

MUESTREO MICROBIOLÓGICO DE SUPERFICIE APLICADO AL CONTROL DE BIODIVERSIDAD FUNCIONAL AL DESARROLLO DE BIOTECNOLOGÍAS APLICADAS AL PATRIMONIO MURAL ARQUEOLÓGICO MEXICANO

Tanja Mastroiacovo¹, Pilar Soriano Sancho², José Luis Regidor Ros²

¹ Universidad Autónoma de San Luis Potosí

² Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio de la Universitat Politècnica de València.

Autor de contacto: Tanja Mastroiacovo, tanmas@uaslp.mx

RESUMEN: *El uso de biotecnologías en el campo de la conservación y restauración de bienes culturales representa uno de los focos de investigación más innovadores del sector. La incidencia de los factores limitantes, capaces de inhibir o favorecer la acción de los microorganismos, representa una de las variables a tomar en cuenta a la hora de aplicar exitosamente unas herramientas biológicas. La posible aplicación de biotecnologías para la conservación del patrimonio mural arqueológico mexicano representa un verdadero reto en este sentido, debido a la variedad material, climática y temporal de las pinturas murales producidas en la época prehispánica. En este trabajo se presenta el diseño metodológico propuesto para la determinación de los casos de estudio y el proceso de muestreo microbiológico de superficie a aplicarse a escala nacional en la república Mexicana, con el objetivo de proporcionar un estudio altamente representativo de la microbiota existente en relación a diferentes contextos, que pueda proporcionar herramientas útiles a la implementación de las biotecnologías en el campo de la conservación del patrimonio mural arqueológico.*

PALABRAS CLAVE: muestreo microbiológico, biotecnología, arqueología, pintura mural, metodología

1. INTRODUCCIÓN

A lo largo del siglo XX se han llevado a cabo varios estudios funcionales para comprender causas, mecanismos y efectos los diferentes agentes de deterioro (Franco, Gisbert, Navarro, & Mateos, 2002).

Entre los aspectos más profundizados en la conservación del patrimonio mural son numerosos los estudios dirigidos a determinar las metodologías más idóneas para la eliminación de sustancias ajenas del sustrato, derivadas de la contaminación ambiental o de intervenciones anteriores (Castilla, 2010).

El patrimonio mural arqueológico mexicano está expuesto a varias fenomenologías de deterioro por lo que representa un terreno fértil para el desarrollo e implementación de nuevas tecnologías funcionales a su conservación, en el total respeto de los materiales originales. Entre las opciones ofrecidas por los últimos avances de las investigaciones internacionales se propone el estudio de las posibilidades aplicativas de las *biotecnologías*¹, en donde unos microorganismos seleccionados actúan de forma altamente específica y selectiva metabolizando únicamente las sustancias ajenas al sustrato, además de ser compatibles con el medio ambiente ya que no generan algún tipo de contaminación o productos secundarios dañinos.

El desarrollo de esta investigación encuentra su fundamentación en la variedad técnica y material de la

pintura mural prehispánica, conformada por materiales inorgánicos y por un amplio abanico de materiales orgánicos, entre los cuales destacan los mucílagos vegetales empleados como aditivos y los colorantes usados como paleta cromática. Estas particularidades tecnológicas representan factores determinantes en la elección, diseño y aplicación de los métodos de conservación e intervención de acuerdo a las características materiales y climáticas de la república mexicana y a la hora de establecer pautas metodológicas estándar a nivel nacional.

2. OBJETIVOS

2.1 Generales

Determinar un diseño metodológico para llevar a cabo un muestreo microbiológico de superficie a aplicarse a escala nacional en la república Mexicana, que contemple las variables técnicas, materiales, temporales y ambientales presentes.

2.2 Específicos

- Determinar los casos de estudio a escala nacional representativos de las características técnicas, materiales, temporales y conservativas de las pinturas murales arqueológicas.

- Determinar una metodología de muestreo microbiológico de superficie funcional al estudio de los microorganismos presente en relación a las posibles características del sustrato.

