Prospects for Treatment." In *Biodeterioration of Stone Surfaces*, editado por Larry L. St.Clair y Mark R. D. Seaward, 115–128. Dordrecht: Springer Netherlands.
- Skibo, J.M., y M.B. Schiffer. 1987. "The effects of water on processes of ceramic abrasion." *Journal of Archaeological Science* 14: 83–96.
- Sneath, P., M. Mair, y M. Sharpe. 1986. *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*. 1st ed. Vol. 2. Baltimore: Williams & Wilkins.
- Sneath, P., M. Mair, M. Sharpe, y J. Holt. 2001. *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*. 2nd ed. Vol. 2. Baltimore: Williams & Wilkins.
- Soil Survey Staff, ed. 1975. *Soil Taxonomy, Agriculture Handbook*. Vol. 436. Washington: Gobierno de los Estados Unidos.
- Somonte, C., S. Hocsman, Á.R. Martel, y M. Pilar Babot. 2004. "Procesos de formación en un sitio a cielo abierto: Campo Blanco (Dpto. Tañi del Valle, provincia de Tucumán)." *Chungara. Revista de Antropología Chilena* 36 Edición Especial 2: 983–995.
- Soto, D.M. 2015. "Deterioro de fragmentos cerámicos por la acción de líquenes." In *Arqueometría argentina. Metodologías científicas aplicadas al estudio de los bienes culturales. Datación, caracterización, prospección y conservación*, editado por Adrián Piffereti y Irene Dotzal, 207–220. Buenos Aires: Aspha.
- Soto, D.M., P. Batistoni, y P. Guamet. 2016. "Estudio del biodeterioro en la cerámica arqueológica del valle de Antinaco central, La rioja, Argentina." *Investigación Joven* 3 2: 113–115.
- Soto, D.M., y P.S. Guamet. 2017. "Aplicabilidad de la conservación preventiva a la cerámica arqueológica impactada por biodeterioro." *Cuadernos del Instituto de Antropología y Pensamiento Latinoamericano - Series Especiales* 5 2: 71–90.
- Soto, D.M., P.S. Guamet, y A.B. Callegari. 2017. "Biodeterioro de cerámica arqueológica de superficie por microorganismos de climas áridos y semi-áridos en el valle central de

- Antinaco, La Rioja.” En *Investigaciones Arqueométricas: técnicas y procesos*, editado por Anna Rochetti, Flavio Rivero, y Denis Reinoso, 121–137. CABA: Aspha.
- Souza Egipsy, V., C. Ascaso, J. Wierzchos, y J.V. García Ramos. 2002. “Chemical y ultrastructural features of the lichen–volcanic/sedimentary rock interface in a semiarid region (Almeria, Spain).” *The Lichenologist* 34 2: 155–167. Doi:10.1006/lich.2001.0371.
- St. Clair, L.L., y M. Seaward. 2004. *Biodeterioration of stone surfaces: lichens y biofilms as weathering agents of rocks y cultural heritage*. España: Springer Netherlands.
- Sterflinger, K., y G. Piñar. 2013. “Microbial deterioration of cultural heritage y works of art — tilting at windmills?” *Applied Microbiology & Biotechnology* 97: 9637–9646. Doi:10.1007/s00253-013-5283-1.
- Strang, T.J.K. 1992. “A Review of Published Temperatures for the Control of Pest Insects in Museums.” *Collection Forum* 8 2.
- . 1996. “Preventing Infestations: Control Strategies y Detection Methods.” *Canadian Conservation Institute Notes*. <https://www.canada.ca/en/conservation-institute/services/conservation-preservation-publications/canadian-conservation-institute-notes.html>.
- Strang, T.J.K., y R. Kigawa. 2009. *Combating Pests of Cultural Property*. Technical Bulletin 29. Canadá: Canadian Conservation Institute.
- Strzelczyk, A.B. 1981. “Microbial biodeterioration: stone.” In *Economic Microbiology*, editado por A. H. Rose, 6:62–80. London: Academic Press.
- Strzelczyk, A.B., L. Banach, y A. Kuroska. 1997. “Biodeterioration of archaeological leather.” *International Biodeterioration & Biodegradation* 39 4: 301–309.
- Suárez, y Suárez. 1970. “Recursos hídricos.” In *Manual de Historia y Geografía de La Rioja, II: La Rioja*: Editorial Riojana.
- Szewczyk, B., L. Hoyos-Carvajal, M. Paluszek, I. Skrzecz, y M. Lobo de Souza. 2006. “Baculoviruses — re-emerging biopesticides.” *Biotechnology Advances* 24 2: 143–160. Doi:10.1016/j.biotechadv.2005.09.001.
- Szulc, J., W. Urbaniak-Domagala, W. Machnowski, H. Wrzosek, K. Łacka, y B. Gutarowska. 2018. “Low temperature plasma for textiles disinfection.” *International Biodeterioration & Biodegradation* 131. Biodeterioration of Cultural Heritage – modern approach to risk assessment y protection: 97–106. Doi:10.1016/j.ibiod.2017.01.021.
