

CAPÍTULO V

**HUMEDAD EN LOS MUROS Y BÓVEDAS
DE MAMPOSTERÍA DE PIEDRA CALIZA.
ARQUITECTURA RELIGIOSA VIRREINAL DE YUCATÁN**

Para la rehabilitación de un edificio además de los estudios de las características del entorno¹ (climatológico, geológico, hidrológico, antropológico, etc.) e incidencias del mismo sobre el monumento, es fundamental considerarlo como un objeto físico, compuesto a su vez de **elementos constructivos** (cimientos, muros y cubiertas) con unas características geométricas, físicas, mecánicas y químicas determinadas, que **pueden ser objeto de deterioro y sufrir procesos lesivos; procesos patológicos**². Para su reparación y restauración será importante conocer con precisión cuáles son esos procesos patológicos, lo que nos llevará a realizar un diagnóstico de los mismos lo más correcto posible y ello sólo lo conseguiremos con un estudio patológico exhaustivo.

Como se ha podido observar a lo largo del estudio sobre las técnicas constructivas, materiales y sistemas estructurales, estas edificaciones sufren de lesiones físicas, mecánicas y químicas, siendo la humedad una de las lesiones físicas más frecuentes que afectan a estas edificaciones.

Este apartado está enfocado al análisis del proceso patológico de las **humedades en los muros y bóvedas de piedra**, en especial de la piedra caliza, utilizada en esta región, que como se ha visto, estas edificaciones están conformados con muros de mampuestos de piedra junteados con mortero de cal y en varios edificios con mortero de *k'ankab* y *sahkab*, terciados con cal.

La piedra utilizada en la construcción es del tipo de roca sedimentaria caliza, compuesta texturalmente por granos minerales, entre los que aparece una matriz de grano muy fino y un cemento constituidos principalmente de carbonato cálcico.³

¹ V.V.A.A., *Tratamiento y Conservación de la Piedra en los Monumentos*, p. 12

² Para atacar un problema constructivo, debemos diagnosticarlo, es decir, conocer su proceso, su origen, sus causas, su evolución, sus síntomas y su estado actual. Este conjunto de aspectos del problema, que pueden agruparse de un modo secuencial, es lo que se llama proceso patológico.

³ García, "Procesos de Degradación de la Piedra", en *Procedimientos y Técnicas Constructivas del Patrimonio*, p. 176

1. Tipología de las lesiones y causas

Según Monjo, para realizar estudios de cualquier proceso patológico,...“*interesa establecer un cuadro tipológico, tanto de las distintas lesiones que pueden aparecer en un edificio y sus unidades constructivas, como síntomas de los procesos patológicos, como de las posibles causas que lo originan.*”⁴ (Cuadro 1 y 2)

Las causas de alteración de las rocas se clasifican en físicas, químicas y orgánicas o biológicas, habiendo dificultad en definir en muchos casos las causas de origen, ya que generalmente actúan todas a la vez, o, lo que empieza una, lo terminan las demás.⁵

Dentro de los factores de alteración uno de los seis es el agua (causa física), como podemos observar en la figura 1 existe una correlación e interacción entre todos los demás factores.

