

COLONIZACIÓN VEGETAL EN FÁBRICAS HISTÓRICAS: PARÁMETROS DE ANÁLISIS PARA SU CONTROL Y CONSERVACIÓN

J. Moreno Collado^{1,2}, *J. A. Gómez Guzmán*³

¹ Universidad de Granada, Granada, España

² Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Granada, Granada, España

³ Universidad de Jaén, Jaén, España

RESUMEN

La presencia de vegetación espontánea en castillos, recintos amurallados y estructuras fortificadas constituye un fenómeno ampliamente documentado en la arquitectura histórica peninsular. Este tipo de colonización vegetal genera un impacto directo en la estabilidad estructural y en la conservación de las fábricas tradicionales, especialmente en sistemas constructivos basados en mampostería, tapial o morteros de cal. A pesar de su relevancia, es importante conseguir generar un protocolo homogéneo para diagnosticar y evaluar el riesgo que esta vegetación supone en el medio y largo plazo. El presente trabajo propone un enfoque metodológico aplicable a diferentes contextos patrimoniales, empleando el Castillo de Huelma (Jaén) como caso de estudio representativo para validar la utilidad de los indicadores microambientales y florísticos.

El marco metodológico combina tres niveles de análisis: arquitectura, microambiente y vegetación. En primer lugar, se realiza la identificación de puntos vulnerables recurrentes en estructuras fortificadas, como coronaciones, juntas degradadas, zonas bajas con retención hídrica, elementos parcialmente colapsados y espacios subterráneos relacionados con la captación o acumulación de agua. El segundo nivel se centra en la caracterización microambiental mediante higrómetros y termografía infrarroja, con el fin de identificar patrones de humedad relativa, condensación potencial, gradientes térmicos y contrastes estacionales. El tercer nivel aborda la identificación florística, prestando atención a especies ruderales y pioneras con capacidad para colonizar materiales porosos y fisurados, así como a las familias con mayor incidencia en la arquitectura histórica, como Asteraceae, Poaceae, Plantaginaceae y Urticaceae.

Los resultados comparados permiten identificar patrones comunes en diversos enclaves fortificados: mayor densidad de vegetación en zonas bajas donde se acumulan humedad y depósitos orgánicos; implantación activa en coronaciones y juntas de mortero erosionadas; y una marcada preferencia de especies por aquellos puntos con mayor variación térmica estacional, lo que incrementa la bioreceptividad de los materiales. El caso de estudio del Castillo de Huelma confirma estas tendencias, con una flora ruderal consolidada, adaptada a los microhábitats generados por la arquitectura. Las mediciones higrótérmicas evidencian niveles constantes de humedad relativa en torno al 42–46 %, junto con contrastes térmicos que favorecen la retención de humedad en elementos expuestos. La

identificación de especies vasculares con sistemas radiculares agresivos —como *Bromus rubens*, *Crepis vesicaria*, *Antirrhinum graniticum* o *Parietaria officinalis*— refuerza la necesidad de integrar la variable biológica en los protocolos de conservación.

La vegetación es agente activo dentro del ciclo de deterioro, capaz de intervenir en los procesos físicos y químicos de la degradación material. El estudio confirma que un diagnóstico preventivo debe considerar simultáneamente factores arquitectónicos, higrotérmicos y ecológicos, lo que permite anticipar comportamientos de riesgo antes de que la degradación sea visible.

PALABRAS CLAVE: Vegetación espontánea, arquitectura fortificada, conservación preventiva, bioreceptividad, humedad estructural, termografía infrarroja, flora ruderal, mampostería histórica, diagnóstico higrotérmico, deterioro material.