2.1. Casos de estudio

El patrimonio mural arqueológico mexicano se caracteriza por una gran riqueza y diversidad técnica, artística y material (Boletín Informativo de La Pintura Mural Prehispánica, 2004) siendo numerosos los sitios arqueológicos que actualmente resguardan testigos de esta extraordinaria expresión cultural que caracterizó parte de la producción artística de la época prehispánica (figura 1 y 2).



Figura 1 –Estructura I, cuarto 3. Bonampak (Chiapas). Foto: National Geographic Society.



Figura 2 – Las diosas verdes o diosas de jade. Tetitla. Zona arqueológica de Teotihuacán (E.do de México). Foto: Marco Antonio Pacheco/Raíces.

Debido a la gran extensión territorial de México, las características tecnológicas de cada área representan un caso de estudio único. En relación a distintas variables cuales recursos naturales geológicos del entorno, rutas comerciales, influencias culturales y desarrollo técnico de los centros de producción artística se registra un amplio abanico de materiales y técnicas, interesados por problemáticas comunes.

La composición material de las pinturas murales realizadas durante la época prehispánica se caracteriza por el empleo de técnicas al fresco, en seco y mixtas, sobre diferentes enlucidos compuestos por cal, arena y arcillas entre otros (Diana Magaloni Kerpel, n.d.; Falcón- & Magaloni, n.d.; Kerpel, n.d.). Uno de los factores que inciden de forma negativa sobre su conservación es el deterioro ocasionado por sales.

Debido a lo anterior se propone el estudio de los fenómenos de deterioro y la actualización del estado de conservación de diferentes pinturas ubicadas en varias zonas de la república de acuerdo a un criterio de selección que refleje diferencias de contexto climático, área cultural, época histórica y peculiaridades técnicas.

Se seleccionaron varios ejemplos de pintura mural, de acuerdo a las áreas culturales que conservan testigos de pinturas murales con el objetivo de determinar las variables técnico-materiales presentes en el territorio, el criterio de selección de los casos de estudio propuesto respondió a elementos cuales temporalidad y ubicación entre otros, con el fin de abarcar lapsos de tiempo amplios y zonas con características geoclimáticas diferentes. De acuerdo a lo descrito el diseño experimental del muestreo microbiológico de superficie se vuelve indispensable a la hora de contemplar un análisis de la población de microorganismos presentes de acuerdo a las diferentes condiciones y sustratos.

3. METODOLOGÍA

3.1. Selección de los casos de estudio

La selección de los sitios se ha llevado a cabo sobre bases bibliográficas, quedando abierta a la incorporación de otros sitios arqueológicos, interesados a someter a investigación las problemáticas de alteración y deterioro que están afectando las pinturas murales.²

Las variables tomadas en cuenta a la hora de elegir las obras han sido:

- Características técnicas y materiales representativas del área cultural de pertenencia.
- Temporalidad.
- Ubicación geográfica y contexto climático.

3.3 Diseño de metodología de muestreo superficial

Las variables a tomar en cuenta al momento de realizar un muestreo biológico de superficie se relacionaron con los factores que facilitan o inhiben el desarrollo de los microorganismos.

Los factores que influyen en el desarrollo de determinadas especies de microbiota son representados por actividad del agua (*aw*), temperatura, humedad relativa, composición de la atmósfera, disponibilidad de nutrientes (orgánicos o inorgánicos), el pH, el factor de óxido-reducción (*Eh*), la composición química del sustrato, la presencia de sustancias antimicrobianas (naturales o artificiales) y/o de microbiota competitiva (tabla 1) (Ng, et al., 2016).

Éstos factores se pueden clasificar en intrínsecos y extrínsecos, de acuerdo a su pertenencia con los materiales constitutivos de la pintura mural o con el contexto en la que se conserva³ (tabla 2).

