

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO
FACULTAD DE ARQUITECTURA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO
MAESTRÍA EN ARQUITECTURA, INVESTIGACIÓN
Y RESTAURACIÓN DE SITIOS Y MONUMENTOS



TESIS:
MECANISMOS DE DETERIORO DE LA IGNIMBRITA.
ZONA DE MONUMENTOS HISTÓRICOS DE MORELIA

PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN ARQUITECTURA, INVESTIGACIÓN
Y RESTAURACIÓN DE SITIOS Y MONUMENTOS

PRESENTA:
ARQ. ERSM. ALDO ZAMUDIO PÉREZ
arqaldoz@gmail.com
0319843-G

ASESOR DE TESIS:
DR. JUAN ALBERTO BEDOLLA ARROYO
bedollaalberto@gmail.com

CO-TUTORA:
DRA. ELIA MERCEDES ALONSO GUZMÁN
eliamercedesalonso@gmail.com

Morelia, Michoacán
Febrero 2018



MIEMBROS DEL JURADO

Asesor de tesis:	Dr. Juan Alberto Bedolla Arroyo
Co-tutora:	Dra. Elia Mercedes Alonso Guzmán
Sinodal 01:	Dra. Katia Carolina Simancas Yovane
Sinodal 02:	Dr. Andrés Antonio Torres Acosta
Sinodal 03:	Dr. Herwing Zeth López Calvo

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) a través de los programas de becas para realizar estudios de maestría y estancias de investigación, ya que esto hizo posible la culminación del presente trabajo de investigación.

A mi esposa Claudia B. Díaz Duarte por ser pilar en mi formación presente, a Megan mi hija, por su paciencia hacia papá, a mis padres por el cariño y siempre apoyo moral en cada etapa en mi vida.

A mi asesor Dr. J. Alberto Bedolla por su tiempo y apoyo incondicional en el presente proyecto, a mi co-tutora Dra. Elia M. Alonso por su siempre paciencia, apoyo moral y atenciones hacia el proyecto, al Dr. José L. Ruvalcaba por su apoyo en la estancia de investigación, a la Dra. Katia C. Simancas por escuchar y atender mis dudas durante cada etapa del proyecto, al Dr. Andrés A. Torres y al Dr. Herwing Z. López por su colaboración dentro del proyecto de investigación.

Al cuerpo académico en general del Posgrado de la Facultad de Arquitectura de la UMSNH, es especial a los profesores del programa de Maestría en Arquitectura, Investigación y Restauración, por el tiempo dedicado a nuestra generación.

Se agradece el apoyo del Laboratorio Nacional de Ciencias para la Investigación y Conservación del Patrimonio Cultural LANCIC sede Instituto de Física UNAM, a través de los proyectos CONACYT LN271614, y LN279740; así como el apoyo de los proyectos PAPIIT UNAM IN110416 y CONACYT CB 239609, por el uso de los equipos del laboratorio para la realización de esta tesis.



DEDICATORIA

A Claudia B. Díaz (mi esposa)

A Megan Zamudio (mi hija)

A mis Padres y Hermanas

A mis Asesores

RESUMEN

La Zona de Monumentos Históricos de Morelia se distingue por el uso de ignimbrita (cantera) como material de construcción dentro de la fábrica de sus inmuebles, a través de los años, por tendencias y modismos arquitectónicos, sus fachadas principales han quedado expuestas a la intemperie.

La exposición del material ha ocasionado el estado de conservación que hoy en día se observa, donde la alteración es perceptible principalmente en la parte baja de las fachadas, consecuencia de altos índices de humedad, contaminación ambiental y presencia de sales minerales.

El objetivo de la investigación fue dictaminar el deterioro de la ignimbrita a través del análisis de histórico del área, del estudio de sus propiedades físico-mecánicas. La metodología involucró la recolección de datos de factores ambientales y elementos urbanos de las fachadas de estudio; y técnicas de análisis en laboratorio. El material de análisis fue ignimbrita sana extraída de bancos utilizados históricamente para la edificación de fachadas de inmuebles históricos, cantera actualmente usada dentro del contexto.

De acuerdo con la información arrojada, el deterioro de la ignimbrita es producto de la suma entre los factores ambientales y elementos urbanos, circunstancia que altera su comportamiento mecánico y físico. Se observa un proceso acelerado de deterioro, por el efecto del intemperismo en últimas décadas.

PALABRAS CLAVE

Deterioro | Ignimbrita | Patrimonio | Mecanismo | Restauración



ABSTRACT

The Historical Monuments Zone of Morelia is distinguished by the use of ignimbrite (quarry) as construction material within the factory of its buildings, through the years, by trends and architectural idioms, its main facades have been exposed to the elements.

The exposure of the material has caused the state of conservation that is observed today, where the alteration is noticeable mainly in the lower part of the facades, as a consequence of high humidity indexes, environmental contamination and the presence of mineral salts.

The objective of the investigation was to determine the deterioration of the ignimbrite through the analysis of the history of the area, the study of its physical-mechanical properties. The methodology involved the collection of data on environmental factors and urban elements of the study facades; and laboratory analysis techniques. The analysis material was healthy ignimbrite extracted from banks historically used for the construction of facades of historic buildings, quarry currently used within the context.

