

Evaluación microbiológica de aire interior en tres Museos de la zona UNESCO N° 658 Coro, Venezuela Patrimonio Mundial de la Humanidad

Yarubit Rojas, Francisco Yegres, José Araujo

Resumen: Se realizó un estudio con el objetivo de caracterizar la calidad del aire interior en tres museos ubicados dentro de la zona UNESCO N° 658 Patrimonio Cultural Mundial de la Humanidad. Se evaluó Humedad Relativa HR medida en % y temperatura medida °C, se recuperaron bacterias y hongos del aire por el método de sedimentación por gravedad, se caracterizó bacterias por el método Gram e identificó hongos por microcultivo. Se determinó una correlación inversa entre la HR y la Temperatura. Se caracterizaron, *Streptococos* G(+), Cocos aislados G(+), Cocos aislados G(-), *Streptococos* G(+), *Stafilococos* G(+), *Bacilos* G(+), *Bacilos* G(-), *Filamentos* G(+). *Aspergillus sp.*, *Mucor sp.*, *Penicillium sp.* La UFC/m³ de bacterias fue ligeramente mayor que la de los hongos. Todos los museos presentaron valores microbianos para el aire, entre medio y alto según la clasificación propuesta por la OMS.

Palabras clave: Microbiología del aire, UNESCO, Museos, Humedad Relativa

Microbiological evaluation of indoor air in three Museums of the UNESCO No. 658 zone. Coro, Venezuela World Heritage of Humanity

Abstract: A study was carried out with the aim of characterizing indoor air quality in three museums located within the UNESCO 658 World Heritage Area. Relative Humidity HR measured in% and measured temperature °C was evaluated, bacteria and fungi were recovered from the air by gravity sedimentation method, bacteria were characterized by the Gram method and identified fungi by microculture. An inverse correlation between RH and Temperature was determined. Were characterized *Streptococci* G (+), *Staphylococci* G (+), G (+) *Bacillus* G (+), *Bacillus* G (-), *Filaments* G (+) 5%. *Aspergillus sp.*, *Mucor sp.*, *Penicillium sp.* The UFC / m³ of bacteria was slightly higher than that of the fungi. All the museums presented microbial values for air, between medium and high according to the classification proposed by the WHO

Keyword: Air Microbiology, UNESCO, Museums, Relative Humidity

Avaliação microbiológica do ar interior em três Museus da zona UNESCO N° 658 Coro, Venezuela Patrimônio Mundial da Humanidade

Resumo: Realizou-se um estudo com o objetivo de caracterizar a qualidade do ar interno em três museus localizados na zona da UNESCO N.º 658, Patrimônio Cultural Mundial da Humanidade. Avaliou-se a humidade relativa HR medida em % e a temperatura medida °C, recuperaram-se bactérias e fungos do ar pelo método de sedimentação por gravidade, caracterizaram-se bactérias pelo método Gram e identificaram-se fungos por microcultura. Determinou-se uma correlação inversa entre a HR e a Temperatura. Caracterizaram-se *Streptococos* G(+), Cocos aislados G(+), Cocos aislados G(-), *Streptococos* G(+), *Stafilococos* G(+), *Bacilos* G(+), *Bacilos* G(-), *Filamentos* G(+). *Aspergillus sp.*, *Mucor sp.*, *Penicillium sp.* A UFC/m³ de bactérias foi ligeiramente maior que a dos fungos. Todos os museus apresentaram valores microbianos para o ar, entre médio e alto segundo a classificação proposta pela OMS.

Palavras-chave: Microbiologia do ar, UNESCO, Museus, Humidade Relativa

Introducción

La ciencia en los museos es un campo de interés mundial que cada día cobra mayor auge e importancia tanto desde la perspectiva clásica de los museos así como los nuevos aportes que trae la nueva museología. El principal organismo que concentra a los museólogos a nivel mundial, es el Consejo Internacional de Museos (ICOM), asociado a la UNESCO (MPPC, 2005), y este ha desarrollado diversas directrices relacionadas con la operación de los museos, que incluyen el estudio, seguimiento y control de las condiciones ambientales del aire interior como base para la conservación preventiva en el museo para el mantenimiento de las condiciones favorables de las colecciones el espacio museístico y el público que interactúa con estos espacios (Antomarchi, y De Guichen, 1989; Michalski, 2006).

El estudio y control de las condiciones ambientales presentes en museos, galerías, casas patrimoniales, iglesias (AENOR, 2012), archivos, bibliotecas, jardines parques naturales (Rojas *et al.*, 2015) o cualquier depósito destinado a atesorar el patrimonio histórico, constituye hoy en día uno de los elementos más importantes a tener en cuenta en la conservación preventiva de tan preciado legado (Alcántara, 2002; Cassar, 2013). La prevalencia de condiciones ambientales inadecuadas junto a la presencia de elevadas concentraciones microbianas en dichos museos, ha despertado la atención de varios grupos de investigadores y especialistas en el área de conservación de bienes patrimoniales, debido al riesgo que estos implican tanto para la salud humana como para la integridad del patrimonio en ellos se resguarda (Valentin, 2003; 2007; Herráez 2014).

La atmósfera de las salas de exposición de los museos y los almacenes que albergan obras de arte presentan concentraciones variables de agentes químicos y microbiológicos que es necesario medir y controlar (Valentin, 2015). Es por ello, que es de interés el estudio del aire exterior e interior donde es posible encontrar diversos tipos de partículas de diferente origen, forma y tamaño suspendidas en el aire; ellas constituyen el aerosol atmosférico (Araujo *et al.*, 2013).

Los países tropicales presentan por lo general valores altos de humedad relativa y temperatura, generando condiciones climáticas que favorecen el incremento bacterias, y esporas de hongos (Florian, 2000 a, b). Venezuela es un país con clima tropical donde la humedad relativa y las temperaturas diurnas y nocturnas presentan variaciones permanentes, es por ello que el control de estos elementos es, de importancia para preservar los objetos y las colecciones El presente estudio se realizó con el fin de caracterizar y evaluar las condiciones del aire interior de tres museos que se encuentran dentro de la zona UNESCO N° 658 (Reyes, 2016) como parte del plan

de evaluación y corrección de las condiciones sanitarias, ecológicas y ambientales de una zona de interés turístico para la región.

Materiales y Métodos

—Delimitación de la zona de Estudio

La zona de estudio se encuentra ubicada en la ciudad de Santa Ana de Coro del Estado Falcón-Venezuela, con una poligonal constituida por 25 manzanas, que poseen una superficie de 25.28 hectáreas [figura 1], en ella se encuentran diversas edificaciones protegidas por la legislación mundial, nacional y regional, designada como Patrimonio Cultural Mundial de la Humanidad N° 658 por la UNESCO (Reyes 2016; UNESCO, 1993, 1994) y Patrimonio Histórico y artístico de la Nación Venezolana (Gaceta, 1995, 1996). Esta área junto a la Vela de Coro y las diversas zonas de influencia constituye una zona de atractivo turístico mundial, (PLINCODE 2005, Araujo *et al.*, 2013). Cabe destacar que esta zona incluye a Coro y su puerto de la Vela, pero en el estudio solo se desarrolló en la poligonal constituida en la ciudad de Coro.