Tabla 1. Título de la tabla

FACTORES LIMITANTES	
INTRÍNSECOS	EXTRÍNSECOS
Composición del material (pintura mural)	Característicos del contexto (ambiente de conservación)
<ul style="list-style-type: none"> aw Tª superficie (Cº) Nutrientes pH Eh Composición química Microbiota competitiva Sustancias antimicrobiota 	<ul style="list-style-type: none"> HR (%) Tª aire (Cº) CO₂ O₂ Contaminantes Materiales orgánicos UV

4. RESULTADOS

4.1. Selección de los casos de estudio

Los casos de estudio (tabla 2) propuestos en esta primera instancia (figura 3), se refieren a:

Tabla 2. Título de la tabla

ÁREA	Nº	SITIO ARQUEOLÓGICO	ESTADO
Costa del Golfo	1	Tamohí o El Consuelo	San Luis Potosí
	2	El Tajín	Veracruz
	3	Las Higueras	Veracruz
Altiplano central	4	Teotihuacán	Estado de México
	5	Cacaxtla	Tlaxcala
Oaxaca	6	Cerro de la campana o Huijazoo	Oaxaca
	7	Monte Albán	Oaxaca
Maya	8	Bonampak	Chiapas
	9	Tulum	Quintana Roo



Figura 3. Mapa climático de la República mexicana: casos de estudio seleccionados según criterios de técnicas, materiales, área cultural de pertenencia, temporalidad y contexto geoclimático. Elaborado por T.M., a partir de De Alba (1976).

4.2. Diseño de metodología de muestreo superficial

De acuerdo a la composición y estructura característica de una pintura mural, muchos de los factores que facilitan o inhiben el desarrollo de los microorganismos se encuentran en el sustrato de los materiales originales de la obra y en su contexto ambiental (tabla 3).

A ejemplo de ello se pueden citar los elementos metálicos que constituyen los pigmentos minerales empleados en la película pictórica, las sustancias orgánicas de diferente naturaleza empleadas como aditivos, aglutinantes o en intervenciones anteriores de restauración, y las sales minerales derivadas de la presencia de humedad en la estructura, sea por filtración, sea por succión capilar.

Tabla 3. Posibles factores limitantes del desarrollo microbiológico presente en una pintura mural.

FACTORES LIMITANTES		
INTRÍNSECOS		
<i>Eh</i>		
M+	Presencia de elementos metálicos con diferente potencial REDOX	A. Pigmentos (película pictórica), materiales inorgánicos (soporte) B. Productos de alteración (contaminación salina,

		productos derivados de la reacción con el sustrato con agentes o materiales externos)
Composición química		
C	Presencia de carbohidratos complejos: polisacáridos (almidón, celulosa) - Grasas, aceites	A. Aglutinantes y aditivos de la película pictórica y/o de la capa de preparación; B. Materiales ajenos de intervenciones anteriores
N	Aminoácidos, nucleótidos, péptidos, proteínas, compuestos hidrogenados	A. Aglutinantes y aditivos de la película pictórica y/o de la capa de preparación; B. Materiales ajenos de intervenciones anteriores
Sales minerales	Función participativa en las reacciones enzimáticas: Na, Mg, K, Ca	A. Pigmentos (película pictórica), materiales inorgánicos (soporte) B. Productos de alteración (contaminación salina, productos derivados de la reacción con el sustrato con agentes o materiales externos)

Tras una revisión general de los materiales constitutivos y de los posibles fenómenos de alteración y deterioro, la casuística de materiales presentes en las pinturas murales arqueológicas puede presentar variables cuales la presencia de áreas con incidencia de luz directa, áreas en sombra, zonas con presencia de humedad, franjas interesadas por contaminación salina y elementos que han sido intervenidos por medio de la aplicación de sustancias orgánicas, con partes estables y áreas interesadas por fenómenos de alteración (figura 4).

ÁREA DE MUESTREO MICROBIOLÓGICO DE SUPERFICIE - PINTURA MURAL
"El Cerro de la Campana, Sachilquittingo - Oaxaca"
tumba 5, cámara funeraria, muro oeste
registro superior: detalle
(ilustración T.Mastroiaco 2012, modificado de P.Ángels, E.Fañals, 1999)

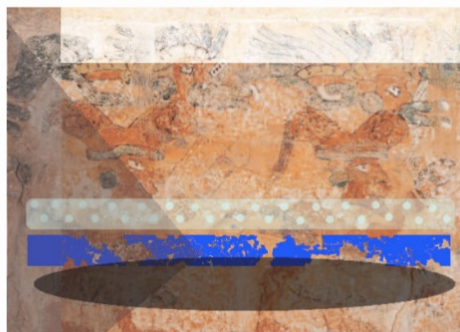


Figura 4. Casuística de alteraciones y deterioro posiblemente desarrollados en el contexto de una pintura mural arqueológica.