According to the information provided, the deterioration of ignimbrite is the result of the sum of environmental factors and urban elements, a circumstance that alters its mechanical and physical behavior. An accelerated process of deterioration is observed, due to the effect of weathering in recent decades.

KEYWORDS

Deterioration | Ignimbrite | Heritage | Mechanism | Restoration

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN

Introducción.....	01
Planteamiento del problema.....	06
Preguntas de investigación.....	09
Hipótesis.....	10
Antecedentes de investigación.....	14
Justificación.....	29
Objetivos.....	31
Marco conceptual.....	32
Metodología.....	40

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

I	Antecedentes.....	47
I.1	Apropiación y uso de la ignimbrita en la Zona de Monumentos Históricos de Morelia.....	48
I.2	Aspectos históricos relevantes de la Zona de Monumentos Históricos de Morelia.....	53
I.3	Antecedentes de investigación. Material pétreo y su estado de conservación.....	62

CAPÍTULO II. DETERIORO DE LA IGNIMBRITA

II	Deterioro de la ignimbrita.....	79
II.1	Deterioro de la ignimbrita Agentes de deterioro de la ignimbrita.....	80
II.2	Deterioro producido por el efecto de humedad.....	85
II.3	Deterioro producido por el efecto de las sales.....	90

II.4	Deterioro producido por el efecto de la contaminación ambiental.....	98
II.5	Evaluación de la contaminación urbana de Morelia.....	108

CAPÍTULO III. EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE LA IGNIMBRITA

III	Evaluación de las propiedades de la ignimbrita Metodología aplicada para la evaluación de las propiedades de la ignimbrita.....	115
III.1	Generalidades.....	116
III.2	Desarrollo experimental.....	127
III.3	Instrumentos y técnicas de aplicación.....	128
III.4	Resultados de la etapa de muestreo.....	148

CAPÍTULO IV. EVALUACIÓN DE DETERIORO EN LA IGNIMBRITA

IV	Evaluación del deterioro en la ignimbrita.....	151
IV.1	Evaluación del deterioro en la ignimbrita Análisis del deterioro de la ignimbrita de la Zona de Monumentos Históricos de Morelia.....	152
IV.2	Instrumentos y técnicas analíticas de aplicación.....	165
IV.3	Resultados de la evaluación del deterioro en la ignimbrita.....	178

CONCLUSIONES

	Conclusiones.....	180
--	-------------------	-----

BIBLIOGRAFÍA

	Bibliografía.....	186
--	-------------------	-----

GLOSARIO

	Glosario.....	196
--	---------------	-----

ÍNDICE DE FIGURAS

Índice de figuras.....	199
------------------------	-----

ÍNDICE DE TABLAS

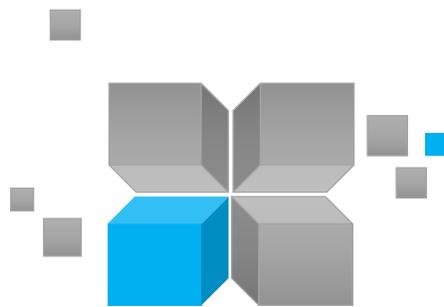
Índice de tablas.....	205
-----------------------	-----

ANEXO I

Monitoreo unidades de análisis.....	207
-------------------------------------	-----



Introducción



La arquitectura es un acto social por excelencia, arte utilitario, como proyección de la vida misma, ligada a problemas económicos y sociales, no únicamente a normas estéticas [...]. Para ella, la forma no es lo más importante, su principal misión: resolver hechos humanos.

Carlos Raúl Villanueva.

INTRODUCCIÓN

Los especialistas en temas afines a la arquitectura, historia y otras disciplinas ligadas a la conservación del patrimonio cultural material, en conjunto forman grupos de trabajo multidisciplinares, lo cual día a día manifiesta un mayor interés por su salvaguarda así como su permanencia, lo anterior por ser parte de la memoria cultural de la historia de las sociedades, reflejo de la vida cotidiana, costumbres y creencias de la nación.

Conforme ha pasado el tiempo el tema en relación al deterioro de materiales pétreos y su conservación ha creado el desarrollo de nuevas líneas de investigación y tecnologías, mismas que han generado reflexión y nuevos enfoques conforme a la protección del material, es decir el objetivo deja de ser únicamente el lado estético y pasa a valorarse como la permanencia del mismo, situación que permitió la introducción de objetivos y justificaciones reveladoras para la elaboración de planes de restauración, conservación y protección.

Actualmente el análisis del deterioro de los materiales pétreos que conforman los cascos históricos ha volcado su mirada al fenómeno producido por el efecto negativo que dejan el conjunto de factores físicos (efectos ambientales) sobre los materiales, situación que repercute en la vulnerabilidad y alteración del material,¹ visto desde la perspectiva que el deterioro superficial transforma completamente la superficie del material.²

Los factores ambientales que con mayor grado de interacción afectan, cambian o transforman a la estructura de los materiales pétreos son: la

¹ Mayelin González Trujillo, *et al*, "Variables ambientales y la relación capilaridad-deterioro: viviendas coloniales del centro histórico de Santiago Cuba" en *Arquitectura y Urbanismo*, vol. 34, no. 3, Septiembre-Diciembre 2013, p. 01.