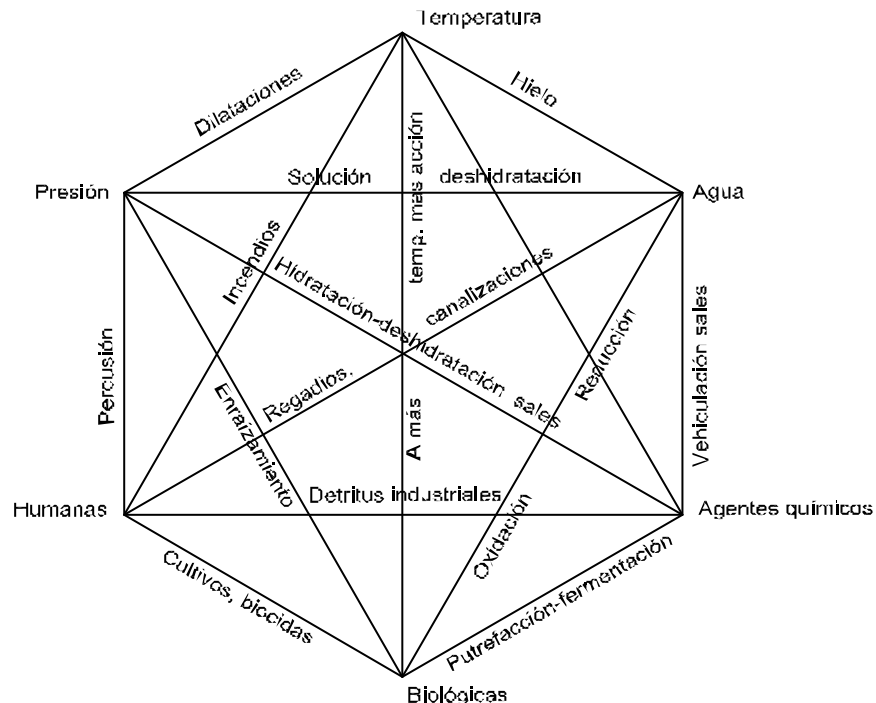


Figura 1. Factores de alteración de las rocas

Tomado de: Bernis, *Patología y cuidado de los materiales de la Construcción*, p. 97

⁴ Monjo, “La patología y los estudios patológicos”, en *Metodología de la restauración y de la rehabilitación*, p. 108.

⁵ Bernis, *Patología y cuidado de los materiales de la construcción*, p. 96

V. Humedad en los muros y bóvedas de mampostería de piedra caliza

Tipo	Lesión	Primaria	Secundaria
Físicas	A) Humedades A.1. de Obra A.2. Capilar A.3. de filtración A.4. de condensación A.5. accidental	*	*
	B) Suciedad B.1. depósito B.2. lavado diferencial	*	
	C) Erosión C.1. atmosférica	*	*
Mecánicas	D) Deformaciones D.1. flechas D.2. pandeos D.3. alabeos D.4. desplomes	*	*
	E) Grietas E.1. por carga E.2. por dilatación-contracción	*	*
	F) Fisuras F.1. por soporte F.2. por acabado	*	*
	G) Desprendimientos G.1. abombamientos G.2. caída	*	*
	C) Erosión C.2. Mecánica	*	
	H) Eflorescencias		
Químicas	I) Oxidación y corrosión I.1. oxidación I.2. corrosión	*	*
	J) Organismos J.1. animales J.2. vegetales	*	*
	C) Erosión C.3. química		*

Cuadro 1. Cuadro general de lesiones

Familia	Tipo de causa
Directas	Mecánicas - Asientos del terreno - Esfuerzos mecánicos (cargas y sobrecargas) - Empujes - Dilatación/contracción - Impactos - Rozamientos
	Físicas - Agentes atmosféricos (viento, lluvia, heladas, cambios térmicos, contaminación)
	Químicas - Contaminación ambiental - Humedad - Sales solubles contenidas - Organismos
	Lesiones previas - Humedades - Deformaciones - Grietas y fisuras - Desprendimientos - Corrosiones - Organismos
Indirectas	De proyecto - Elección Del material De la técnica y el sistema constructivo - Diseño Constructivo Pliego de condiciones
	De ejecución
	Del material - Defectos de fabricación - Cambio de material
	De mantenimiento - Uso incorrecto - Falta de mantenimiento periódico

Cuadro 2. Cuadro general de causas

2. Humedad

Se entiende por humedad el agua de que está impregnada un cuerpo, o que, vaporizada, se mezcla con el aire.⁶ En nuestro caso, es...*"la aparición incontrolada de un porcentaje de humedad superior al deseado en un material o elemento constructivo"*...⁷

Las aguas que pueden producir el inicio de la humedad se dividen en:

- . Aguas Marinas
- . Aguas de lluvia
- . Aguas absorbidas por capilaridad

La verdaderamente peligrosa es la adquirida a través de la lluvia cargada de gases nocivos o la que asciende por capilaridad procedente del suelo y que, en la mayoría de ocasiones, arrastra numerosas sustancias en disolución de origen orgánico o mineral.⁸

Pérez en su tesis "Influencia del Medio Ambiente en la Patología de los Monumentos de Alto Valor Histórico construidos con materiales pétreos naturales. Centro Histórico de la Habana", expone como uno de los factores extrínsecos de mayor incidencia en los procesos de deterioro de las edificaciones, el agua...*"bien por acción directa, hostigo de la lluvia, acción destructora del hielo en grietas y poros, disoluciones parciales o totales del material y transporte de los elementos en disolución y precipitación de sales. De forma indirecta, actúa como vehículo de transportación de los contaminantes y como medio donde se desarrollan la mayor parte de las relaciones químicas, procesos fisicoquímicos y desarrollo de seres vivos"*...⁹, también considera, que el agua que asciende a través de la estructura porosa del muro, arrastra sales que al combinarse con

⁶ Selecciones del Reader's Digest, "Gran Diccionario Enciclopédico", 1979

⁷ Monjo, *op. cit.* p. 108.