Aunando las diferentes variables representada por los factores limitantes, composición del sustrato y contexto climático-ambiental, es necesario establecer un número de muestras de superficie funcional a la gestión de los datos a nivel estadístico (tabla 3) que sea altamente representativo de la población microbiana presente en cada manufacto.

Tabla 4. Posibles factores limitantes del desarrollo microbiológico a tomar en consideración a la hora de realizar un muestreo microbiológico.

ÁREA	FACTORES LIMITANTES A CONSIDERAR		
	P1	P2	P3
Pigmentos			
PP ESTABLE	Sustrato testigo, Eh, M+		
PP ALTERADA	pH, productos de alteración, Eh, M+		
PP LUZ DIRECTA	Influencia de UV, IR, T°, productos de alteración del sustrato (deterioro compuestos orgánicos o pigmentos), Eh, M+		
PP CON HUMEDAD	aw, nutrientes, Eh, M+		
PP CON SALES	Sales minerales, productos de alteración del sustrato, Eh, M+		
PP CON RESTOS ORGÁNICOS	Nutrientes, Eh, M+		

En relación a los factores intrínsecos presentados, los datos obtenidos se cruzarán con las variables ambientales (temperatura, humedad relativa, clima, ubicación geográfica) y con características estructurales del contexto arquitectónico⁴.

Dependiendo del estado de conservación del mural, y de la exposición a los agentes eternos (humedad en la estructura, insolación, gradientes térmicos, etc.) las variables citadas pueden disminuir.

Para el manejo de las informaciones a nivel estadístico y la delimitación de los recursos necesarios a la identificación de las pinturas murales, para cada mural se seleccionarán tres pigmentos diferentes de acuerdo a las peculiaridades técnicas de cada área cultural y geográfica con el objetivo de determinar la influencia ejercida por los diferentes iones metálicos (M+, Eh) presentes en la composición química en sustratos representativos de la posible casuística material y técnica⁵.

Cada pigmento será seleccionado según su incidencia en términos de presencia y representatividad del área.

5. CONCLUSIONES

La posible aplicación de biotecnologías para la conservación del patrimonio mural arqueológico mexicano representa un verdadero reto debido a la variedad material, climática y temporal de las pinturas murales producidas en la época prehispánica. En este trabajo se presentó una propuesta para la formulación de un diseño metodológico funcional a la determinación de unos casos de estudio representativos de las propiedades y característica de los murales, y para la definición de un proceso de muestreo microbiológico de superficie a aplicarse a escala nacional. El objetivo fue el de proporcionar lineamientos y dinámicas de estudio que fueran altamente representativos de los microorganismos existente en relación a los diferentes factores citados, de acuerdo a las variables consideradas.

El diseño de los supuestos conceptuales y teóricos necesarios al desarrollo de esta primera fase de investigación ha puesto de manifiesto las numerosas casuística, y variables a las que se enfrenta un conservador en la tarea de preservación de estos importantes legados culturales, hecho que complica la

delimitación de los casos de estudio y los posibles alcances del proyecto.

Debido a los numerosos factores que inciden en el desarrollo de microorganismos ha sido necesario establecer un número límite de muestreo, finalmente determinado en tres muestras⁶, ya que las informaciones recaudadas serán seleccionadas y gestionadas a nivel estadístico según su incidencia.