1. INTRODUCCIÓN

La colonización vegetal espontánea constituye un proceso recurrente en fábricas históricas expuestas, con especial incidencia en castillos, torres y recintos amurallados. En estos conjuntos, la pérdida progresiva de mantenimiento, la heterogeneidad material y la presencia de discontinuidades constructivas favorecen la instalación de flora ruderal y pionera en juntas, coronaciones y zonas con retención hídrica. Desde la biología aplicada al patrimonio, se ha descrito ampliamente la colonización biológica como un agente que interviene en la degradación de materiales mediante mecanismos físicos, químicos y biogeoquímicos, con efectos acumulativos sobre la estabilidad del soporte [1], [2]. En el caso de flora vascular, el crecimiento radicular y la acumulación de materia orgánica en fisuras y juntas degradadas pueden acelerar procesos de microfisuración, pérdida de cohesión y disgregación superficial, especialmente en fábricas porosas y morteros tradicionales.

La capacidad de un material para ser colonizado se vincula a su bioreceptividad, condicionada por propiedades como porosidad, rugosidad, composición y estado de alteración, junto con el microambiente generado por orientación, humedad retenida y oscilación térmica. En paralelo, la ecología de la colonización en sustratos artificiales muestra que los procesos de sucesión tienden a estar dominados por especies oportunistas con alta plasticidad, capaces de prosperar en condiciones de estrés hídrico y baja disponibilidad de suelo. Este marco resulta coherente con los modelos de estrategias vegetales y con los enfoques de sucesión primaria y secundaria aplicados a escenarios de colonización y estabilización de ensamblajes vegetales [3], [4], [5].

Pese a la relevancia del fenómeno, la literatura aplicada a arquitectura fortificada ha tendido a fragmentar el análisis. Por una parte, existen metodologías sólidas orientadas a la patología y al riesgo en fortificaciones, con propuestas de conservación preventiva centradas en los mecanismos de degradación material y estructural, especialmente en fábricas históricas vulnerables [6]. Por otra, se han desarrollado aproximaciones basadas en teledetección y series históricas de índices normalizados para analizar el papel de la vegetación a escala urbana en ciudades históricas fortificadas, útiles para interpretar cambios de cobertura vegetal, aunque alejadas del comportamiento microestructural de la colonización sobre paramentos [7]. También se han planteado modelos de evaluación del riesgo en patrimonio cultural apoyados en variables meteorológicas, con atención a episodios de lluvia y su

posible relación con colapsos potenciales en fortificaciones [8]. En el ámbito microclimático, la evaluación higrotérmica se reconoce como pieza clave para comprender dinámicas de conservación, si bien los enfoques suelen orientarse a contextos interiores o a estrategias generales, sin incorporar de forma sistemática la variable florística vascular en estructuras abiertas [9]. El resultado es un campo con aportaciones valiosas, pero con escasa convergencia metodológica entre diagnóstico constructivo, lectura microambiental e identificación botánica aplicada.

En este contexto, la conservación preventiva requiere herramientas de diagnóstico que permitan pasar de observaciones generales a criterios operativos de priorización y mantenimiento [10]. Una línea especialmente productiva consiste en integrar indicadores arquitectónicos (puntos vulnerables constructivos), microambientales (humedad relativa, gradientes térmicos, condensación potencial) y florísticos (composición y dominancia de especies con capacidad de anclaje en materiales porosos). Estudios centrados en colonización vegetal sobre fachadas históricas han mostrado la utilidad de caracterizar el ensamblaje vegetal para comprender su relación con el soporte y orientar decisiones de intervención [11]. Sin embargo, persiste la necesidad de articular un protocolo homogéneo, replicable y sostenible que permita evaluar el riesgo de la vegetación en el medio y largo plazo en arquitectura fortificada, donde la exposición ambiental y la accesibilidad a propágulos son constantes.

El presente trabajo se orienta a cubrir esa necesidad mediante una propuesta metodológica basada en tres niveles de análisis —arquitectura, microambiente y vegetación— dirigida a establecer parámetros de diagnóstico preventivo aplicables a diferentes contextos patrimoniales. Se ha elegido el Castillo de Huelma (Jaén) como caso de aplicación para validar la utilidad de los indicadores microambientales y florísticos y para fundamentar, con datos de campo, un primer conjunto de acciones concretas de conservación preventiva sostenibles. De esta forma, se plantea una estrategia como punto de partida para ampliar el espectro a otros castillos y recintos fortificados, con el fin de comparar patrones, ajustar umbrales operativos y consolidar criterios de mantenimiento periódico basados en evidencia.