⁸ Bernis, *op. cit.*, p. 100

⁹ Pérez, "Influencia del Medio Ambiente en la Patología de los Monumentos de Alto Valor Histórico construidos con materiales pétreos naturales. Centro Histórico de la Habana", Tesis doctor en ciencias, Habana, 2000, manuscrito inédito

las del propio material evitan la evaporación, lo que produce que éste se deteriore.

2.1. La humedad como lesión.

Basándonos en la tipología propuesta por Monjo¹⁰, la humedad es una lesión de carácter físico¹¹. Al igual que otros autores como, Ulsamer y Minoves¹², distinguen, por lo menos, cinco tipos de humedad (Figura 2), en función de su causa, todas ellas de carácter físico, a saber:

1. Humedad en la construcción o de obra: En la construcción tradicional, el agua es un componente indispensable: todos los morteros se amasan con agua; las piedras contienen agua de cantera; gravas y arenas necesitan lavados previos; toda la obra cocida tiene que colocarse mojada; los hormigones necesitan riegos durante su fraguado; de manera que resulta inevitable que el edificio quede bastante húmedo. Por lo tanto, este problema es cuando su origen es la humedad aportada durante el proceso de ejecución, que no se ha dejado secar hasta que el material alcanzase su humedad de equilibrio sino que, por el contrario, se le ha aplicado un acabado superficial que actuando de barrera, ha dificultado su evaporación.

2. Humedad ascendente o capilar: En la mayoría de los casos no se puede evitar que el suelo sea húmedo. Pero el suelo puede estar saturado o no de humedad, es decir, que los poros pueden o no estar llenos de agua líquida. Una gran parte del suelo siempre está saturada de agua, formándose la capa de agua subálvea o freática cuyo nivel superior corresponde al nivel de agua de los pozos.

En realidad, el suelo se encuentra saturado de agua hasta un nivel superior a dicha capa, debido a las fuerzas capilares, tanto más subido cuanto más finos

¹⁰ Monjo, *op. cit*

¹¹ Las lesiones de carácter físico son aquellas en las que la problemática patológica está basada en hechos físicos tales como partículas ensuciantes, heladas, condensaciones, etc.

¹² Ulsamer y Joseph Ma. Minoves, *Las Humedades en la construcción*, p.p. 9-123

sean los poros; estas fuerzas “elevan” el agua a alturas superiores de 20 a 30 centímetros, en general, sobre el nivel del agua subterránea. A un nivel superior, los poros, sin estar saturados de agua absorben una cantidad más o menos importante. Finalmente, sólo muy cerca de la superficie del terreno, el contenido del agua del suelo puede ser bastante débil, gracias a la absorción por las raíces de las plantas o a la evaporación al contacto con el aire y la acción de los rayos solares. (Figura 3 y 4)

En la práctica hay que distinguir entre lo que sucede por debajo y por encima de la capa de agua subterránea. En la primera zona el suelo está saturado y el agua actúa con presión sobre cualquier parte de la obra sumergida. La fuerza de penetración será tanto mayor cuanto más se descienda por debajo del nivel del agua. En la segunda zona, es decir, por encima de la capa de agua, ésta penetra desde abajo por capilaridad. Este tipo de humedad al ascender por la estructura porosa de los elementos verticales se eleva hasta alturas, a veces, insospechadas, también se puede producir desde una plataforma horizontal cualquiera.

3. Humedad atmosférica o de filtración: Es la que proviene del exterior y penetra al interior del edificio a través de su cerramiento de fachada o cubierta, ya sea a través de sus poros, o aprovechando grietas o fisuras, juntas constructivas o de dilatación y vanos de puertas y ventanas ” *Implica, a veces, la presencia de una presión hidrostática al otro lado del cerramiento (piscinas, jardinerías, lluvia con viento, etc.) o simplemente la succión o coeficiente de absorción propio del material.*”¹³ Ortega¹⁴ opina que quizás es el más particular de las edificaciones antiguas, se hace más pronunciado con el envejecimiento de los materiales de construcción, los cuales al estar disgregados, lavadas sus superficies y el establecimiento, en ella, de sales recristalizadas originan una estructura de poros abiertos. (Figura 5)

¹³ Mojo, op. cit, p. 109

¹⁴ Ortega, *Humedades en las edificaciones*, p. 150

4. Humedad de condensación: La producida en los cerramientos como consecuencia de condensarse el vapor de agua que está en contacto o en el interior de los mismos, en su recorrido desde los ambientes con mayor presión de vapor (normalmente los interiores) hacia los de presión de vapor más baja (los exteriores). Podemos distinguir tres subtipos¹⁵ según la situación de la condensación:

- Condensación superficial interior, cuando se produce sobre la cara interior del cerramiento.