Para concluir, en un entorno social, cultural y material tan variado como es el caso de la producción muralista prehispánica, es deber de los profesionales del sector proponer técnicas y metodologías a la vanguardia, capaces de brindar apoyo a las tareas de conservación del patrimonio en total respeto con los materiales originales y el ambiente. El desarrollo de las biotecnologías, de acuerdo a los posibles límites derivados de la variedad de climas y materiales presentes en México representa una de las posibles herramientas para la salvaguarda de este extraordinario legado histórico, artístico y cultural.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo y las asesorías brindados en la recaudación de informaciones sobre pinturas murales arqueológicas por Karla M. Castro Chong y Becket Lailson Tinoco.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alfano, G., Lustrato, G., Belli, C., Zanardini, E., Cappitelli, F., Mello, E., ... Ranalli, G. (2011). The bioremoval of nitrate and sulfate alterations on artistic stonework: The case-study of Matera Cathedral after six years from the treatment. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 65(7), 1004–1011. <http://doi.org/10.1016/j.ibiod.2011.07.010>
- Bosch Roig, P., Regidor Ros, J. L., Soriano Sancho, P., Teresa, D. C. M., & Montes Estellés, R. (2010). Ensayos De Biolimpieza Con Bacterias En Pinturas Murales. *Arché*, (4 y 5), 117–124. <http://www.subsport.eu/wpcontent/uploads/2013/02/fresco3.pdf>
- Cappitelli, F., Toniolo, L., Sansonetti, A., Gulotta, D., Ranalli, G., Zanardini, E., & Sorlini, C. (2007). Advantages of using microbial technology over traditional chemical technology in removal of black crusts from stone surfaces of historical monuments. *Applied and Environmental Microbiology*, 73(17), 5671–5675. <http://doi.org/10.1128/AEM.00394-07>
- Castilla, B. del O. (2010). Revisión De Tratamientos De Limpieza De Pintura Mural Arqueológica.
- Eliminación De Concreciones Carbonáticas. *Arché*, (4 y 5), 308–309. http://www.irp.webs.upv.es/documents/arche_article_12_5.pdf
- Cremonesi, Paolo. L'uso degli enzimi nella pulitura di opere d'arte policrome. Firenze: Il Prato-Collana I Talenti, 2002.
- Daskalakis, M. I., Magoulas, A., Kotoulas, G., Catsikis, I., Bakolas, A., Karageorgis, A. P., ... Rigas, F. (2013). Pseudomonas, Pantoea and Cupriavidus isolates induce calcium carbonate precipitation for bioremediation of ornamental stone. *Journal of Applied Microbiology*, 115(2), 409–423. <http://doi.org/10.1111/jam.12234>
- Ercole, C., Cacchio, P., & Gallo, M. Del. (2014). Microbial biotechnologies to preserve and restore stone monuments. *Microscopy: Advances in Scientific Research and Education*, 449–456.
- Miller, M., Bonampak. Arqueología mexicana (Raíces-INAH) III, nº 16 (1995): 48-55. 26
- Falcón, T., & Magaloni, D. (n.d.). En torno a la conservación de la pintura mural prehispánica, 16– 20. Retrieved from http://www.revistadelauniversidad.unam.mx/ojs_rum/files/journals/1/articles/137_01/public/13701-19099-1-PB.pdf
- Franco, B., Gisbert, J., Navarro, P., & Mateos, I. (2002). Deterioro de los materiales pétreos por sales: cinética del proceso, cartografía y métodos de extracción. *Actas Del I Congreso Del GEIIC*.
- Fuente, Beatriz De La. «La pintura mural prehispánica.» *Arqueología mexicana (Raíces-INAH) III*, nº 16 (1995): 6-15.
- Informativo, B. (2004). La Pintura Mural Prehispánica en México.
- Lustrato, G., Alfano, G., Andreotti, A., Colombini, M. P., & Ranalli, G. (2012). Fast biocleaning of mediaeval frescoes using viable bacterial cells. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 69, 51–61. <http://doi.org/10.1016/j.ibiod.2011.12.010>
- Ng, D.H.P., Kumar, A. & Cao, B. *Appl Microbiol Biotechnol* (2016) 100: 6935. <https://doi.org/10.1007/s00253-016-7678-2>
- Magaloni Kerpel, D. (n.d.). Análisis de la técnica pictórica prehispánica: el templo rojo, Cacaxtla. http://www.posgrado.unam.mx/publicaciones/ant_omni_a/20/07.pdf
- Magaloni Kerpel, D. Los colores de la selva. Procedimientos, materiales y colores en la pintura mural

maya. *Arqueología mexicana (Raíces-INAH)* XVI, n° 93 (2008): 46-50.