— Estaciones de Muestreo

Se aplicó un programa de seguimiento considerando los criterios propuestos por Herráez (2014). Para la determinación de las estaciones de muestreo se aplicó la normativa UNE 171330-2 (AENOR, 2014) la cual determina que el número mínimo de estaciones de muestreo según la siguiente fórmula:

$$P = 0,15 \times \sqrt{S}, \text{ donde } P: \text{ n.º de puntos } / S: \text{ superficie}$$

Se realizaron muestreos en un periodo de tres meses, con tres muestreos semanales interdiarios, hasta completar cada mes, de igual manera en ese mismo periodo se tomaron los datos climáticos, estos muestreos fueron realizados en la estación de verano en los meses de enero, febrero y marzo durante el día (Herráez, 2014).

— Humedad Relativa y Temperatura

La Humedad relativa (HR) en (%) y la Temperatura (T) en (C°) fueron medidas utilizando el equipo de medición puntual termohigrómetro electrónico según la norma (AENOR, UNE-EN 15758:2011) aplicando el método descrito en la norma por Herráez, (2014).

— Recuperación de Microorganismos del Aire / Medios de Cultivo

El muestreo aerobiológico del aire se realizó atendiendo las recomendaciones de las Normas

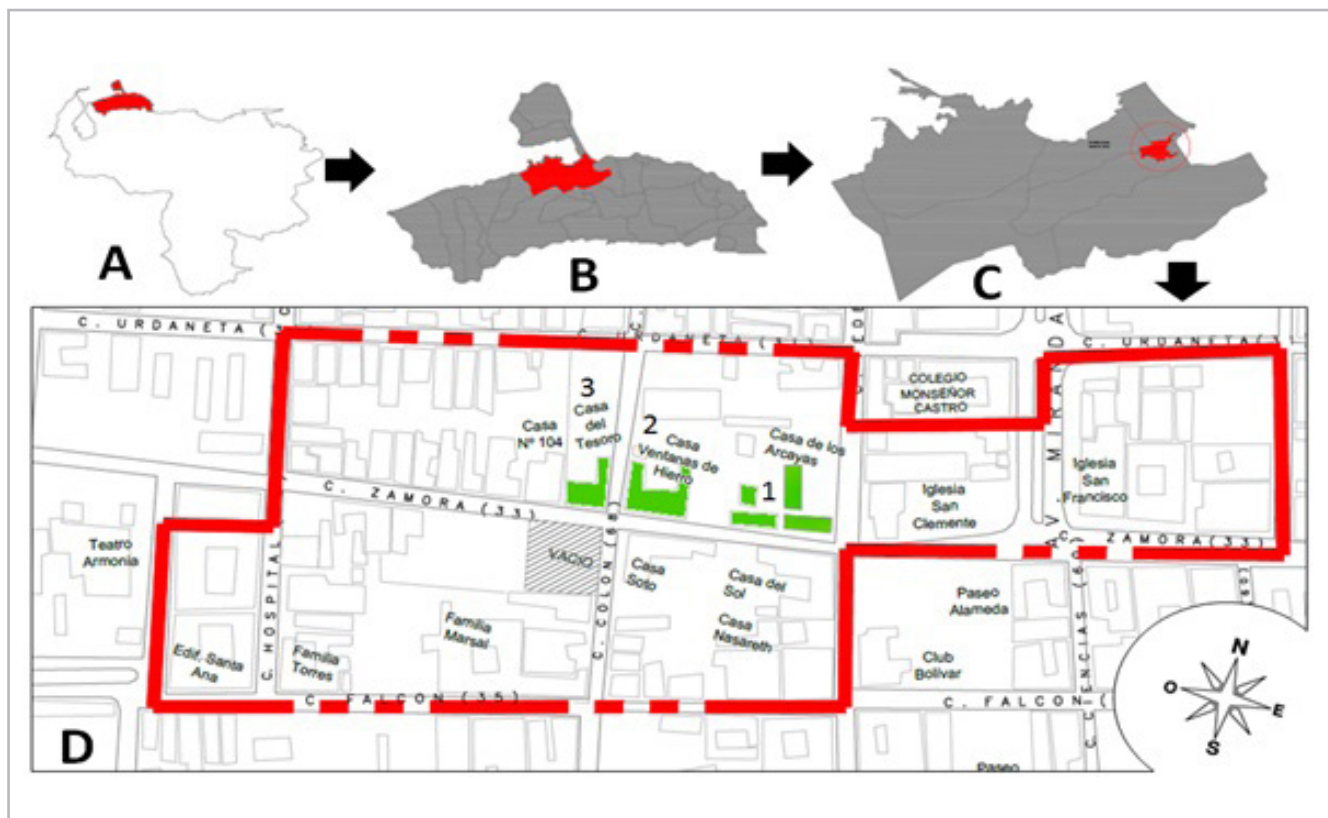


Figura 1.- Situación Geográfica de la Zona UNESCO N° 658, Patrimonio Cultural Mundial de la Humanidad, Coro, Venezuela. A) Situación Nacional del Estado Falcón, B) Situación Regional del Municipio Miranda, C) Situación Ciudad Santa Ana de Coro, D) Situación de la Zona, línea en color rojo Poligonal de zona UNESCO, color verde: 1) Casa de los Arcaya (Museo J. M. Crucent); 2) Casa Ventanas de Hierro (Museo Casa de las Ventanas de Hierro); 3) Casa del Tesoro o Monumento “Casa del Obispo Talavera” (Museo Guadalupano).

Internacionales ICOM para el Estudio de la Calidad del aire en museos (Antomarchi, y De Guichen, 1989; INSHT 1989), aplicando el método gravimétrico de sedimentación el cual consiste en tomar placas de Petri con medios previamente preparados para hongos y bacterias, someterlas al contacto con un flujo de aire, durante un periodo de 10 minutos a una altura de un metro y medio (Araujo *et al.*, 2013; Rojas *et al.*, 2015). Para la recuperación y promoción del crecimiento de los diversos microorganismos del aire se prepararon medios de cultivos selectivos previo a la toma de muestra. Para bacterias se utilizó Agar Nutritivo (AN) el cual se preparó a una concentración que contenía peptona 5.0g, extracto de carne 3.0g, y agar bacteriológico 15.0g, ajustado a un pH 6.8±0.2.

Para la caracterización e identificación de las especies fúngicas se prepararon los medios Agar Sabouraud (AS) preparado a una concentración de 40g de dextrosa, 5g de peptona, 5g de digerido pancreático de tejido animal, 15g de agar bacteriológico 15g para un 1L de agua destilada, mas dihidroestreptomycin como antibiótico a una concentración de 0,4 g/L, pH 5.6 ± 0.2 a 25 °C. Todos los medios fueron esterilizados por calor húmedo en autoclave a 15 Libras de presión o 1,1 atm de sobresaturación a 120 °C (Araujo *et al.*, 2013).