- Condensación intersticial, cuando ocurre en el interior de la masa del cerramiento o entre dos de sus distintas capas.

- Condensación higroscópica, cuando se produce dentro de la estructura porosa del material por contener sales higroscópicas que facilitan la condensación del vapor de agua ambiente.

5. Humedad accidental: Que engloba todas aquellas producidas por roturas y escapes en las conducciones o descuido de las personas, que provocan focos puntuales de humedad que aparecen más o menos cerca de su origen.

Algunos especialistas no consideran en su clasificación la humedad por construcción, sin embargo otros¹⁶ (considerando que el agua puede encontrarse en el material que nos viene a la obra, así como instalarse en ella durante su ejecución o ejecutada, usando para ello muchas vías) su prevención desde esta vertiente.

¹⁵ Monjo, *op. cit.*, p. 109 y 110

¹⁶ Ortega, *op. cit.*, p.22

V. Humedad en los muros y bóvedas de mampostería de piedra caliza

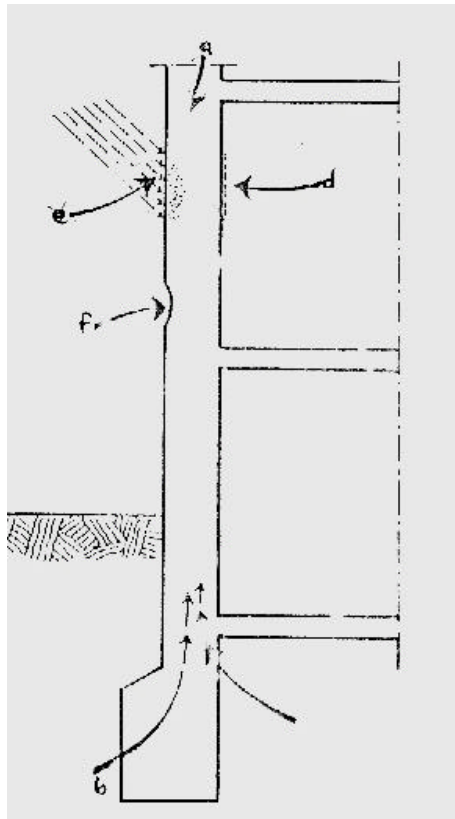


Figura 2. Causas de la presencia de humedad. a) Agua de la propia obra, b) remonte del agua del subsuelo por capilaridad, c) introducción de sales solubles, d) agua de condensación ambiental, e) agua de lluvia, penetración lateral, f) agresión de agentes atmosféricos. Tomado de: Ulsamer y Joseph Ma. Minoves, *Las Humedades en la Construcción*, 1964. p. 153