El trabajo se plantea como una aproximación aplicada orientada a la conservación preventiva de arquitectura fortificada afectada por colonización vegetal espontánea. El objetivo general es establecer parámetros de análisis que permitan diagnosticar el riesgo asociado a la implantación de flora vascular en fábricas históricas, integrando variables constructivas, microambientales y ecológicas.

De manera específica, el estudio persigue:

- Identificar los puntos constructivamente vulnerables en los que la vegetación encuentra mayor facilidad de implantación.
- Caracterizar las condiciones higrotérmicas asociadas a la presencia vegetal.
- Analizar la estructura florística del conjunto y su distribución espacial.
- Relacionar los datos obtenidos con la formulación de criterios operativos de conservación preventiva.
- Explorar la posibilidad de extrapolar el modelo a otros recintos fortificados con características constructivas similares.

2. DESARROLLO / METODOLOGÍA

El planteamiento metodológico parte de la premisa de que para comprender el papel de la vegetación espontánea en la conservación de fábricas históricas es necesario relacionarla con las condiciones constructivas y ambientales que permiten su implantación. Desde esta perspectiva, el estudio combina revisión bibliográfica especializada y trabajo de campo aplicado. Se ha integrado una aproximación al análisis arquitectónico, caracterización microambiental e identificación florística.

En una primera fase se llevó a cabo una revisión crítica de la literatura científica sobre biodeterioro vegetal en patrimonio construido, estrategias ecológicas de colonización en sustratos artificiales y metodologías de conservación preventiva en arquitectura histórica. Esta revisión permitió definir los parámetros relevantes para el análisis (bioreceptividad material, humedad retenida, oscilación térmica, dominancia florística y mecanismos radiculares) y establecer un marco conceptual que orientara el trabajo empírico.

La fase aplicada se desarrolló en el Castillo de Huelma (Jaén), utilizado como caso de estudio representativo de arquitectura fortificada ruinosa expuesta que carece de forjados interiores debido a avatares históricos diversos [12], [13]. El trabajo de campo se organizó mediante visitas presenciales al conjunto monumental, durante las cuales se realizó un reconocimiento sistemático de los paramentos y elementos estructurales.

En el plano arquitectónico se identificaron puntos potencialmente vulnerables, tales como coronaciones, cumbreras, juntas de mortero degradadas, grietas, zonas bajas con acumulación de sedimentos y espacios vinculados a sistemas históricos de captación o almacenamiento de agua. La observación se centró en documentar el estado de las juntas, la profundidad aparente de fisuras, la pérdida de material y la presencia de depósitos orgánicos asociados.

Paralelamente se llevó a cabo un registro fotográfico sistemático con el fin de cartografiar la implantación vegetal y relacionarla espacialmente con las características constructivas del soporte. En aquellos puntos donde la vegetación presentaba anclajes visibles se procedió a la medición directa de raíces expuestas y alturas vegetales, con el objetivo de valorar su desarrollo y potencial interacción mecánica con la fábrica.

La caracterización microambiental se realizó mediante mediciones puntuales de humedad relativa y temperatura, empleando higrómetros de contacto distribuidos en distintos puntos del recinto. Se registraron parámetros como humedad relativa ambiental, temperatura del aire y temperatura asociada al punto de rocío, lo que permitió aproximarse a las condiciones de condensación potencial. Las mediciones se efectuaron en zonas diferenciadas del conjunto, incluyendo paramentos exteriores, elementos en altura y áreas próximas a espacios con posible retención hídrica.