— *Cuantificación del UFC/m3 de bacterias y hongos miceliales*

Se cuantificó aplicando la fórmula descrita por Kolwzan *et al.*, (2006).

$$X = \frac{a \cdot 5 \cdot 10^4}{\pi \cdot r^2 \cdot t}$$

X - número de microorganismos en el aire (UFC/m3); a - el número de colonias en la placa de Petri; r² - la superficie de la placa de Petri (cm²); t - tiempo de exposición (minutos).

La unidades fueron determinadas como unidades formadoras de colonias por metro cubico UFC /m3, los datos obtenidos se codificaron en tablas de contingencia para su posterior análisis estadístico y comparación con normas propuestas para determinación de la calidad.

— *Aislamiento y Caracterización de hongos y bacterias recuperados del aire interior de los museos*

Previamente las placas recuperadas de los muestreos fueron incubadas a 30-37 °C en tiempos de 3-5 días para hongos y de 1-2 días para bacterias; Transcurrido el tiempo para el crecimiento de las diversas especies fúngicas, y bacterianas se procedió a asilar cada colonia

crecida en placas de Agar Nutritivo (AN) y Agar Saboraud (AS) nuevamente con el fin de observar posteriormente las características en placa de Petri. Para ello las bacterias fueron sembradas por el método de rayado en triple estría y los hongos por punción en el centro de la placa y fueron incubadas con las mismas condiciones previamente descritas (Schlegel, 1997). Los hongos y bacterias aislados a partir de colonias recuperadas del aire interior de los museos, fueron evaluadas mediante las características macroscópicas tomando en cuenta el número de colonia, su tamaño y el color, forma, borde, superficie, elevación, consistencia, opacidad (Kerr, 1998).

— Identificación de hongos y morfotinción de bacterias

Para la determinación de las características microscópicas los hongos fueron aislados aplicando el método de aislamiento por microcultivo de Riddell, (Casas, 1994). Para la identificación los diversos cuerpos fructíferos fueron evaluados según las características morfológicas propuestas por Lacaz (1998). La caracterización de las bacterias se logró identificando su morfología mediante la observación microscópica con muestras que previamente fueron tratadas mediante la técnica de diferencial de Gram para bacterias (Rojas *et al.*, 2015).

— Determinación de calidad de aire interior

Los resultados fueron evaluados según los criterios sugeridos por la ICOM sobre contaminantes ambientales y las recomendaciones de la norma (Antomarchi, y De Guichen, G, 1989). Los datos obtenidos fueron contrastados con la normativa Internacional actualizada por el SIAQ-CIBTaskGroupTG 42 (2004) para la clasificación de concentración de bacterias y hongos presentes en el aire interior (CEC, 1993).

— Análisis Estadístico

Todos los datos obtenidos fueron evaluados por un estadístico para el análisis de la varianza aplicando el modelo de Duncan con un 95% de confianza ($p < 0,05$) para evaluar la significancia de las variables de estudio (ILSTRUP, 1990).

Resultados

Los resultados obtenidos cumplen los criterios propuestos por la ICOM y las normativas técnicas para museos Venezolanos (MPPC, 2005; Alcántara, 2002). Los espacios definidos tienen como criterios de interés, la evaluación de los espacios administrativos, lugares de mayor afluencia y estancia dentro del museo, evaluación del patio o traspatio de edificación colonial, para un total de 17 estaciones de muestreo.

Los diversos museos presentaron variaciones climáticas medidas de Humedad Relativa HR con un porcentaje de saturación global promediada en 60,1% y una temperatura promedio de 32,7 °C [Gráfico 1]. Las variaciones internas dentro de cada museo evaluado muestran que el museo JM Crucent presente en el Balcón de los Arcaya poseía una temperatura promedio de 32,43 °C con un rango inferior de 30,80 °C y un nivel máximo de 33,50 °C, el museo de las Ventanas de Hierro presentó una temperatura promedio de 32,79 °C con un nivel mínimo de 31,90 °C y un máximo de 34,40 °C, por último el Museo Guadalupano presentó un promedio interno de 32,96 con límite inferior de 32,40 y máximo de 33,50 [Gráfico 1].

El análisis de la varianza mostró diferencias significativas entre los tres museos lo que indica que existe una variación térmica en el aire interior de los diferentes recintos. Por su parte el Balcón de los Arcaya presenta la temperatura más baja y de igual manera su límite térmico inferior es el más bajo. El promedio global del estudio [Gráfico 1] fue de 61,7% de humedad relativa (HR), con una variación de la HR interna en cada museo, el Museo Guadalupano (60,75%) y el Museo Ventanas de Hierro (61,00%) estadísticamente similares, mientras que el Balcón de los Arcaya (Museo JM Crucent) mostró una variante con una HR más alta de (63,20%). Al evaluar los datos mediante la regresión lineal de temperatura y humedad relativa [Gráfico 1] se encontró que los datos arrojaron que la HR es función inversa de la temperatura (T).

Gráfico 2 muestra que las bacterias se encontraron entre los niveles intermedio, alto, y muy alto según la clasificación propuesta por la (CEC, 1993). Siendo el nivel alto quien presentó mayor frecuencia el museo JM Crucent presente en el Balcón de los Arcaya oscilo entre los niveles intermedio y alto mientras que el museo casa de las Ventanas de Hierro presentó valores de concentración de microorganismos entre alto y muy alto, de igual manera el valor más alto se representa para el área CV5 de este museo que presentó 2123 UFC/m³. El museo Guadalupano presentó valores clasificados como intermedio y alto presentando el valor más bajo con 356 UFC/m³. Los datos obtenidos para los hongos mostraron que estos variaron dentro los niveles intermedio y alto para los tres museos evaluados pero estos valores no superaron a los encontrados para bacterias.

La evaluación de los resultados de niveles de concentración de bacterias y hongos (UFC/ m³) del aire interior mediante el análisis estadístico aplicado mostró tres grupos [Gráfico 2] para el caso de las bacterias y uno para el caso de los hongos. Es decir un grupo (A) Museo Guadalupano; (A-B) Museo Casa de las Ventanas de hierro; (C) Museo JM Crucent lo que muestra un comportamiento propio para cada espacio en las condiciones y tiempo evaluadas. Por otro lado los hongos solo mostraron un grupo (A) que incluye a los tres museos evaluados, mostrando que no existieron diferencias significativas al comparar los museos para la concentración de las especies fúngicas presentes en estos espacios.