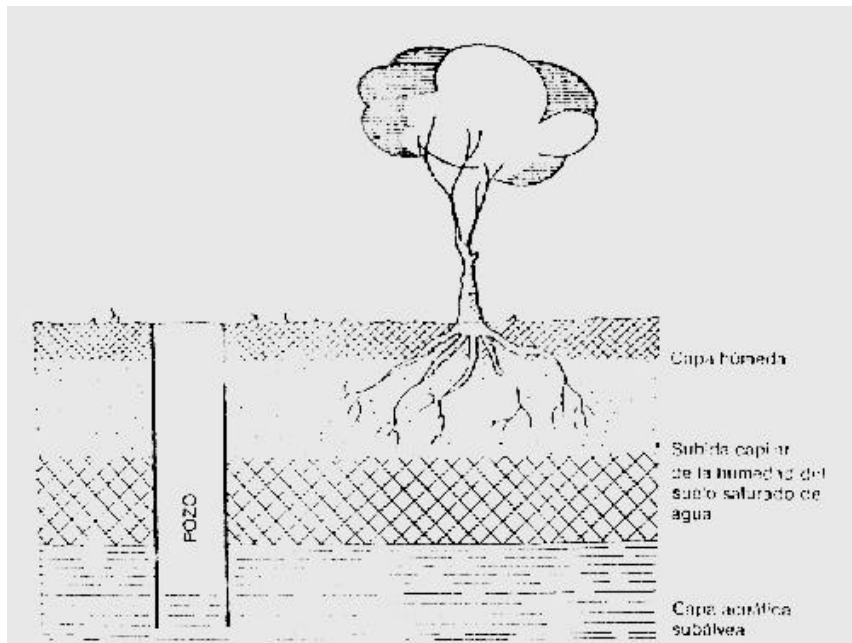


Figura. 3. Esquema de humedad del suelo

Tomado de: Ulsamer y Joseph Ma. Minoves, *Las Humedades en la Construcción*, 1964. p. 163

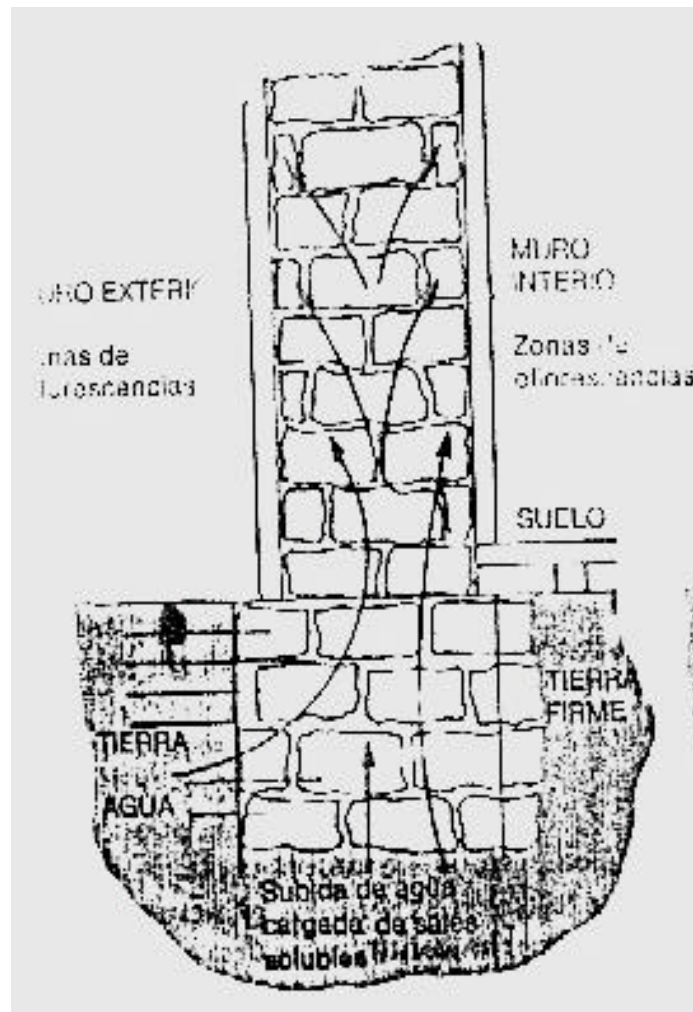


Figura 4. Comportamiento de las humedades ascendentes
Tomado de: Ulsamer, *Las Humedades en la Construcción*. 150