Como complemento, se utilizaron cámaras de termografía infrarroja para detectar contrastes térmicos en superficies murarias y localizar posibles acumulaciones térmicas que pudieran estar asociadas a retención de humedad o a diferencias de comportamiento material. Las imágenes termográficas se analizaron en relación con la orientación solar y el grado de exposición de los elementos constructivos.

En el plano ecológico se procedió a la identificación taxonómica de las especies vasculares presentes. Para ello se recogieron muestras en campo y se realizó su determinación botánica mediante consulta

de claves y bibliografía especializada. Se prestó especial atención a la frecuencia relativa de las especies, su distribución espacial y su posible relación con los puntos constructivamente más sensibles. Con esta estrategia metodológica se ha perseguido disponer de una base objetiva para la formulación posterior de criterios de conservación preventiva aplicables tanto al caso estudiado como a otros recintos fortificados de características similares.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La aplicación del sistema de análisis permitió obtener una lectura integrada del comportamiento del conjunto. La implantación vegetal no se distribuye de forma homogénea en el recinto (considerándose la parte de estudio únicamente el castillo, la zona más representativa y expuesta, quedando para futuros estudios el resto del conjunto monumental). La distribución vegetal responde a condiciones constructivas y ambientales concretas.

Desde el punto de vista espacial, la mayor concentración de individuos se localiza en zonas bajas del castillo, especialmente en áreas donde se acumulan sedimentos y materia orgánica y en proximidad al aljibe. También se observa colonización activa en coronaciones y cumbreiras expuestas, así como en juntas de mortero de cal erosionadas y en muros de mampostería porosa. En estos puntos, la vegetación se asocia de manera sistemática a fisuras y pérdidas de material, lo que confirma su preferencia por discontinuidades constructivas con mayor capacidad de retención hídrica. La tabla 1 muestra los datos tomados con higrómetro.

Tabla 1. Toma de datos con higrómetro

N	RH	°C	DEW °C	COND °C	G/KG	Ubicación
1	45,7%	26,7	26,7	14	10	Fachada principal junto puerta
2	45,7%	26,8	26,8	14	10	Fachada principal junto puerta
3	45,4%	26,9	26,9	14,1	10	Escalera metálica
4	45,0%	27	27	14	10	Tronera
5	44,9%	27	14	14	10	Tronera con IR
6	43,6%	27,2	13,7	13,7	9,8	Tronera con IR
7	42,8%	27,2	13,7	13,4	9,6	Aljibe
8	42,6%	27,1	13,3	13,3	9,5	Zona húmeda con vegetación en planta baja
9	42,5%	26,8	12,9	12,9	9,3	Zona interior con sol

10	42,7%	26,7	12,9	12,9	9,3	Zona interior con sol
13	42,8%	13	13	13	9,3	Zona interior con sol
14	43,0%	26,6	12,9	12,9	9,3	Zona interior con sol

Las mediciones higrotérmicas realizadas en catorce puntos del conjunto muestran un rango de humedad relativa comprendido entre el 42,5 % y el 45,7 %, con temperaturas ambientales durante la campaña estival con ambiente seco (sin lluvias recientes) entre 26,6 °C y 27,2 °C. Los valores asociados a condensación potencial se sitúan entre 12,9 °C y 14 °C, con contenidos absolutos de vapor entre 9,3 y 10 g/kg. Los registros más elevados de humedad relativa se obtuvieron en la fachada principal y en puntos próximos al acceso, mientras que en el entorno del aljibe y en zonas con vegetación consolidada los valores se mantuvieron en torno al 42–43 %.

Las termografías infrarrojas revelaron contrastes térmicos significativos en coronaciones y zonas superiores expuestas, con temperaturas superficiales que superan los 30 °C en periodo estival (tras mediciones realizadas en horarios de máxima incidencia solar). Estas diferencias entre áreas soleadas y zonas con mayor inercia térmica evidencian un comportamiento térmico heterogéneo del soporte, especialmente acusado en elementos elevados. Las figuras 1 y 2 muestran estas variaciones.