² Teresa Palomar Sanz, *et al*, "Patologías y estudio analítico de materiales procedentes de mosaicos de Carmona Itálica" en *Materiales de Construcción*, vol. 61, no. 304, octubre-diciembre 2011, pp. 629-636.

precipitación pluvial, cambios bruscos de temperatura, pérdida y acumulación de humedad, presencia de vientos dominantes y radiación solar.³

Sin embargo no debemos perder de vista que los materiales pétreos tienen la capacidad de absorber o amplificar el daño; dicha situación se presenta de acuerdo a las propiedades que conforman cada estructura en particular. Por otra parte no solo interviene el efecto de la carga ambiental sobre los materiales de construcción; las técnicas constructivas empleadas representan otra de los factores de alteración, para el caso del presente trabajo no se abordan procesos constructivos.

Uno de los materiales con gran porcentaje de uso dentro de la fábrica constructiva de la zona de monumentos históricos de Morelia es la ignimbrita,⁴ material que ha estado expuesto durante décadas al efecto del intemperismo, situación por la cual hoy en día presenta procesos de deterioro originando patologías que poco a poco degradan el material, así como la transformación de sus propiedades físicas y mecánicas siendo estos elementos fundamentales para su estabilidad y durabilidad.

Una vez que la ignimbrita se encuentra bajo la presencia de mecanismos de deterioro activos poco a poco tienden a observarse la alteración de sus superficies en una primera etapa, a la postre se originarán los cambios de sus propiedades mecánicas. Situación que repercute al estado de conservación del material pétreo.

La zona de monumentos históricos de Morelia es un área integrada por el conjunto de construcciones históricas patrimoniales donde comúnmente se

³ Mayelin González Trujillo, *op. cit.*, p. 05.

⁴ La ignimbrita es un cuerpo rocoso compuesto principalmente por material pumicítico que muestra evidencias del emplazamiento de un flujo de una concentración de partículas incandescentes que pudo haberse generado por diferentes tipos de erupciones y regímenes de depósito, el cual se localiza en la región de Morelia.

localiza el uso de la ignimbrita como material de fábrica tanto estructural como ornamental y/o decorativa como una de las principales características arquitectónicas y estructurales. Rasgo que comúnmente se visualiza en la diversidad de elementos que componen a las estructuras de la zona del contexto histórico- urbano.

El estado de conservación grave de la ignimbrita que actualmente se observa en las fachadas del conjunto de inmuebles que componen la zona de monumentos fue el interés por enfocar el tema de investigación al estudio de los mecanismos de deterioro de la ignimbrita de la zona de monumentos históricos.

El primer acercamiento al tema de investigación fue en relación de observar la alteración superficial de la ignimbrita integrada en las fachadas principales de los inmuebles de la zona de monumentos, para luego comenzar con el análisis de los resultados que puede presentar la ignimbrita luego de encontrarse dentro de mecanismos de deterioro.

Finalmente la tesis se presenta en cuatro apartados en los cuales se argumenta el inicio del deterioro de la ignimbrita, los principales agentes de deterioro, la capacidad que cada estructura tiene de soportar a los agentes de deterioro y la presencia de elementos ajenos a la estructura de la ignimbrita que intervienen en la transformación del material.

La metodología de investigación comprendió diversas fases, en una primera etapa fue la prospección de la zona de monumentos históricos de Morelia, la cual tuvo como objetivo observar el estado de conservación y el grado de deterioro de la ignimbrita integrada dentro de las mamposterías de fachadas principales en inmuebles de carácter histórico patrimonial dentro

de la zona de monumentos dejando de lado etiquetas de estilos, temporalidades y usos.⁵

Posteriormente se realizó la fase de registro y monitoreo de las unidades de análisis seleccionadas con el objetivo de observar el comportamiento del material frente a factores ambientales como: vientos, asoleamientos, temperaturas, etc., así como de los elementos urbanos tales como: orientación de fachadas (ubicación de la mampostería), altura de humedades, carga vehicular, dimensión de vialidades y fachadas, etc. A la par se realizó el levantamiento del estado de conservación de las mamposterías seleccionadas con el objetivo de determinar las patologías, alteraciones y causas bajo las cuales se encuentra sometido el material pétreo.

La penúltima fase fue la selección de los bancos de extracción de cantería sana, el objetivo de la fase fue realizar la caracterización⁶ física y mecánica de los diferentes tipos de ignimbrita, lo cual permitió conocer las particularidades que cada banco selecto presenta, así como comprender el mecanismo de deterioro que determina el estado de conservación que hoy en día se observa en los múltiples inmuebles de la zona de monumentos.

La última fase fue la toma de muestras de ignimbrita de las unidades de análisis con el objetivo de realizar la caracterización microestructural, tanto de muestras sanas como de deterioradas. El objetivo de dicha fase fue dictaminar el mecanismo de deterioro de la ignimbrita. Aunado a lo anterior en cada una de las fases anteriores se realizó el estudio de la bibliografía

⁵ La selección de las mamposterías deterioradas tuvo como objetivo diagnosticar el mecanismo de deterioro con mayor presencia dentro de los inmuebles que se localizan dentro de la zona de monumentos históricos de Morelia una vez que se dictaminó que la alteración de las ignimbritas se presentó con mayor alteración al tenerlas sometidas al efecto del intemperismo por la falta de recubrimientos a maneja de protección.