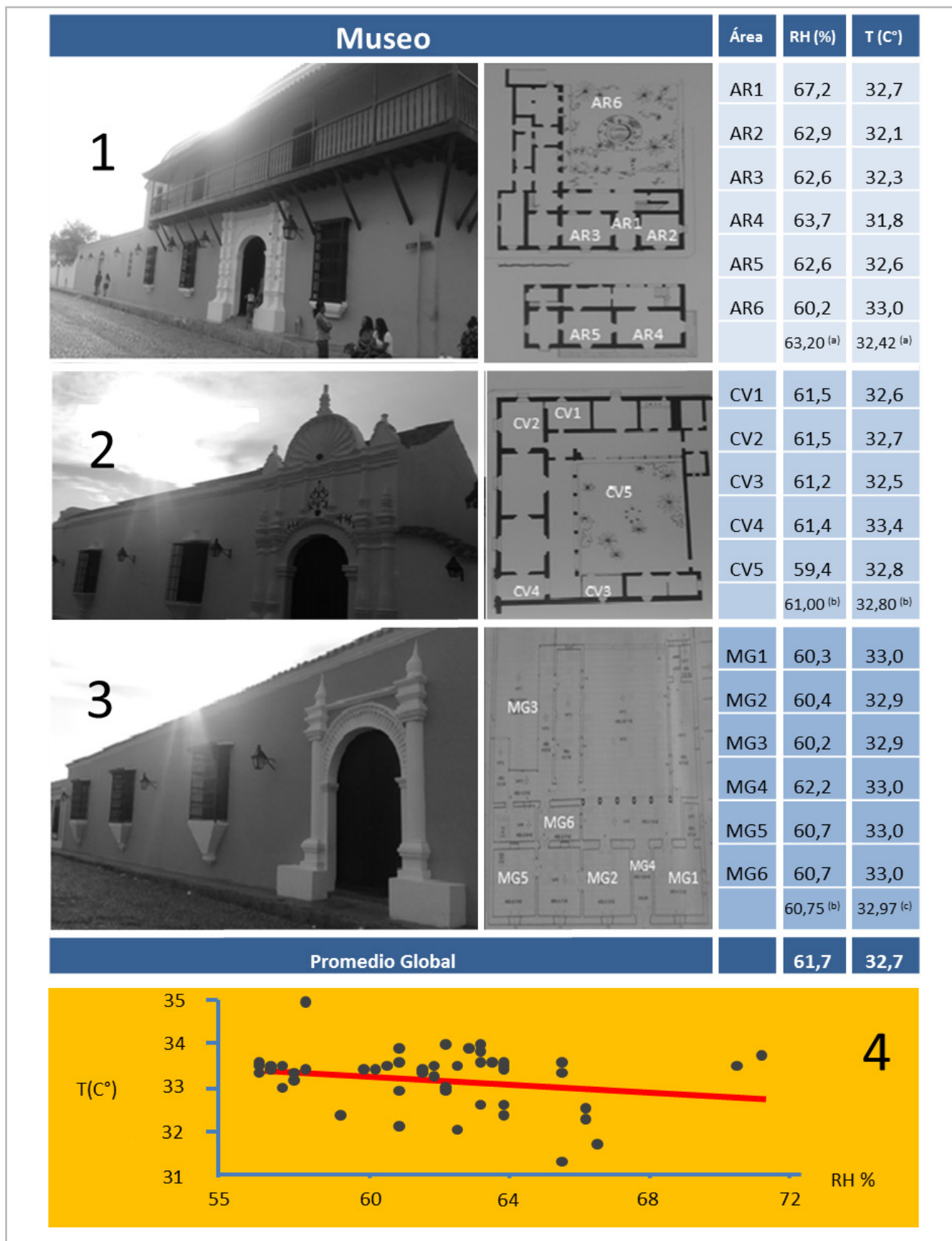


Gráfico 1.- Fachada de museos y planta con estaciones de muestreo determinadas, 1) BALCÓN DE LOS ARCAAYA: AR1-Entrada; AR2-SALA 2; AR3-SALA 3; AR4-SALA 1; AR5-SALA 4; AR6-PATIO. 2) CASA DE LAS VENTANA DE HIERRO: CV1-ALCOBA SECUNDARIA; CV2-ALCOBA PRINCIPAL; CV3-CAPILLA; CV4-ENTRADA; CV5-PATIO. 3) MUSEO GUADALUPANO: MG1-SALA DE ESTAR; MG2-DORMITORIO; MG3-TRASPATIO; MG4-ENTRADA; MG5-DESPACHO; MG6-OFICINA. Las letras distintas (a), (b), (c) indican diferencias significativas ($p < 0,05$) en análisis de varianza 4) Temperatura T (C°) vs Humedad relativa HR%.