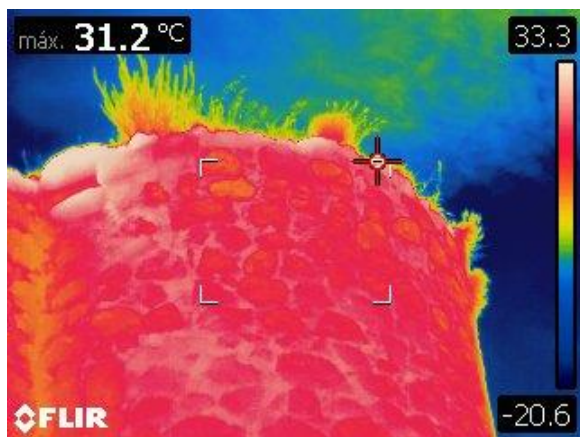


Figura 1. Toma termográfica de torre en fachada principal



Figura 2. Toma termográfica escalera metálica de acceso al castillo, con proliferaciones bajo la misma

En cuanto a la composición vegetal, se identificaron 19 especies vasculares pertenecientes a 11 familias botánicas. Las familias mejor representadas fueron Asteraceae, Poaceae y Plantaginaceae. Cinco especies (*Bromus rubens*, *Crepis vesicaria*, *Parietaria officinalis*, *Antirrhinum graniticum* y *Phagnalon sordidum*) concentran más del 47 % del total de individuos registrados, lo que refleja una estructura de dominancia clara dentro de la comunidad vegetal.

Las especies identificadas presentan elevada plasticidad ecológica y capacidad para desarrollarse en sustratos pobres y alterados. En varios puntos se constató penetración radicular visible en juntas abiertas y fisuras, así como implantación en depósitos orgánicos acumulados en coronaciones. La

colonización se produce tanto en superficies verticales como horizontales, aunque con mayor densidad en zonas donde concurren discontinuidades constructivas y retención de humedad.

Los datos obtenidos muestran que la presencia vegetal en el castillo se concentra en microambientes definidos por la interacción entre material poroso, degradación de morteros y condiciones higrotérmicas compatibles con la consolidación de flora ruderal (no responde a una distribución aleatoria).

Los resultados obtenidos permiten situar el caso analizado dentro de un marco más amplio de estudios sobre colonización vegetal y conservación del patrimonio construido. La presencia de una comunidad ruderal dominada por un número reducido de especies coincide con lo descrito en la literatura ecológica sobre sucesión secundaria en sustratos pobres y artificiales, donde pocas especies oportunistas tienden a estabilizar rápidamente el ensamblaje vegetal en condiciones de estrés y escasa disponibilidad de suelo [3], [4], [5]. La estructura de dominancia observada en el castillo, con cinco especies que concentran casi la mitad de los individuos registrados, se ajusta a ese patrón general.

Desde la perspectiva del biodeterioro, diversos trabajos han señalado que la vegetación vascular debe entenderse como agente capaz de intervenir en procesos físicos y químicos que afectan al soporte en lugar de como elemento superficial [1], [2]. En el caso estudiado, la implantación preferente en juntas degradadas y fisuras visibles confirma que la colonización se apoya en discontinuidades previas del material. No puede afirmarse, a partir de los datos disponibles, que la vegetación sea el origen exclusivo de la degradación, pero sí que actúa como factor que puede agravarla cuando encuentra condiciones favorables de anclaje y retención hídrica.

La relación entre humedad relativa y presencia vegetal observada en el recinto es coherente con la importancia que la literatura otorga al microclima en los procesos de conservación. Aunque los valores de humedad registrados no son extremos, su estabilidad en determinados puntos y su coincidencia espacial con focos de colonización sugieren que incluso rangos moderados pueden resultar suficientes para consolidar comunidades ruderales cuando concurren materiales porosos y depósitos orgánicos. Los estudios sobre evaluación microclimática en patrimonio subrayan precisamente la necesidad de interpretar la humedad en relación con el comportamiento del soporte y no como un valor aislado [9]. En este sentido, los datos obtenidos refuerzan la idea de que la combinación de humedad retenida, discontinuidad constructiva y exposición ambiental constituye un escenario propicio para la implantación vegetal.