⁶ El objetivo de la caracterización de los bancos de cantera (ignimbrita) fue realizar el desglose de los elementos que componen a la estructura en particular de cada banco seleccionado.

pertinente a cada tema, además se realizó la confrontación de datos de acuerdo a la exposición de los diferentes autores del tema versus lo encontrado en sitio, finalmente se encuentran las conclusiones, así como las reflexiones del tema de investigación.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Hoy en día existe un importante proceso de deterioro presente en la ignimbrita utilizada en mamposterías de construcciones en la zona de monumentos históricos de Morelia. La alteración se debe en gran medida al efecto que ha provocado el intemperismo del material, situación que se agudizó por el retiro de los recubrimientos de la ignimbrita en fachadas a través de los años como resultado de la toma de decisiones en cuanto a la idea de observar el material base de construcción.⁷

Cabe mencionar que la costumbre del retiro de elementos de protección a la ignimbrita presente en mamposterías es una actividad que se ha continuado hasta años recientes,⁸ situación por la cual el deterioro de la ignimbrita día a día presenta mayores porcentajes de deterioro y alteración.

El efecto de intemperismo de la ignimbrita ha originado la existencia de diversas patologías, producto de la suma entre los contaminantes ambientales, de los procesos cíclicos de pérdida y acumulación de humedad y el efecto de la cristalización de sales, en conjunto forman el mecanismo de deterioro actual de la ignimbrita de la zona de estudio.

⁷ Manuel González Galván, "Morelia; autenticidades y ocultamientos" en *Morelia 460*, cuatrimestral Mayo-Agosto, No. 2, 2001, pp. 23-28.

⁸ Eugenio Mercado López, *Ideología, Legislación y Patrimonio Cultural, Legislación local para la conservación del patrimonio urbano-arquitectónico en Morelia, 1985-2001*, Morelia, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, 2013, pp. 212-217.

La agresividad atmosférica en la ciudad de Morelia fundamentalmente se debe a las acciones de mano de su propia sociedad, lo anterior es el resultado del aumento de tránsito vial-urbano y su contaminación, provocando contaminantes que favorecen al proceso de degradación de la ignimbrita.

De acuerdo al Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población de Morelia presentado en el año 2004, una de las causas de mayor impacto a la contaminación ambiental es ocasionada por las fuentes móviles, lo cual para ese año tenía que ver con la operación equivocada de los semáforos, la saturación del transporte público en la zona centro de la ciudad, el parque vehicular creciente y los vehículos automotores en malas condiciones,⁹ Mikhail Ostroumov menciona que las actividades de la sociedad "...están relacionados con el ambiente específico urbano que conducen a la transformación de los materiales".¹⁰

Una vez detectados los factores presentes en los procesos de alteración y deterioro de la ignimbrita utilizada en las mamposterías se expresa lo siguiente: la suma del ciclo presente entre los agentes de contaminación ambiental, humedad/sequedad y el efecto de la cristalización de sales en conjunto provocan uno de los principales mecanismos de deterioro con mayor grado de deterioro, cabe señalar que dicho proceso transforma lenta y paulatinamente la composición física y mecánica de la ignimbrita.

Ciertamente todos los materiales naturales tienden a determinado proceso de degradación, estos se denominaran procesos internos; sin embargo es necesario determinar las propiedades físicas y químicas del material con el

⁹ Programa de desarrollo urbano del centro de población Morelia 2004, fuente: Dirección de Protección al medio ambiente. Agenda 21 del Municipio de Morelia, 2003. Secretaría de Gobernación. Los Municipios de Michoacán. México D.F. 2002.

¹⁰ Mikhail Ostroumov, *et al*, "Mineralogía y geoquímica de los procesos de degradación en monumentos históricos: en primer acercamiento a un caso mexicano (Morelia, Michoacán)", en *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, Vol. 20, No. 3, 2003, pp. 223-232.

objetivo de determinar qué tan parcial o profundo puede ser su alteración. La ignimbrita tiene la característica de presentar su alteración de forma lenta o acelerada, lo cual responde a su estructura de composición interna en conjunto con los procesos externos, mismos que son influenciados por diversas condiciones.¹¹

Los diferentes factores bajo los cuales se encuentra sometida la ignimbrita, desde el punto de vista ambiental, son: la humedad relativa, temperatura, precipitación pluvial, vientos dominantes, insolación, contaminación ambiental, entre otros. Existen otros factores que contribuyen a su alteración, tales como: reparto no uniforme de esfuerzos y tensiones, así como la mezcla de diferentes materiales dentro de los sistemas constructivos.

La alteración de la ignimbrita utilizada en las edificaciones del patrimonio histórico se presenta de diversas formas y circunstancias, por lo cual su análisis debe ser detallado, es decir que no se puede caracterizar de forma general entre uno u otro tipo. Al respecto de lo anterior Luis A. Torres comenta que en cierta medida el estudio se complica,¹² sin embargo, gracias a la puesta en valor de la arquitectura del sitio y el interés por parte de los especialistas es que se han presentado estudios relacionados con la conservación de los materiales pétreos.

Por otra parte, el éxito de los estudios dentro del área abordada comprenden generalmente trabajos multidisciplinarios con la interacción de arquitectos, ingenieros civiles, químicos, geólogos, historiadores y demás especialistas que están relacionados con el objeto de estudio, los anteriores

¹¹ Ramón Zarraga, Núñez, *et al.*, "La investigación científica en la conservación de monumentos de cantera", *Acta Universitaria*, mayo-agosto, Vol. 16, No. 02, Universidad de Guanajuato, Guanajuato, pp. 38-50.