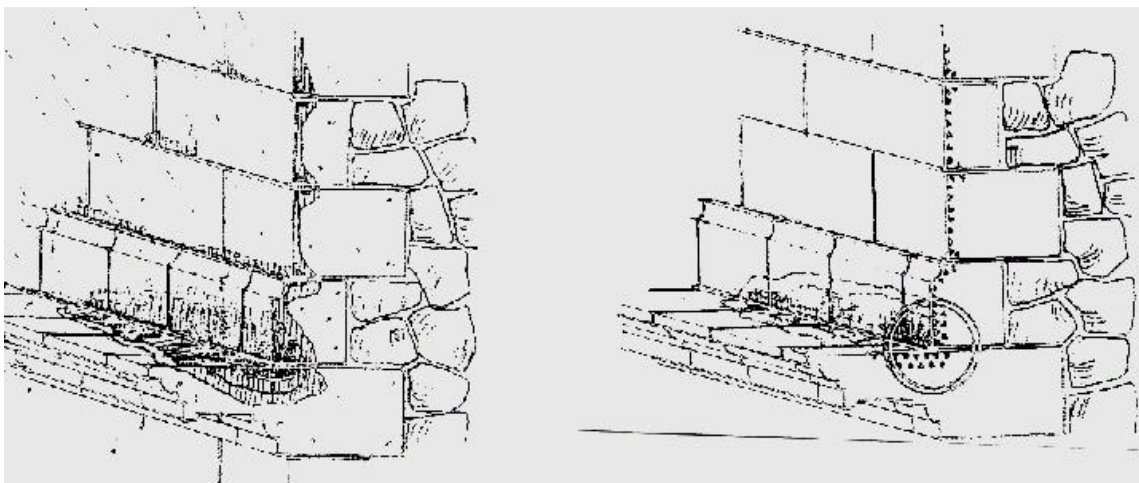


Figura 5. Concentración de humedad y cristalización de las sales en las cornisas
Tomado de: Prado, *Procedimientos de restauración y materiales: Protección y Conservación de edificios artísticos e históricos*, pp. 35-36

2.2. La humedad como causa de lesiones.

También, tomando como base la tabla 2, se observa que las humedades forma parte de las causa directa de lesiones secundarias, o sea es el agente que pone en marcha el proceso patológico ejerciendo una acción concreta sobre la unidad constructiva o sus materiales, iniciando la degradación de los mismos y que acaba en perdida de su integridad o de su aspecto.

En este caso las humedades, como lesión primaria, es origen muy corriente de Eflorescencias, organismos y erosiones, coincidiendo en sus conceptos y consecuencias autores como Andrade, Monjo, Ulsamer y Prado:

1. Eflorescencias. Se entiende como *...”la cristalización en la superficie de un material de sales solubles contenidas en el mismo que son arrastradas hacia el exterior por el agua que las disuelve, agua que tiende a ir de dentro hacia fuera, donde acaba evaporándose y permite la mencionada cristalización. Ésta suele ser en forma geométrica, según el tipo de cristal, recordando forma de flores, de donde le viene el nombre a la lesión.”*¹⁷ Se presentan como unas manchas generalmente blancas, en la superficie de los muros. Los muros de piedra son generalmente susceptibles a la aparición de este tipo de lesión ya que contienen gran cantidad de sales.

Otra variante de la eflorescencia son las llamadas criptoeflorescencias, que se dan en el interior de la obra afectada,*...” la cristalización se produce en oquedades próximas a la superficie, pero antes de llegar a estas (de ahí el nombre, del griego criptos, cueva) produciendo, a la larga, el desprendimiento de la lámina de material que queda por encima y provocando, por tanto, una erosión.”*¹⁸

Este proceso patológico es de origen químico y de hecho, la presencia de sales solubles en los elementos constructivos con cualquier tipo de humedad, pueden producir eflorescencias.

¹⁷ Monjo, *op. cit.*, p.113

¹⁸ *Ibidem*, p. 114

2. Organismos. Aunque no abundan las investigaciones sobre la acción de los agentes biológicos en los materiales pétreos, otros investigadores han expuesto la incidencia de estos agentes en la alteración de los mismos.¹⁹

A este tipo pertenecen las lesiones producidas por la presencia de un organismo vivo, sea animal o vegetal, los cuales afectan física o químicamente a la superficie de los materiales, ya sea, sólo por su presencia, o por el ataque que el mismo, o los productos químicos que segregan.

Con relación a los vegetales se distinguen las plantas de porte (arbustos y árboles) que, aprovechando los canales de desagüe o las fisuras y grietas atacan mecánicamente, ya sea por su peso o por la acción de las raíces; los vegetales menores (helechos y líquenes) que por su presencia retienen humedad manchando las superficies, propiciando a su vez la aparición de los vegetales microscópicos (mohos y hongos) que, al generar productos químicos, atacan directamente a los materiales porosos provocando erosiones y disgregación de los mismos. (Figura 5)

En lo referente a los animales, podemos mencionar el caso más incidente de las aves que habitan en las cornisas de los portales de cantera,, y que, con el excremento que producen, la humedad retenida y la acción del agua de la lluvia, generan reacciones químicas ácidas que deterioran la piedra.

3. Erosiones. La erosión química en los materiales pétreos, se manifiesta como una disgregación o arenación de sus superficies, como consecuencia de las reacciones química de sus elementos constituyentes con otras sustancias provenientes de la atmósfera o de las sales y álcalis arrastradas por las aguas de capilaridad, de filtración o accidentales.