En el ámbito específico de arquitectura fortificada, los trabajos centrados en análisis de riesgo y conservación preventiva han puesto el acento en la vulnerabilidad material y estructural de fábricas históricas sometidas a exposición continua y ausencia de mantenimiento sistemático [6]. Sin embargo, la variable vegetal suele aparecer tratada como síntoma visible más que como factor integrado en el diagnóstico. Los resultados del presente estudio apuntan a la conveniencia de incorporar de forma explícita la caracterización florística dentro de los protocolos de evaluación para discriminar entre implantaciones puntuales de escaso desarrollo y focos consolidados con mayor potencial de incidencia mecánica.

Conviene, no obstante, evitar interpretaciones sobredimensionadas. Los datos recogidos corresponden a una campaña que debe ampliarse y a un único enclave, por lo que no permiten establecer umbrales universales de humedad o temperatura asociados a riesgo estructural. También

debe cuantificarse la presión radicular y la resistencia residual del material en los puntos colonizados. Lo que sí puede afirmarse, con base en la evidencia disponible, es que la vegetación se distribuye de manera selectiva en función de variables constructivas y microambientales identificables, y que su presencia se concentra en aquellos puntos que la literatura reconoce como de mayor bioreceptividad.

Desde la perspectiva de la conservación preventiva, estos resultados apoyan un enfoque selectivo y basado en datos. La eliminación generalizada de vegetación sin diagnóstico previo puede alterar equilibrios microambientales o generar daños colaterales en el soporte. En cambio, la identificación de zonas donde coinciden humedad retenida, degradación de mortero y especies dominantes con capacidad de anclaje permite priorizar intervenciones y orientar acciones de mantenimiento compatibles con criterios de sostenibilidad. La Figura 3 muestra la composición florística observada, número de individuos por familia y especie.

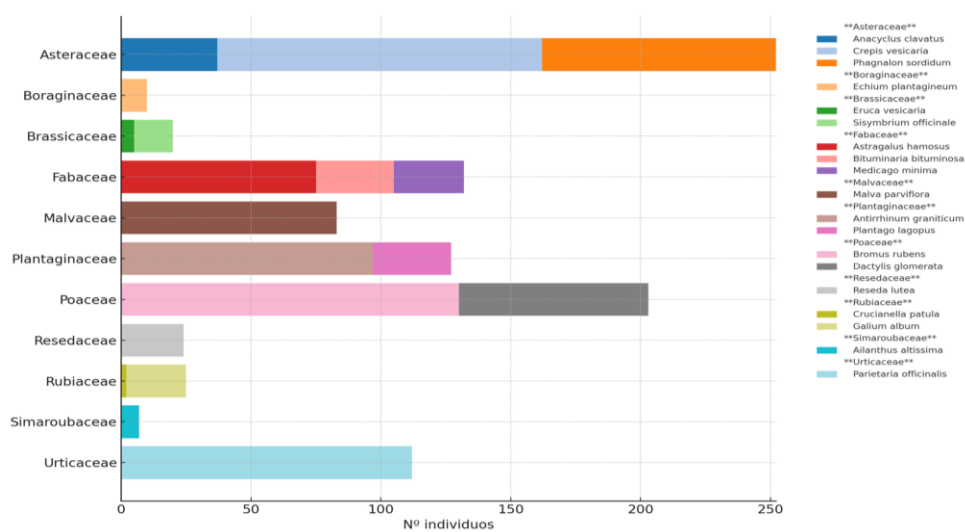


Figura 3. Composición florística observada: número de individuos por familia y especie

4. CONCLUSIONES

El estudio confirma que la colonización vegetal en fábricas históricas no puede interpretarse como un fenómeno aleatorio ni exclusivamente superficial. En el caso analizado, la implantación de flora vascular se concentra en puntos constructivamente vulnerables (juntas degradadas, fisuras, coronaciones y zonas con acumulación de sedimentos) donde concurren materiales porosos y condiciones higrotérmicas compatibles con la consolidación de comunidades ruderales.