¹² Luis Alberto Torres Garibay, "Lecturas aplicables a la restructuración del patrimonio virreinal construido" en Catherine Rose Ettinger McEnulty y Salvador García Espinosa (coord.), *Michoacán: Arquitectura y Urbanismo. Patrimonio en Transformación, Morelia Michoacán*, División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Arquitectura, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, 2008, pp. 33-38.

con el propósito de brindar conocimiento a través de sus líneas de investigación y con ello poder dictaminar de forma clara y precisa la evaluación de los mecanismos de deterioro.

PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

De acuerdo al deterioro que presenta la ignimbrita utilizada dentro de las mamposterías en inmuebles de la zona de monumentos históricos de Morelia y por el estado actual de conservación del aspecto estético de la ignimbrita en inmuebles de carácter histórico patrimonial despertó el interés por el tema, una vez que la información se analizó en anteriores investigaciones a través de trabajos en tesis de posgrado, ponencias, libros, revistas, etc., se pueden elaborar las siguientes preguntas de investigación:

- En relación a las condiciones urbanas y de acuerdo al estado actual de deterioro de los inmuebles históricos ubicados dentro de la zona de monumentos históricos de Morelia, ¿Cuáles son los agentes que mayormente propician el deterioro físico-mecánico de la ignimbrita utilizada en las mamposterías de los inmuebles histórico patrimoniales de la zona de monumentos históricos de Morelia?
- De acuerdo al diagnóstico del estado de conservación de la ignimbrita en las fachadas principales del conjunto de inmuebles patrimoniales de la zona de monumentos históricos de Morelia ¿Qué sucede con la ignimbrita de las mamposterías bajo al efecto del intemperismo en relación a sus propiedades físico-mecánicas?
- ¿Qué deterioro físico se produce en la ignimbrita de las mamposterías al estar dentro de un proceso de cíclico de humedad/sequedad en conjunto con la presencia de contaminantes atmosféricos depositados en la ignimbrita?

- ¿Cuáles son los factores que favorecen al desarrollo de los procesos de deterioro de la ignimbrita utilizada en las mamposterías de los inmuebles de la zona de monumentos históricos de Morelia?

Una vez que se conocen los factores que condicionan y que se involucran en los mecanismos de deterioro que producen y determinan la alteración y pérdida del material pétreo, es que podemos realizar la siguiente interrogante:

- De acuerdo a las actuales condiciones de deterioro físico-mecánico producido por la carga ambiental aunado a la presencia de humedad y sales ¿Cuál es la proyección de vida que se estima para la ignimbrita utilizada en las mamposterías de los inmuebles dentro del centro histórico de Morelia?

HIPÓTESIS

La ignimbrita naturalmente desde el proceso de extracción sufre determinado proceso de deterioro, sin embargo una vez integrado el material pétreo dentro de las construcciones su alteración logra tener un porcentaje alto de deterioro de acuerdo a varios procesos en los cuales intervienen: el tipo de material y sus características físicas, mecánicas y químicas, así como la interacción con el medio ambiente y su carga.

La ignimbrita utilizada en las mamposterías de los inmuebles históricos con mayor exposición de deterioro principalmente se presenta en la zona inferior de las mamposterías, comúnmente se le conoce como zócalo o zoclo. Se asume que el deterioro con mayor frecuencia se genera de acuerdo a la presencia de humedad por capilaridad, el efecto de la cristalización de sales y la absorción de agentes atmosféricos en cuanto a la contaminación ambiental producto de la quema ineficiente de combustibles fósiles. Cabe

señalar que el deterioro con mayor presencia se localiza en la zona anteriormente expuesta en comparación con el resto de la mampostería.

La magnitud de daño generalmente es ocasionada de acuerdo al agente implícito, así como la alteración física y mecánica de la ignimbrita, sin embargo el actuar ambos agentes se presentan características específicas que a consecuencia logran mecanismos de deterioro con mayor agresividad, se presenta el proceso de aceleración de la descomposición al material, resultado en la pérdida del mismo.

La ignimbrita es un material que contiene diversas características físicas, las cuales son factor decisivo para que logre ser percedera bajo situaciones no agresivas, naturalmente uno de los distintivos del material pétreo es su estructura poroso; a mayor presencia de poros presentará mayor absorción de humedad y contaminantes, una vez que estos se encuentran dentro del material logran la alteración de su estado físico.¹³

La humedad es observada como uno de los mecanismos de transporte para que las sustancias emitidas por la carga ambiental afecten en primer lugar la superficie del material pétreo y luego comiencen con procesos de alteración a la estructura, es decir se presenta un proceso de oxidación de la ignimbrita lo cual repercute directamente a la durabilidad del material, sucesivamente se origina la pérdida del mismo.

Según Miguel Gómez Heras¹⁴ los factores que influyen en el deterioro de los materiales pétreos se dividen en internos (propiedades intrínsecas del material) y externos (características de la atmosfera donde se ubica el edificio). Es esencial conocer los agentes internos de la ignimbrita como su:

¹³ S. Sánchez Moral, *et al*, "Deterioration of building materials in Roman catacombs: The influence of visitor" en *Science of The Total Environment*, vol. 349, October 2005, p. 274.