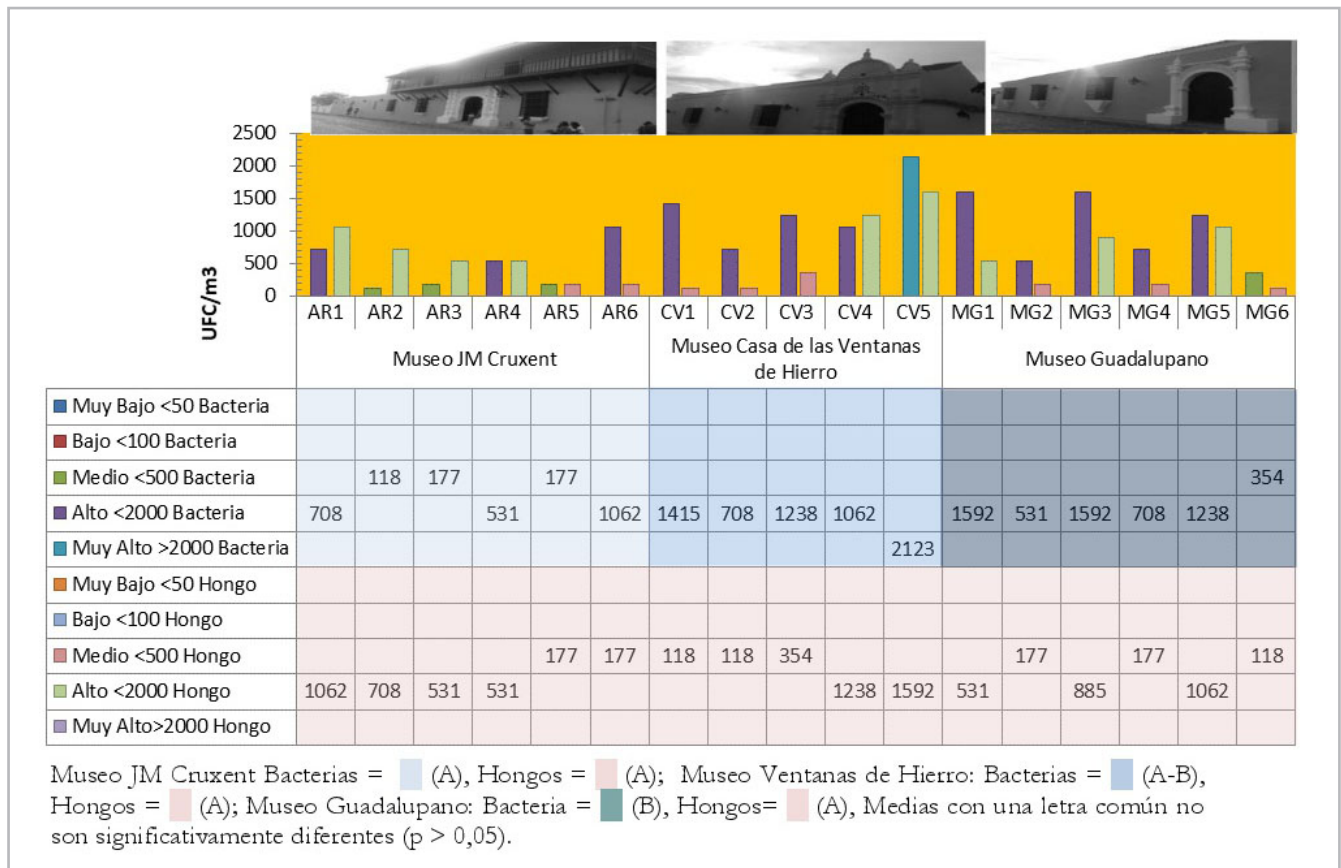


Gráfico 2.- Promedio aritmético de niveles de concentración de bacterias y hongos (UFC/m3) del aire interior tres museos en la zona UNESCO N° 658 Coro, Venezuela, según (CEC, 1993).

Museo /Área	Micromorfología	Macromorfología				N° / (Total)
		Color	Forma	Borde	Elevación	
AR1	<i>Aspergillus sp.</i>	Blanco	Redonda	entero	elevado	(6)
AR2, AR5, AR6, CV2, CV3	<i>Aspergillus niger</i>	Negro	Redonda	entero	elevado	4+1+1+4+2/(15)
AR3	<i>Aspergillus clavatus</i>	Gris	Redonda	entero	elevado	(3)
AR4, CV1, MG6	<i>Aspergillus flavus</i>	Verde	Redonda	entero	elevado	3+2+6/(11)
CV4	<i>Aspergillus orizae</i>	Blanco	Redonda	entero	algodonoso	(1)
CV5	<i>Aspergillus terreus</i>	Marrón	Redonda	entero	elevado	(6)
MG1, MG2, MG3, MG4	<i>Mucor sp.</i>	Blanco	Redonda	entero	elevado	3+1+5+1/(10)
MG5	<i>Penicillium sp.</i>	Blanco	Irregular	entero	elevado	(6)
AR1	<i>Filamentos G(+)</i>	Blanco	Redondo	entero	plano	(4)
AR2, MG3, MG4, MG6	<i>Cocos G(-)</i>	Beige	Redondo	entero	plano	1+9+4+2 (16)
AR3, AR4, CV5, MG1	<i>Cocos G(+)</i>	Beige	Redondo	entero	plano	1+4+12+9 (26)
AR5, AR6, CV4	<i>Bacilos G(+)</i>	Blanco	Redondo	entero	plano	1+6+6 (13)
CV1	<i>Cocobacilo G(-)</i>	Beige	Redondo	entero	plano	(8)
CV2	<i>Bacilos G(-)</i>	Blanco	Redondo	entero	plano	(4)
CV3	<i>Streptococos G(+)</i>	Beige	Redondo	entero	plano	(7)
MG2, MG5	<i>Stafilococos G(+)</i>	Beige	Redondo	entero	plano	3+7 (11)

Tabla 1.- Identificación fúngica y caracterización bacteriana, del aire interior de tres museos ubicados en la zona UNESCO de la Ciudad de Coro patrimonio Cultural de la Humanidad.

La [tabla 1] muestra ocho cepas de hongos, de las cuales 6 son del género *Aspergillus* con 5 especies para un total de 25 aislados, presentes el Museo JM Cuxent y el Museo Casa de las Ventanas de Hierro, 10 aislados de *Mucor* sp. y 6 de *Penicillium* sp. en el Museo Guadalupano. Se recuperaron 9 cepas de bacterias con caracteres distintos, de las cuales los Cocos G (+) con (26) aislados fueron la mayor proporción.

Discusión

Los datos obtenidos presentan el primer estudio que evalúa la calidad del aire interior de tres museos ubicados en el área declarada como patrimonio cultural de la humanidad N° 658 por la UNESCO y Patrimonio Histórico y artístico de la Nación, evaluando la correlación de los datos asociados a la aerobiología y los datos climáticos. De esta manera los microorganismos se presentan como bioindicadores de las condiciones de los museos y funcionan como un primer registro de la situación de la colecciones frente a la variabilidad y dinámica de estos en edificios que posee una arquitectura colonial Europea y que además no se encuentran climatizados con equipos de aire acondicionado. La importancia que reviste un espacio designado a nivel mundial por la UNESCO como patrimonio cultural de la humanidad debe ser objeto de estudio puesto que el espacio es un lugar prístino para el desarrollo de la actividad turística mundial y atractivo para el desarrollo de actividades artísticas y recreacionales.

El análisis global [Gráfico 1] mostró una humedad relativa 60,1% y una temperatura promedio de 32,7 °C en el aire interior de los museos evaluados, estos valores son considerados altos y son un factor que incrementa la sensibilidad para hongos y bacterias al ser contrastadas con las normativas técnicas para museos Venezolanos (MPPC, 2005).

Sin embargo otros estudios como el realizado en un museo en Chile mostró que la humedad obtenida fue inferior con 59% a una temperatura de 15 °C propio del país Austral donde se considera dentro de los límites permisibles (Nitiu et al., 2016). De igual manera un estudio realizado en Cuba muestra humedades relativas más altas 76% a 28 °C en épocas de lluvia y humedades un grado mayor que la reportada en este estudio en épocas secas 61% a 21 °C (García, 2016).

Cabe notar que Venezuela tiene dos estaciones distintas invierno que va de Mayo a Noviembre y verano que va de Diciembre a Abril, sin embargo se caracteriza por tener una variabilidad en su humedad relativa y la temperatura diurna y nocturna, los datos obtenidos, son solo para una evaluación realizada durante el día en el aire interior de los recintos evaluados en época de verano en el que cada museo presento una variación térmica propia pero dentro de los límites establecidos por la norma nacional venezolana (MPPC, 2005).

Otros estudios realizados en el aire exterior del área de estudio muestran que el la humedad relativa puede variar entre un 60% a un 40% pero esta evaluación se realizó en un periodo de invierno de mayo a julio (Yunis et al., 2015, 2014) la contrastación con la información climática medida por una estación climática nacional cercana al estudio, muestra que la temperatura exterior fue menor para los meses de enero (27,5), febrero (27,8) y marzo (28,8) y la humedad relativa del aire exterior es mucho mayor para estos meses evaluados en enero (69%), febrero (68,5%) y marzo (67%) (INAMEH, 2015). Esto muestra que estos recintos generan una temperatura mayor en su interior y una humedad relativa menor [Gráfico 1] que varía de forma inversa y proporcional en comparación con el aire exterior.