La caracterización microambiental realizada evidencia que rangos de humedad relativa moderados, cuando se mantienen de forma estable y se combinan con discontinuidades constructivas, pueden resultar suficientes para favorecer la implantación vegetal. Las termografías muestran además un comportamiento térmico heterogéneo del soporte (aunque se considere de una única combinación de materiales en toda su unidad), especialmente en elementos expuestos, lo que refuerza la necesidad de considerar la interacción entre oscilación térmica y bioreceptividad material.

Desde el punto de vista ecológico, la estructura de dominancia observada, con un número reducido de especies que concentran la mayor parte de los individuos, se ajusta a los modelos descritos en procesos de sucesión secundaria sobre sustratos artificiales. La vegetación identificada presenta elevada

plasticidad y capacidad de implantación en soportes minerales alterados, lo que justifica su consideración dentro de los protocolos de conservación preventiva.

La principal aportación del trabajo se encuentra en la articulación de un sistema de lectura integrada que relaciona soporte constructivo, microambiente y comunidad vegetal. Esta aproximación permite fundamentar decisiones técnicas basadas en datos observables y no únicamente en la percepción visual del deterioro.

El Castillo de Huelma ha funcionado como caso de aplicación que valida la operatividad preliminar del modelo. Sin embargo, el objetivo final es establecer una base metodológica susceptible de ser aplicada y contrastada en otros recintos fortificados con características constructivas similares.

El trabajo presenta varias limitaciones que deben ser explicitadas.

En primer lugar, el análisis se basa en una campaña puntual de mediciones higrotérmicas, realizada en periodo estival. No se dispone de una serie temporal anual que permita evaluar variaciones estacionales o episodios extremos que puedan alterar el comportamiento del conjunto.

En segundo lugar, el estudio se ha aplicado a un único caso, lo que impide establecer umbrales generalizables para otras fortificaciones de la zona u otras regiones geográficas. Las condiciones microclimáticas y constructivas pueden variar significativamente en función de la localización geográfica, orientación y estado de conservación.

Asimismo, no se ha realizado una cuantificación directa de la presión radicular ni un análisis mecánico del grado de pérdida de capacidad resistente en los puntos colonizados. La evaluación del riesgo estructural se ha basado en observación directa y correlación espacial, no en ensayos de resistencia material.

Finalmente, el estudio no ha incorporado instrumentación permanente ni sensores de monitorización continua, lo que limita la precisión en la interpretación dinámica del comportamiento higrotérmico.

Estas limitaciones no invalidan los resultados obtenidos, pero sí delimitan su alcance y subrayan el carácter inicial y exploratorio del modelo propuesto.

A partir de esta primera aproximación se abren varias líneas de trabajo.

Resulta prioritario desarrollar campañas de monitorización longitudinal que permitan registrar la evolución estacional de la humedad y su relación con los ciclos de implantación y regresión vegetal. La incorporación de sensores permanentes podría aportar datos continuos que refuercen la capacidad predictiva del modelo.

La ampliación del estudio a otros castillos y recintos fortificados permitiría contrastar patrones y ajustar los parámetros de análisis. Así, un enfoque comparativo facilitaría identificar regularidades constructivas y microambientales comunes en arquitectura defensiva peninsular.

También sería conveniente incorporar ensayos específicos orientados a cuantificar la interacción mecánica entre raíces y material constructivo, con el fin de evaluar con mayor precisión el impacto estructural potencial.