¹⁴ Miguel Gómez Heras, *Procesos y formas de deterioro térmico en piedra natural del patrimonio arquitectónico*, Tesis de Doctorado en Petrología y Geoquímica, Madrid España, Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Ciencias Geológicas, 2005.

mineralogía,¹⁵ porosidad¹⁶ y estructura¹⁷ con el objetivo de determinar su vulnerabilidad.

El análisis de los agentes externos es ineludible al tener como objetivo identificar los causantes de las alteraciones de la ignimbrita, en ese sentido se encuentra el agua, la cual en varios si no que en todos los procesos de deterioro tiene participación importante, puede detonar procesos físicos, químicos y biológicos de alteración a los materiales pétreos.

Las condiciones meteorológicas representan otro de los factores externos que determinan e influyen en el porcentaje de deterioro de la ignimbrita, de acuerdo a la presencia de vientos, precipitaciones, insolación, entre otros, se presentan procesos de mezcla de contaminantes, dicho agente es el transporte para que exista la deposición de partículas finas (PM 2.5)¹⁸.

Aunada a lo anterior existe la problemática presente por el efecto de la cristalización de las sales, proceso de deterioro presente de acuerdo a la estructura porosa y mediante la hidratación y deshidratación de la estructura de la ignimbrita.

Al existir el proceso cíclico de pérdida y acumulación de humedad en determinado tiempo se genera un proceso de acumulación de sales, una vez que las sales están depositadas dentro de los poros del material y dentro de un proceso cíclico de pérdida y ganancia de humedad en consecuencia se origina un estado de exfoliación acelerada.

¹⁵ Mineralogía: es esencial poder entender y analizar los procesos de transformación a los cuales puede estar expuesta la roca mediante el estudio mineralógico en base a las propiedades físicas y químicas.

¹⁶ Porosidad: factor determinante que propicia o no la alteración, por el hecho de contemplar espacios en los cuales pueda alojarse tanto agua como contaminantes.

¹⁷ Estructura: quizá sea la característica interna más importante en cuanto al proceso de alteración, ya que responde al hecho de la granulometría de la roca (mucho depende del tamaño de la partícula del material).

¹⁸ Las partículas finas PM 2.5 son partículas en suspensión con un diámetro aerodinámico de hasta 2.5 µm, denominadas partículas finas o fracción fina (que por definición incluye a las partículas ultrafinas).

El efecto de la cristalización de la sales es visto como una de las causas de alteración más fuertes debido a que la estructura interna del material pétreo se encuentra sometido al cambio de tamaño de los poros internos, lo cual ocasiona diferentes presiones entre los espacios de la misma, el proceso incluye la presencia de grietas, mismas que fracturan el material dejando como resultante el desequilibrio de la estructura.

Una vez que el material pétreo se encuentra deteriorado por los factores antes mencionados interviene la carga mecánica, la cual representa uno de los factores a considerar ya que la estructura luego de encontrarse sometida al mecanismo antes mencionado sufrirá determinada vulnerabilidad, situación por la cual se presentan fracturas, fisuras o el fragmento total o de segmentos de la ignimbrita.

Sin embargo para que se logre el deterioro o alteración del material se tienen que presentar acciones físicas internas al material, mismas que al relacionarse con la agresividad ambiental se complementarán los procesos de deterioro abrasivos de la ignimbrita, circunstancia que logra observarse al encontrar la relación que existe entre el alto de las fachadas, orientación, ancho de calles, flujo del tránsito vial, materiales utilizados en la pavimentación de calles y banquetas.

Actualmente se observa como la alteración del material pétreo lamentablemente es un proceso irreversible, gracias a la diversidad de factores que intervienen en el proceso de desarrollo del deterioro, incluyendo el daño que en muchas de las ocasiones es a causa de efectos por la misma sociedad, en el caso específico de la zona de monumentos históricos de Morelia se observan edificaciones históricas que poco a poco presentan la descomposición de su material, por lo cual se origina la siguiente pregunta: ¿qué es lo que ha propiciado al fenómeno de

deterioro?, la respuesta se encuentran en varios puntos de vista y diversas situaciones.

Gracias a los estudios realizados por la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Arquitectura con la finalidad de conocer la problemática y sus dimensiones en cuanto a la pérdida actual del patrimonio edificado en la zona de monumentos históricos de Morelia, se tiene como resultado que:

Existe un incremento notable en el deterioro de los bienes edificados, debido principalmente a la emigración de la población a las periferias, provocando el abandono de las viviendas; así como también los diversos cambios de uso de estos inmuebles.¹⁹

Es así como vemos la existencia de un problema real en relación al deterioro y la pérdida del material de fábrica de los inmuebles ubicados en la zona de monumentos históricos de Morelia. Situación por la cual se requieren planes con el fin de disminuir el deterioro en las edificaciones históricas de la ciudad, así como la investigación a profundidad de las actividades que contribuyan a la preservación del material pétreo.

ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN

(Estado del arte)

Los materiales utilizados para la construcción de edificaciones antiguas debían de cumplir con ciertas características y condiciones generales, ejemplo de ello su composición interna, color, lustre, dureza, peso, etc., innumerables construcciones; sin mencionar usos en específico, a través de los diferentes continentes se construyeron con el empleo de materiales pétreos, mismos que son extraídos de entornos naturales con el objetivo y la

¹⁹ Héctor Javier, González Licón y Calos Alberto Hiriart Pardo, División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, 2014.

necesidad de crear nuevos espacios, además de la tarea por culminar otros más.

El caso de nuestro país no es la excepción, el uso y empleo de los materiales naturales en sus construcciones es una de las características que se han observado a lo largo de sus múltiples manifestaciones espaciales tanto de culturas antiguas como de obras realizadas durante o a raíz del virreinato, hasta nuestros días.

Para el caso específico de Morelia, propiamente de espacios ubicados en lo que hoy en día conforma la zona de monumentos históricos de Morelia se llevarían a cabo obras que en su gran mayoría utilizaron la ignimbrita “cantería” como componente de aislamiento, soporte y protección a la intemperie, razón por la cual se ha presentado el interés por realizar la investigación en torno a lo que acontece a este material, con el enfoque hacia la preservación y conservación de los edificios históricos.

El patrimonio edificado mexicano cuenta con 85,000 edificios aproximadamente, de los cuales 6,000 se localizan en el estado de Michoacán, 1,100 se hallan en el centro histórico de la ciudad de Morelia,²⁰ valor sustancial y significativo que defiende y porta el nombramiento como Morelia Patrimonio Cultural de la Humanidad por la UNESCO en el año 1991.²¹ Parte de este patrimonio es valorado desde una visión simbólica, la cual contempla cierto valor económico ello por influir aspectos del tipo comercial y turístico.²²

²⁰ M. Zavala Cornejo, L.E. Alejo Guerra. y G. Martínez Ruiz, “Comportamiento sísmico de edificios de tipo religioso de los siglos XVI-XVIII en el centro histórico de la ciudad de Morelia, Michoacán”, en *Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica, XIX Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica*, 6-9 de Noviembre 2013, Boca del Río Veracruz, pp. 1-19.

²¹ F. F. Hernández Orejel, *et al*, “Propiedades dinámicas experimentales para edificios históricos de la ciudad de Morelia”, en *Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica, XIX Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica*, 2011, Aguascalientes, Aguascalientes, pp. 1-14.

²² Klamer y Zuihdhof, citado por: Eugenio Mercado López, “Conservación del patrimonio edificado y políticas públicas: del concepto a la práctica en el estado de Michoacán, México”, en *Palapa*, Vol. V, no. II, Julio-Diciembre 2010, pp. 15-26.

Al observar hoy en día los diferentes elementos que conforman la urbanización del centro histórico de la ciudad veremos con gran influencia el uso de la ignimbrita o piedra de cantera tanto en: plazas, monumentos, construcciones de tipo religiosas, civiles, etc., característica y práctica parte de la cultura que genera todo un dialogo con la traza y la arquitectura del sitio, escenario que porta una de sus características principales: La Ciudad Rosada de la Nueva España.²³

El tema ha sido abordado por las ciencias duras: física, química, geología, etc., en mayor proporción por países ubicados en Europa, sin embargo también se localizan investigaciones en países de América, por lo que esta revisión del estado del arte se basará en artículos resultado de investigaciones.

En relación a los estudios que se han elaborado en el campo de los mecanismos de deterioro de los materiales pétreos, se puede mencionar que son enfocados a fenómenos especiales, encontrando el interés por conocer y demostrar bajo cuales son las circunstancias de detrimento en que se encuentra el material de construcción. Los resultados expuestos por parte de los diferentes investigadores asociados al tema se pueden encontrar a través de libros, artículos científicos, revistas, tesis de posgrado, libros colectivos, conferencias, seminarios, etc.

Los trabajos que se han presentado en relación al deterioro de los materiales pétreos se han realizado desde enfoques multidisciplinarios, con respecto a ello Harold Lasswell comenta acerca de la necesidad de tener una visión multimedios en cuanto a la apertura del conocimiento y con diversas perspectivas orientadas al descubrimiento del conocimiento y la razón.²⁴

²³ P. Corona Chávez, B. Bigioggero y V. H. Garduño Monroy, "La piedra de cantera desarrollo entre la tradición y la cultura", en *Memoria del primer foro internacional La piedra de cantera en Morelia Retrospectiva y Perspectivas*, Morelia, H. Ayuntamiento Morelia, 1998, pp. 21-34.

²⁴ Harold Lasswell, citado por: Allan Abarca Rodríguez, "Las políticas públicas como perspectiva de análisis", en *Ciencias Sociales*, vol. III, no. 97, 2002, pp. 96.

Ejemplo de ello es la diversidad de disciplinas de trabajo con la visión por parte de arquitectos, ingenieros civiles, ingenieros ambientales, químicos, geoquímicos, geólogos, arqueólogos, etc., quienes escriben desde su perspectiva disciplinar.