- Tineo, A., y F.G. Aceñalozza. 1970. “Geografía y relieve.” In *Manual de Historia y Geografía de La Rioja, II*:133–159. La Rioja: Editorial Riojana.
- Turner, J.C. 1971. *Descripción geológica de la hoja 15 d. Famatina. Provincia de La Rioja*. Vol. 126. Buenos Aires: Dirección Nacional de Geología y Minería.
- UNESCO. 1972. “Convención sobre la protección del Patrimonio Mundial Cultural y Natural.”
- Urzì, C., F. De Leo, L. Krakova, D. Pangallo, y L. Bruno. 2016. “Effects of biocide treatments on the biofilm community in Domitilla’s catacombs in Rome.” *Science of the Total Environment* 572: 252–262. Doi:10.1016/j.scitotenv.2016.07.195.
- Vaillant Callol, M. 2013. *Biodeterioro del patrimonio histórico documental. Alternativas para su erradicación y control*. Rio do Janeiro: Museu do Astronomia e Ciências Afins, Fundación Casa do Rui Barbosa.
- Valgañón, V. 2008. *Biología aplicada a la conservación y restauración*. España: Síntesis.
- Varela, O., M.F. Parralo, y S.E. Buedo. 2015. “Diversidad de plantas vasculares del valle de Antinaco-Los Corados, La Rioja, Argentina.” *Boletín de Sociedad Argentina de Botánica* 50 3: 385–411.

- Videla, H., P. Guimet, y S.G. de Saravia. 2000. "Biodeterioration of Mayan archaeological sites in the Yucatan Peninsula, Mexico." *International Biodeterioration & Biodegradation* 46 4: 335–341. Doi:10.1016/S0964-8305(00)00106-2.
- Videla, H.A. 2001. "Deterioro atmosférico y deterioro microbiológico del patrimonio cultural Iberoamericano." In *Preservación y protección del patrimonio cultural iberoamericano del biodeterioro ambiental memorias*, 31–47. La Plata: CYTED.
- Videla, H.A., P.S. Guimet, S.G. Gómez de Saravia, L.K. Herrera, C. Arroyave, y D. Poiré. 2003. "Assessment of microbiological y atmospheric effects on rock decay." *Corrosion/2003*: 3571.
- Villalba, L.S., y A. Malagón Forero. 2011. "Biodeterioro de la fuente de lavapatas, parque arqueológico de San Agustín-Huila. Colombia." *Ge-Conservación* 2: 65–80.
- Vuorinen, A., S. Mantere Alhonen, R. Uusinoka, y P. Alhonen. 1981. "Bacterial weathering of Rapakivi granite." *Geomicrobiology Journal* 2: 317–325.
- Wachsmann, N. 2019. Informe sobre la experimentación realizada a partir de la réplica del Horno 10 del Grupo 9 del sitio La Cuestecilla (MS).
- Waller, R.R., y P.S. Cato. 2009. "Dissociation." *Canadian Conservation Institute Notes*. Acceso 13 de junio del 2017. <http://canada.pch.gc.ca/eng/1444924574622>.
- Ward, I., y P. Larcombe. 2003. "A process-orientated approach to archaeological site formation: application to semi-arid Northern Australia." *Journal of Archaeological Science* 30 10: 1223–1236. Doi: 10.1016/S0305-4403(02)00253-4.
- Warscheid, T., y J. Braams. 2000. "Biodeterioration of stone: a review." *International Biodeterioration & Biodegradation* 46 4. Biodeterioration of Cultural Property 2, Part 2: 343–368. Doi: 10.1016/S0964-8305(00)00109-8.
- Wiessner, P. 1988. "Style y changing relations between the individual y society." In *The meanings of things: Material culture y symbolic expressions*, 56–62. Ian Hodder. One World Archaeology 6. England: Routledge.
- . 1990. "Is there a unity to style?" In *The uses of style in archaeology*, 105–112. Cambridge: Cambridge University Press.
- Zambrano, J., y E. Torres. 2000. "Hidrogeología de la provincia de La Rioja." In *Catálogo de recursos humanos e información relacionada con la temática ambiental en la región Andina Argentina. Caracterización general y estudios temáticos por provincia*. Mendoza: CONICET-Mendoza. Acceso 13 de mayo de 2017. <https://www.mendoza-conicet.gob.ar/ladyot/catalogo/cdandes/cap01.htm>.
- Zucconi, L., M. Gagliardi, D. Isola, S. Onofri, M.C. Andaloro, C. Pelosi, P. Pogliani, y L. Selbmann. 2012. "Biodeterioration agents dwelling in or on the wall paintings of the Holy Saviour's cave (Vallerano, Italy)." *International Biodeterioration & Biodegradation* 70: 40–46. Doi:10.1016/j.ibiod.2011.11.018.