El análisis global muestra que las bacterias estuvieron dentro de la clasificación de alto y muy alto mientras que los hongos dentro de la clasificación medio y alta al compararse con el índice de referencia mundial (CEC, 1993). Por su parte el Museo JM Cruxent de dos plantas [Gráfico 1,2] presentó la humedad relativa más alta al compararla con las demás edificaciones de una sola planta y en este, la carga bacteriana fue menor y la carga fúngica fue alta (CEC, 1993). Los museos de una sola planta [Gráfico 1,2] como el Museo de las ventanas de hierro y el museo Guadalupano se comportaron con una dinámica similar ya que en ambos, la humedad relativa fue menor que el museo de dos plantas, y ambos presentaron mayor concentración de bacterias que de hongos, con excepción de sus patios o traspatios al compararse con el índice de referencia (CEC, 1993). Los datos obtenidos son contrastable con la teoría propuesta por los museos venezolanos, ya que en los espacios con mayor humedad relativa, encontramos mayor carga de hongos como el museo Cruxent, mientras que en espacios donde la humedad relativa fue menor la carga bacteriana fue mayor como en los otros dos museos evaluados (MPPC, 2005).

Los resultados [Gráfico 1,2] mostraron que cada diseño estructural de la vivienda colonial proporciona una dinámica propia y un microclima diferente en cada recinto evaluado. Los espacios evaluados mostraron que en el área de los patios y traspatio la humedad relativa es menor y la temperatura es mayor, esto es consistente con la teoría de la utilidad del patio en las viviendas coloniales como un dispositivo bioclimático (Giraldo, 2014), sin embargo estos fueron los espacios que presentaron mayor cantidad de bacterias y hongos al evaluar los museos, esto puede ser posible ya que en estos espacios hay mayor corriente de aire proveniente del exterior donde las cargas tanto de bacterias como de hongos es alta (Rojas et al., 2015; Yunis et al.; 2015, 2014; Araujo et al., 2013).

Las bacterias Gram negativas (-) más frecuentes fueron los cocos Gram (-), este tipo de microorganismos ha sido reportados en el aire exterior (Rojas et al., 2015, Yunis et al., 2015, 2014; Araujo et al., 2013) y en el aire interior en espacios como archivos (Escalona et al., 2013). De igual manera se encontraron diversos Bacilos y cocobacilos

Gram negativos en el aire que posiblemente pueden depositarse sobre las obras de arte y generar biodeterioro (MPPC, 2005).

Las bacterias Gram positivas (+) predominantes fueron, *filamentos*, *bacilos*, *streptococos* y *stafilococos* como también reportan otros estudios (Gaüzère, 2016; MPPC, 2005). Se ha determinado que los filamentos pueden estar presente en obras de arte en capas pictóricas y superficies de obras, generando biodeterioro, así como la presencia de bacillus produciendo biodeterioro en obras de arte de madera (Rojas *et al.*, 2014; MPPC, 2005), también se considera que la presencia de streptococos y stafilococos en bioaerosoles es producto de la actividad antrópica (Araujo *et al.*, 2013) y se puede encontrar sobre superficie formando biopelículas en edificios históricos coloniales (Araujo *et al.*, 2017), además de que pueden causar biodeterioro sobre diversas obras de arte.

Reportamos la presencia de *Aspergillus* como género dominante dentro del grupo de hongos evaluados y 5 de sus especies en viviendas de construcción colonial, y que a la fecha tienen su puesta en valor como museos dentro la poligonal de una zona protegida como patrimonio cultural de la humanidad UNESCO N° 658.

El género *Aspergillus* comprende unas doscientas especies con gran cantidad de variedades, y con una distribución cosmopolita en la naturaleza. Puede adaptarse a un amplio espectro de condiciones ambientales y poseen conidios resistentes a la variación de la temperatura, lo cual le proporcionan un buen mecanismo para su dispersión, además puede producir biodeterioro por su capacidad carbonoclástica y poder transformar una gran variedad de compuestos orgánicos e inorgánicos (Araujo *et al.*, 2016 a, b). Es común encontrarlo tanto en el aire exterior (Araujo *et al.*, 2013) como en el aire interior, en edificaciones históricas (Araujo *et al.*, 2017), archivos (Escalona *et al.*, 2013), salas, industrias, museos (MPPC, 2005), objetos de interés histórico y obras de arte (Nitiu *et al.*, 2016; Gaüzère, 2016; Rojas *et al.*, 2014).

Las 5 especies identificadas *A. niger*; *A. clavatus*; *A. flavus*; *A. orizae*; *A. terreus* en el aire interior de los museos evaluados también han sido reportadas en el aire de museos, bibliotecas y diversas colecciones artísticas, biológicas, momias y obras de arte (Nitiu *et al.*, 2016; Gaüzère, 2016; Skóra, 2015; Rojas *et al.*, 2014; Escalona *et al.*, 2013; MPPC, 2005).

Desde el punto de vista de salud pública las especies encontradas *A. niger* y *A. flavus* se ha reportado que pueden producir aspergilosis pulmonar como patógenos oportunistas; por su parte *A. clavatus* es ocasionalmente patógeno, *A. orizae* es utilizado para producir a partir del arroz el sake y el shochu y *A. terreus* se encuentra en todos los tipos de suelos y es útil para la producción de medicamentos (Abarca 2000; Kozakiewicz 1989). De igual manera reportamos la presencia de *Mucor sp.* y *Penicillium*

sp. las cuales pueden ser consideradas como especies patógenas oportunistas que pueden producir problemas en humanos cuando las condiciones son propicias para esto (Knutsen, 2002; Escalona *et al.*, 2013).

Los registros de la diversidad microbiana encontrada mostraron que el método de identificación de microorganismos es útil para conocer si el ambiente donde se encuentra la obra, es el más propicio y si las corrientes de aire interior donde están estas obras, son las más idóneas para evitar el biodeterioro (Rojas *et al.*, 2014).

Conclusión

Se realizó el primer estudio que evalúa la calidad del aire interior de tres museos ubicados en el área declarada como patrimonio cultural de la humanidad N° 658 por la UNESCO para conocer la situación de la colecciones frente a la variabilidad y dinámica del aire en tres museos de arquitectura colonial Europea. La información climática muestra que los resultados de bacterias se clasificaron como altos y muy altos para bacterias mientras que los hongos oscilaron dentro de la clasificación media y alta para hongos, con humedades relativas superiores a 60% propicias para el crecimiento tanto de hongos como de bacterias. Cada recinto evaluado presentó una dinámica propia y un microclima, así mismo los patios y traspacios son dispositivos bioclimáticos que permiten el recambio del aire pero que a su vez son el punto de entrada del aumento de la carga microbiana en las viviendas coloniales proveniente del aire exterior. Se encontraron bacterias Gram (+) con predominancia de *filamentos*, *bacilos*, *streptococos* y *stafilococos*, las bacterias Gram Negativas (-) encontradas fueron cocos, bacilos y cocobacilos. El principal género de hongos encontrado fue *Aspergillus* con representación de 5 de sus especies, *A. niger*; *A. clavatus*; *A. flavus*; *A. orizae*; *A. terreus* en el aire interior de los museos evaluados, el método de identificación de microorganismos fue útil para la toma de decisiones en la que se propone colocar deshumificadores y controladores de temperatura en los diversos museos estudiados, para evaluar y controlar la humedad relativa en estos recintos, se sugiere la apertura periódica de ventanas para propiciar un recambio de las corrientes internas, junto a un programa de control del aire más periódico con el fin de resguardar las diversas colecciones y evitar su biodeterioro.