Magaloni Kerpel, D (n.d.). El arte en el hacer: técnica pictórica y color en las pinturas de Bonampak. En *La pintura mural prehispánica*, 49-80. México D.F.: IIE-UNAM.

Magaloni Kerpel, D., *Técnicas de la pintura mural en Mesoamérica. Arqueología mexicana (Raíces- INAH)* III, n° 16 (1995): 16-23.

Magaloni Kerpel, D. (n.d.). *Materiales y técnicas de la pintura mural maya*, 155–198.

http://132.248.9.9/libroe_2007/1050189_3/10_c06.pdf
Ranalli, G., Alfano, G., Belli, C., Lustrato, G., Colombini, M. P., Bonaduce, I., Sorlini, C. (2005). 27 *Biotechnology applied to cultural heritage: Biorestitution of frescoes using viable bacterial cells and enzymes. Journal of Applied Microbiology*, 98(1), 73–83. <http://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2004.02429.mx>

Roig, P. B., Regidor Ros, J. L., & Estellés, R. M. (2013). Biocleaning of nitrate alterations on wall paintings by *Pseudomonas stutzeri*. *International*

Biodeterioration & Biodegradation, 84, 266–274. <http://doi.org/10.1016/j.ibiod.2012.09.009>

Soto, A. P. (1995). Los pintores del El Tajín. *Arqueología mexicana*, III (16), 42-47.

Staines Cicero, Leticia. «Los murales mayas del Posclásico.» *Arqueología mexicana (Raíces-INAH)* III, n° 16 (1995): 56-61.

Taylor, S., & May, E. (2000). Investigations of the localisation of bacterial activity on sandstone from ancient monuments. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 46 (4), 327–333. [http://doi.org/10.1016/S0964-8305\(00\)00100-1](http://doi.org/10.1016/S0964-8305(00)00100-1)

Uriarte Castañeda, M.T. (2014). *El Proyecto La Pintura Mural Prehispánica en México: su labor en la difusión y conservación del patrimonio pictórico mesoamericano*. (Aracne Editrice - Esempi di Architettura, Ed.), México. *Restauración y Protección del Patrimonio Cultural* (I, Vol. I). Roma. <http://www.pinturamural.esteticas.unam.mx/sites/default/files/URIARTEProyectoLPMPEM.pdf>

² Este documento constituye una propuesta diseñada sobre las informaciones recolectadas a lo largo de los estudios llevados a cabo en México. Se podrán aportar o modificar los casos de estudio de acuerdo a la disponibilidad, autorización y facilidad de acceso por parte de los encargados de los sitios y conforme a la aportación de nuevos casos de estudio cuyo estado de emergencia pone de manifiesto la exigencia de un diagnóstico detallado.

³ Todos los factores citados, finalmente, son reconducibles a características técnicas y materiales de las pinturas murales, y pueden presentar variaciones dependiendo de su temporalidad, de su contexto geográfico y de los recursos geológicos presentes. Así mismo, la ubicación en diferentes áreas climáticas de la república mexicana, junto a la cercanía con contextos urbanos o rurales entre otros, podrán ocasionar la presencia de parámetros y elementos más o menos favorables al desarrollo de determinadas especies de microbiota.

⁴ Los datos se obtendrán por medio de equipo de medición específicos (termohigómetros, cámara termográfica IR, GPS) y registros en línea del Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

⁵ De acuerdo a la estimación cuantitativa de los análisis a realizar, se seleccionarán solamente tres áreas para cada mural, de acuerdo a su incidencia como fenómenos de alteración y deterioro de las pinturas.

⁶ La metodología a emplearse para la toma de muestras de superficie se determinará en la siguiente fase de la investigación.