Por último, el desarrollo de cartografías sistemáticas de especies asociadas a puntos vulnerables podría integrarse en planes municipales o autonómicos de mantenimiento periódico, avanzando hacia estrategias de conservación preventiva sostenibles, selectivas y fundamentadas en evidencia.

El presente trabajo debe entenderse como un primer paso en esa dirección. La consolidación de protocolos homogéneos requerirá investigación comparativa, continuidad temporal y colaboración interdisciplinar entre técnicos, biólogos y especialistas en conservación del patrimonio construido.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la predisposición del Excmo. Ayuntamiento de Huelma por las facilidades dadas para la realización del presente estudio.

6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] G. Caneva, M. P. Nugari, y O. & Salvadori, *Plant Biology for Cultural Heritage – Biodeterioration and Conservation*. Los Angeles, 2008.
- [2] M. Coutinho, A. Miller, y M. Macedo, «Biological colonization and biodeterioration of architectural ceramic materials: An overview», *J. Cult. Herit.*, vol. 16, feb. 2015, doi: 10.1016/j.culher.2015.01.006.
- [3] J. P. Grime, *Estrategias de las plantas, procesos de la vegetación y propiedades de los ecosistemas*, 2.ª edición | Wiley. 2006.
- [4] S. Rao, X. Miao, S. Fan, Y. Zhao, C. Xu, y S. Li, «Seven-decade forest succession reveals how species colonization and extinction drive long-term community structure dynamics», *J. Plant Ecol.*, vol. 16, feb. 2023, doi: 10.1093/jpe/rtad008.
- [5] L. Walker y R. del Moral, *Primary Succession and Ecosystem Rehabilitation*, vol. 12. 2003. doi: 10.1017/CBO9780511615078.
- [6] M. L. Gutiérrez-Carrillo, I. Bestué Cardiel, E. Molero Melgarejo, y M. Marcos Cobaleda, «Pathologic and Risk Analysis of the Lojuela Castle (Granada-Spain): Methodology and Preventive Conservation for Medieval Earthen Fortifications», *Appl. Sci.*, vol. 10, n.º 18, Art. n.º 18, ene. 2020, doi: 10.3390/app10186491.
- [7] M. Moreno, P. Ortiz, y R. Ortiz, «Analysis of the impact of green urban areas in historic fortified cities using Landsat historical series and Normalized Difference Indices», *Sci. Rep.*, vol. 13, n.º 1, p. 8982, jun. 2023, doi: 10.1038/s41598-023-35844-8.
- [8] M. Moreno, R. Ortiz, y P. Ortiz, «Remote sensing to assess the risk for cultural heritage: forecasting potential collapses due to rainfall in historic fortifications», *Int. J. Build. Pathol. Adapt.*, vol. 42, n.º 1, pp. 92-113, sep. 2022, doi: 10.1108/IJBPA-03-2022-0040.
- [9] S. Díez-Fernández, «Microclima: evaluación en el contexto de la conservación del Patrimonio Histórico», *MoleQla Rev. Cienc. Univ. Pablo Olavide ISSN-E 2173-0903 N° 35 2019*, n.º 35, 2019.
- [10] S. M. Bolaños, «El patrimonio cultural y su mantenimiento en tiempos de crisis. Patrocinio, mecenazgo y crowdfunding: ¿la solución?», *Rev. PH*, p. 5, ene. 2015, doi: 10.33349/2015.0.3597.
- [11] M. Sáez, «Biología y Patrimonio Cultural: Estudio de la comunidad de plantas que colonizaban la fachada de la Iglesia de San Pablo (Valladolid)», *Ge-Conserv.*, vol. 8, pp. 27-36, dic. 2015, doi: 10.37558/gec.v8i0.259.
- [12] R. J. López Guzmán, *Huelma: arte y cultura*. 2009. Accedido: 12 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=821819>
- [13] B. Moreno Quesada, «El castillo de Huelma», *Bol. Inst. Estud. Giennenses*, n.º 172, Art. n.º 172, 1999.