Bibliografía

AENOR (2012). Conservación del patrimonio cultural. Clima interior. Parte 1: Recomendaciones para la calefacción de iglesias, capillas y otros lugares de culto. UNE-EN 15759-1. Madrid.

AENOR (2011). Conservación del patrimonio cultural. Procedimientos e instrumentos para la medición de las temperaturas del aire y de las superficies de los objetos UNE-EN 15758:2011. Madrid.

- AENOR (2014). Calidad ambiental en interiores. Parte 2: Procedimientos de inspección de calidad ambiental interior. UNE 171330-2:2014. Madrid.
- ALCÁNTARA, R. (2002). *Standards in preventive conservation: meanings and applications* (pp. 7-8). ICCROM.
- ANTOMARCHI, C., & GUICHEN, G. D. (1987). "Pour une nouvelle approche des normes climatiques dans les musées. In *ICOM committee for conservation: 8th triennial meeting*, Sydney, Australia, 6-11 September, 1987. Preprints (Vol. 3, pp. 847-851). Getty Conservation Institute.
- ARAUJO, J., ROJAS, Y., & YEGRES, F. (2013). "Evaluación aeromicrobiológica en la costa del puerto de La Vela de Coro, patrimonio cultural de la humanidad". *Multiciencias*, 13(4).
- ARAUJO, J., ROJAS, Y., YEGRES, F., *et al.* (2017). "Evaluación microbiológica ambiental en el edificio de la vieja Cárcel". *Hechos Microbiol.* 8 (1-2); 1-8
- ARAUJO, J., YEGRES, F., BARRETO, G., *et al.* (2016). a. "Biocatalizadores fúngicos hidrocarbonoclasticos del genero *Aspergillus* para la descontaminación de agua con Hidrocarburos Policíclicos Aromáticos (HPAs)". *Revista Cubana de Química*, 28(2), 703-735.
- ARAUJO-BLANCO, J., ROJAS, Y., DEPOOL, B., *et al.* (2016). "Microanálisis de una cepa de *Aspergillus niger* biocatalizadora de hidrocarburos policíclicos aromáticos HPA". *Acta Microscopica*, 25(2).
- CASAS RINCÓN, G. (1994). *Micología general*. Ediciones de la Universidad Central de Venezuela (UCV), Caracas.
- CASSAR, M. (2013). *Environmental management: guidelines for museums and galleries*. Routledge.
- COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES (CEC) (1993): *Biological Particles in Indoor Environments. European Concerted Action, Indoor Air Quality and Its Impact on Man*, COST Project 613, Report N. 12, EUR 14988 EN, Luxembourg. Disponible en: http://www.inive.org/medias/ECA/ECA_Report12.pdf.
- ESCALONA VW, SILVA, R, MONTIEL DE MORALES, M. (2013) *Aeromicrología de la colección general en la biblioteca "Dr. Ramiro Antonio Finol Ortega"* de la facultad Experimental de Ciencias de la Universidad del Zulia, tesis de grado.
- FLORIAN M.L.E. (2002) a. *Fungal Facts. Solving fungal problems in heritage collections*. Archetype Publications Ltd. London.
- FLORIAN, M.L.E. (2002) b. "The four components of biodeterioration and of preservation of our collective memory". *International Symposium a Choice and Strategies for Preservation of a Collective Memory*. Dobbiaco, Toblach, Italy.
- GACETA MUNICIPAL (1996). *Municipio Miranda Edición Extraordinaria, Ordenanza de Zonificación Arquitectura y Construcción para el Centro Histórico de Coro I*, IX N°7. p.p. 24.
- GACETA OFICIAL DE LA REPÚBLICA DE VENEZUELA (1995) No.33.024, Comité de Patrimonio Mundial. Julio XVII.
- GARCÍA, J. C. R. (2016). "Evaluación aeromicrobiológica del depósito del Centro de Documentación del Museo Nacional de la Música de Cuba". *Ge-conservación* N° 9, p. 117. Disponible en: <<https://ge-iic.com/ojs/index.php/revista/article/view/289>>.
- GAÜZÈRE, C., MOLETTA-DENAT, M., BLANQUART, H., *et al* (2014). "Stability of airborne microbes in the Louvre Museum over time". *Indoor air*, 24(1), 29-40.
- GIRALDO, J. D. C. (2014). "El cielo en la casa. Casas de patios, sol y lluvia en el Valle de Aburrá". *Cuadernos de Vivienda y Urbanismo*, 7(13).
- HERRÁEZ, J. A. (2014). *Manual de seguimiento y análisis de condiciones ambientales. plan nacional de conservación preventiva*. Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, España.
- ILSTRUP, D. M. (1990). *Statistical methods in microbiology*. *Clinical microbiology reviews*, 3(3), 219-226.
- INAMEH, (2015) "Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología", *Venezuela Boletín Climático*, Caracas.
- INSHT (1989). *Calidad del aire interior: riesgos microbiológicos en los sistemas de ventilación/ climatización. NTP 313*. Madrid: Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales.
- KERR, J. THOMAS (1998). *Introductory microbiology: Laboratory manual*, Georgia: University of Georgia.
- KOLWZAN, B., ADAMIAK, W., GRABAS, K., *et al.* (2006). *Introduction to environmental microbiology*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław.
- KOZAKIEWICZ, Z. (1989). "Aspergillus species on stored products" *Mycological Papers*. 161:1-188.
- LACAZ, C. D. S., PORTO, E., HEINS-VACCARI, E., *et al.* (1998). *Guia de identificação fungos, actinomicetos, algas de interesse médico*. Sarvier
- MICHALSKI, S. (2006). "Preservación de las colecciones", *Cómo administrar un museo: manual práctico*. París: ICOM, pp. 51-90.
- MPPC, (2005). *Manual de normativas técnicas para museos*, Ministerio de la Cultura. Venezuela.
- NITIU, D. S., MALLO, A., SAPARRAT, M., *et al.* (2016). "Survey of the state of conservation of the *Mylodon listai* (Xenarthra-Mylodontidae) skin fragment from the Pleistocene of Argentina kept at the Museum of La Plata (Argentina)". *Ge-conservación*, N°10, p.44-53, dic. 2016. ISSN 1989-8568. Disponible en: <<https://ge-iic.com/ojs/index.php/revista/article/view/367>>
- PLINCODE (2005). "Plan Integral de conservación y desarrollo de Coro, La Vela y sus áreas de Influencia", *Estudio Arquitectónico y Urbanístico Ministerio de la Cultura*, Instituto de patrimonio Cultural. Caracas: Venezuela p.p.38.