Como consecuencia no solo se altera molecularmente el material sino que adquiere una fragilidad estructural que conlleva a su pérdida. (Figura 6)

¹⁹ Pérez, *op. cit.*, p.18

3. Humedades en los Muros y bóvedas de mampostería de piedra caliza en las edificaciones religiosas de Yucatán.

Retomando la información descrita anteriormente podemos transferir como afecta esta lesión a los muros y bóvedas de mampostería de piedra caliza característico de la región peninsular, a saber:

Debido a la ubicación en el trópico húmedo, esta región tiene 85% promedio de humedad relativa, por lo cual la humedad en la atmósfera es fuerte, impregnándose en los acabados, en la mayoría de los casos degradados, permeando por las fisuras de los mismos o por la porosidad de la piedra expuesta al perder el recubrimiento, hasta llegar a la masa de la mampostería. Debido a que la roca utilizada contiene carbonato cálcico, al evaporarse la humedad, lleva al exterior sales solubles que degradan el material que los une y los reviste, perdiéndose la adherencia, y provocando su desprendimiento. En el caso de la roca expuesta, tanto de los mampuestos sin acabados y las portadas de cantera, debido a que tiene como característica los poros finos ésta al absorber la humedad y al evaporarse, debido a las fuertes temperaturas que existen en esta región, aunado a la carga de humedad que las paredes contienen, se genera eflorescencia de sales del tipo de las peligrosas criptoeflorescencias, que son cristales que al querer cambiar de volumen con la humedad ambiental y al impedirse los poros finos de este tipo de roca, la expansión del cristal provoca presión sobre su superficie, produciendo la arenación de la misma.²⁰

Además de la humedad del medio ambiente, esta región, también tiene como característica que, a falta de embalses de agua superficial, corren en el subsuelo ríos subterráneos que en muchas ocasiones conforman depósitos de agua en cavernas que se denominan *cenotes* (Ver capítulo III). Esta característica, como se describió anteriormente, provee de agua por capilaridad al suelo que, al llegar a los cimientos de las construcciones de los edificios,

²⁰ V.V.A.A., *op. cit.*, p. 12

generan la humedad ascendente. Considerando que el proceso constructivo del cimiento y el muro es continuo, sin existir barrera alguna que impida la ascensión por capilaridad en ellos y tomando en cuenta las características ya señaladas, se producen las manchas de humedad a diferentes alturas según la cercanía del manto freático que determina la topografía del lugar. (Figura 6 y 7)

Los diferentes tipos de humedades mencionadas anteriormente, debido a la falta de mantenimiento, sobretodo en los monumentos que están en los municipios del interior de la península, propician la procreación de hongos, helechos y musgo en las bases de los muros produciendo manchas en las paredes y la cantería de los portales, que a su vez degradan la piedra (Figuras 8 y 9). También, por medio del aire, insectos y aves que transportan esporas y semillas de arbustos y árboles, alojándolas en las fisuras y grietas (producto de fallas mecánicas, que permiten la humedad y hacen perder a los materiales su capacidad resistente), dentro de las cuales crecen al encontrar la humedad y los insumos alimenticios necesarios para desarrollarse, provocando con su peso y sus raíces fracturar y desplomar los muros hasta colapsarlos.

Esta falta de mantenimiento genera también que en las cubiertas se produzcan humedades que son propicias para que crezca vegetación abundante produciéndose la variedad de humedad descendente en los muros con sus respectivas patologías, mencionadas anteriormente. (Figuras 10-13)

Además de lo mencionado en la forma de cómo se producen las patologías, derivadas de la humedad, en los muros de mampuesto de piedra y la de la cantería en fachadas, también hay que tomar en cuenta que los adornos de cantería de piedra, especialmente las cornisas y relieves retienen agua y polvo favoreciendo la humedad. En este caso el polvo acumulado, contamina el agua a partir del CO₂ y del SO₂, los cuales son fácilmente oxidables y solubles, otorgándole propiedades de ácido fuerte²¹ que, junto con los elementos del

²¹Ortega, "La Obra de Fábrica y su Patología", en *La Fábrica Pétreo y Su Patología*, p. 77

medio ambiente (ozono, el óxido de nitrógeno, etc.) sobretodo en las ciudades, contribuyen a la degradación de la piedra.