REYES-LOVERA A.M. (2016). "Coro y su Puerto La Vela: patrimonio mundial de la humanidad". *Consciencia y Diálogo*. Año 6, N° 6, Enero-Diciembre, pp. 167-182.

ROJAS YARUBIT, ARAUJO JOSÉ, NOROÑO YOSENIA, (2014). "Métodos de Microanálisis aplicados a obras de arte pictóricas", *Revista Interdisciplinaria de Ciencias y Artes, Bacoa* ISSN: 2343-5542. Año IV. Vol. 4. N° 7. Enero – Junio, p.p. 80-95.

ROJAS, Y., JORDÁN, M., YEGRES, F., et al. (2015). "Caracterización microbiológica del suelo, agua y aire en el humedal Quebrada de Guaranao", Paraguaná, estado Falcón. *Revista de la Universidad del Zulia*, 4(9).

SCHLEGEL, H. G., & ZABOROSCH, C. (1997). *Microbiología general*. Barcelona: Omega.

ISIAQ-CIB Task Group TG 42. (2004). "Performance criteria of buildings for health and comfort". 68p. *CIB* number 292. Disponible en: www.isiaq.org/docs/TG42-report.pdf

SKÓRA, J., GUTAROWSKA, B., PIELECH-PRZYBYLSKA, K., S. et al. (2015). "Assessment of microbiological contamination in the work environments of museums, archives and libraries". *Aerobiologia*, 31(3), 389-401.

UNESCO (1993). *Convention Concerning the Protection of the World Cultural and Natural Heritage*, Colombia: Cartagena 70:6-11.

UNESCO, VON DROSTER, Bernd (1994). "Comunicación WHC/74/230/426/IVH Inscripción de Coro y su Puerto" en *Decimoséptima reunión del Comité de Patrimonio Mundial*, N° 658, 28:1.

VALENTÍN V, MURO C, MONTERO J. (2015). "Métodos y Técnicas para Evaluar la Calidad del Aire en Museo: Museo Nacional Centro de Arte Reina Sofía". Ed. CARS - IIC Grupo Español pp. 63-81.

VALENTIN, N. (2003). "Microbial contamination in museum collections: organic materials". *Molecular biology and cultural heritage*, 85-91.

VALENTÍN, N. (2007). *Microbial contamination in archives and museums: health hazards and preventive Strategies using air ventilation Systems*. The Getty Conservation Institute.

YUNIS S, ARAUJO J, DIAZ A. (2014). "Calidad microbiológica del aire exterior en la zona UNESCO de la ciudad de Coro. Estado Falcón". 109. En *V Congreso Venezolano de Diversidad Biológica, Zulia*, Ministerio para el poder popular de Ciencia y Tecnología, 109.

YUNIS S, DÍAZ A, ARAUJO J. (2015) "Calidad del aire exterior utilizando bacterias y hongos miceliales como bioindicadores en el patrimonio cultural de la humanidad (UNESCO) de la ciudad de Coro; estado Falcón, Venezuela". Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda, tesis de grado

para optar al título de licenciado en Ciencias Ambientales. 112.

Autor/es



Yarubit Rojas

yarupichu@gmail.com

UNEFM (Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda)

La Profesora Yarubit Rojas es Licenciada en Ciencias Ambientales y Abogada, con maestría en Museología y especialización en microscopía y microanálisis. Docente del Programa de Licenciatura en Conservación y Restauración, del Bien mueble Cultural Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda UNEFM, Fue Becaria de la Unidad de Microscopía Electrónica y Microanálisis de la UNEFM y actual coordinadora del laboratorio de Biología, Química y Física aplicada a la Conservación y Restauración de la UNEFM, Ganadora del Premio en Ciencia y Tecnología 2014 a la mejor investigación científica. Trabaja en estudios de Microbiología y Calidad del Aire en Museos, Casas patrimoniales, Jardines y ambientes naturales, así como en el microanálisis valoración, tasación y peritaje de obras de arte desde el 2010. Posee numerosos antecedentes en Reuniones y Publicaciones en distintos ámbitos científicos nacionales e internacionales. Pertenece al comité evaluador de diversas revistas científicas.



Francisco Yegres

fyegres@gmail.com

Director de laboratorio LIADSA UNEFM (Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda)

El Profesor Francisco Yegres es Biólogo, reconocido como micólogo de gran experiencia internacional en Francia, Brasil, Italia, Japón, Colombia y Venezuela entre otros países, Doctor en Ciencias de la Salud. Conferencista Internacional junto a su esposa y también Investigadora la Dr. Nicole Richard de Yegres. Posee más de 200 publicaciones científicas y paracientíficas. Tutor de tesis de pregrado y postgrado en las áreas de las Ciencias de la Salud (Medicina, Enfermería, Gerontología, Medicina Veterinaria), Ingeniería Química, Agronómica e Industrial, y en las ciencias Ambientales, Biología y Química, Conservación y Restauración. Creador de la maestría en Micología de la UNEFM. La especie *Cladiophialophora yegresii* fue reconocida en su honor. Ganador de diversos premios en Ciencia y Tecnología así como distinciones, regionales, nacionales, presidenciales e internacionales. Director de laboratorio LIADSA UNEFM. Investigador PEII y activo desde el año 77 hasta la fecha.



José Araujo

jaab19@gmail.com

UNEFM (Universidad Nacional Experimental
Francisco de Miranda)

El Profesor Francisco Yegres es Biólogo, reconocido como micólogo de gran experiencia internacional en Francia, Brasil, Italia, Japón, Colombia y Venezuela entre otros países, Doctor en Ciencias de la Salud. Conferencista Internacional junto a su esposa y también Investigadora la Dr. Nicole Richard de Yegres. Posee más de 200 publicaciones científicas y paracientíficas. Tutor de tesis de pregrado y postgrado en las áreas de las Ciencias de la Salud (Medicina, Enfermería, Gerontología, Medicina Veterinaria), Ingeniería Química, Agronómica e Industrial, y en las ciencias Ambientales, Biología y Química, Conservación y Restauración. Creador de la maestría en Micología de la UNEFM. La especie *Cladiophialophora yegresii* fue reconocida en su honor. Ganador de diversos premios en Ciencia y Tecnología así como distinciones, regionales, nacionales, presidenciales e internacionales. Director de laboratorio LIADSA UNEFM. Investigador PEII y activo desde el año 77 hasta la fecha.

Artículo enviado el 01/12/2017
Artículo aceptado el 21/08/2019