Una última observación es la que se da en los muros interiores, en los cuales la humedad, inicialmente se da por capilaridad, pues se observa que la altura que alcanza se mantiene constante debido al equilibrio de tensiones que actúan sobre las partículas de agua, es decir: la gravedad, la capilaridad y la evaporación, pero posteriormente debido al poco uso de los espacios y la poca ventilación, se produce la humedad por condensación en la cual al inicio hay un decrecimiento en la altura y en la profundidad pero luego se mantiene una constante hacia arriba.²² (Figura 14)



Figura 6. Humedad en muros.
Iglesia del ex convento de Uayma, Yucatán.

²² Pérez Martín, *Rehabilitación y Seguridad*, p. 58



Figura 7. Humedad ascendente en Muros. Iglesia del ex convento de Temax.



Figura 8. Vegetación sobre muros y torres producto de la humedad. Iglesia parroquial de Yaxcabá



Figura 9. Disgregación de morteros y erosión de la piedra. Tixcacalcupul, Yucatán.



Figura 10. Humedades causadas por grietas y desplomes en la cubierta. Ex convento de Dzidzantún, Yucatán



Figura 11. Humedades causadas por grietas y falta de mantenimiento. Filtraciones en la bóveda del presbiterio de la iglesia de Dzidzantún, Yucatán



Figura 12. Humedades por falta de mantenimiento en la cubierta de la nave de la iglesia del ex convento de Teabo.



Figura 13. Humedad por filtración producida por canal de desagüe en mal estado. Iglesia del ex convento de Conkal.

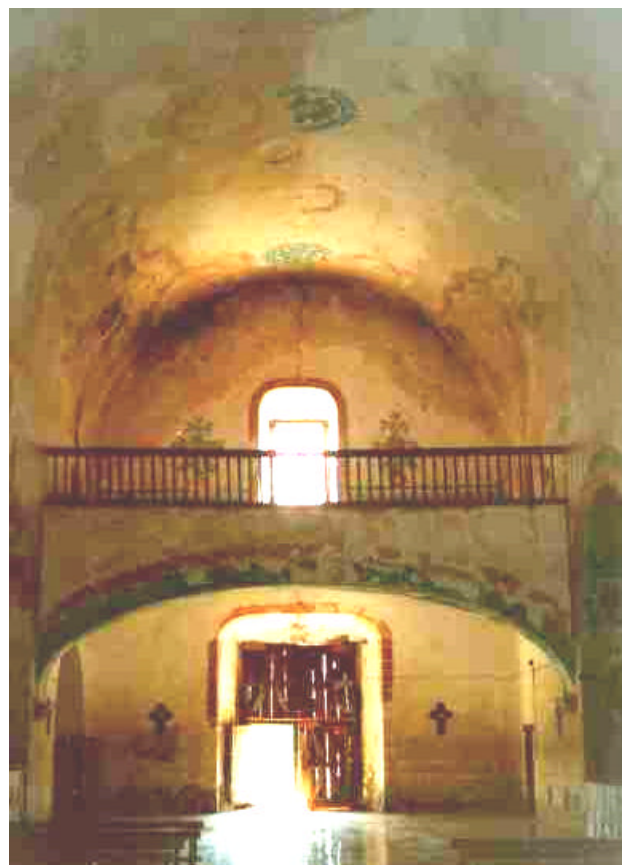


Figura 14. Interior de la iglesia de Tixcacalcupul, Yucatán. Humedades en los muros y bóvedas.

4. Conclusiones parciales.

En las edificaciones religiosas de Yucatán, una de las lesiones que más las afectan, es la humedad. Lesión física primaria más frecuente como causa de otras de origen mecánico y químico que las ponen en peligro. Por lo que se ha podido observar esta patología ha contribuido al desplome de las bóvedas al degradarse los materiales por mucho tiempo expuestos y sin mantenimiento.

Las restauraciones y rehabilitaciones llevadas a cabo en esta región no contemplan métodos para solucionar y prevenir esta patología, en particular la humedad ascendente.

En la Península de Yucatán es notoria la falta de estudios relativos a las características y resistencias del tipo de piedra utilizada en las edificaciones, así como de los materiales que conforman los morteros para la construcción de los mismos. Este conocimiento es necesario para determinar los tipos de sales solubles que se pueden producir al haber el contacto con el agua y por ende las características de las patologías (tipo de eflorescencias, ácidos y álcalis) que nos ayudarán a darles soluciones adecuadas.

También existe la necesidad de estudios sobre humedad inscritos en el ámbito de la región Peninsular, en la actualidad no existen especialistas en el medio y sólo se cuenta con algunos estudios dispersos sobre medio ambiente y sus efectos.