Con respecto a diversos autores e investigaciones internacionales presentadas desde la disciplina de la ingeniería ambiental en conjunto con la geomorfología y la geoquímica podemos hablar del trabajo expuesto por parte de Ákos Török en base a la exploración de costras sobre materiales pétreos en edificios de Budapest. Expone la relación que se presenta gracias a la combinación entre contaminación atmosférica y el clima del sitio, condiciones que favorecen al deterioro del material pétreo, además de presentar la metodología de experimentación de las diferentes pruebas de laboratorio realizadas a las muestras.²⁵

Con respecto a la importancia del estudio del material empleado en muchas de las construcciones de Budapest se encuentra la publicación de Ákos Török *Deterioration-related changes in physical properties and mineralogy of limestone monuments*,²⁶ en ella evalúa el daño de la piedra bajo el análisis de materiales con el mismo componente, a diferencia de la porosidad de ambos. De acuerdo al efecto de intemperismo de la piedra, dictamina que la penetración de los cristales de yeso dependerá de la estructura porosa del material. De acuerdo a las pruebas no destructivas que realiza en sitio comenta que existe la diferencia de resistencia de las superficies.

Dentro de la disciplina de la geología estructural se localizan las investigaciones realizadas por Siegfried Siegmund. Es importante hacer

²⁵ Ákos Török, "Surface strength and mineralogy of weathering crusts on limestone buildings in Budapest", en *Building and Environment*, no. 38, 2003, pp. 1185-1192.

²⁶ *Idem*, "Deterioration-related changes in physical properties and mineralogy of limestone monuments", en *The Geological Society of London*, no. 297, 2006, pp. 1-8.

mención de su libro *Stone in Architecture. Properties & Durability*,²⁷ en el cual expone la importancia que ha tenido el uso del material pétreo en las construcciones realizadas a través de las diferentes temporalidades y culturas, simultáneo a ello presenta investigaciones con respecto a materiales pétreos y cómo influye la contaminación atmosférica sobre estos.²⁸

Continuando con los trabajos acerca de la selección del material pétreo se localizan los trabajos efectuados por Richard Prikryl, expone en su publicación *Natural stones for monuments: their availability for restoration and evaluation* las²⁹ las estrategias que recomienda llevar a cabo en intervenciones en las cuales aparece la piedra como elemento de fábrica, así como la disponibilidad de material, la selección del tipo de piedra con respecto a la evaluación de sus propiedades y compatibilidad en relación al intercambio de material, la evaluación de los deterioros de la piedra *natural* y su exposición a la intemperie, así como, la importancia que tiene realizar mecanismos de conservación que frenen la descomposición del material, ello por la difícil tarea de extracción del material con las características del anterior. En la publicación *Practice rock arch (Bohemian Switzerland National Park, Czech Republic) deterioration due to natural and anthropogenic weathering*,³⁰ se exponen los factores que favorecen al deterioro de la piedra con base en los efectos que deja la exposición del material a la intemperie.

²⁷ Siegfried Siegemund, "Building Stones", en Siegfried Siegemund y Rolf Snethlage (eds), *Stone in architecture. Properties & durability*, London, Library of Congress, 2014, pp. 11-96.

²⁸ *Idem*, "The effect of air pollution on stone decay: The decay of the Drachenfels trachyte in industrial, urban, and rural environments, a case study of the Cologne, Altenberg and Xanten cathedrals", en *Environmental earth sciences*, Vol. 69, no. 4, 2013, pp. 1095-1124.

²⁹ Richard Prikryl y Akos Török, "Natural stones for monuments: their availability for restoration and evaluation", en *Geological Society, London, Special Publications*, Vol. 333, no. 1, 2010, pp. 1-9.

³⁰ Richard Prikryl, *et al*, "Practice rock arch (Bohemian Switzerland National Park, Czech Republic) deterioration due to natural and anthropogenic weathering", en *Environmental Earth Sciences*, Vol. 63, no. 7-8, 2011, pp. 1861-1878.

En cuestión de la disciplina de los trabajos efectuados desde una perspectiva en materia de química y mineralogía encontramos a Rolf Snethlage en conjunto con Siegfried Siegmund los cuales editaron el libro *Stone in Architecture. Properties & Durability*, en este Snethlage habla acerca de cómo se logra el retraso de los procesos de deterioro de los materiales pétreos, con el objetivo de su conservación y con ello preservar los sitios históricos y artísticos.

A través de las diferentes pruebas aplicadas a materiales pétreos desde la disciplina de la química se observa cómo se logran avances importantes con la formulación de elementos de consolidación aplicados, además que la disciplina ha permitido la elaboración de repelentes a la humedad y revestimientos anti grafiti.³¹ Por otro lado en su *Guía de conservación de la piedra, Planificación de las investigaciones y las medidas para la conservación de Monumentos de piedra natural*,³² se observa claramente como los autores exponen la importancia de la conservación del material y la necesidad por investigar el deterioro de la misma con el fin de efectuar la construcción del conocimiento científico como apoyo a las prácticas de Conservación.

Continuando con la disciplina de la química en cuanto a la investigación realizada podemos encontrar los trabajos desarrollados por Giorgio Torraca, en sus manifiestos expone el uso de técnicas químicas en la práctica de la conservación, ello por la necesidad de presentar un propio soporte tecnológico con la intención de la protección a los bienes culturales desde la perspectiva y análisis del material pétreo expuesto a la intemperie y la influencia provocada por el medio ambiente, como resultado de sus análisis se argumenta que gracias al uso de tecnología podremos evaluar y tener la

³¹ Rolf Snethlage, *op. cit.*, pp. 415-550.

³² Rolf Snethlage, *Leitfaden Steinkonservierung: Planung von Untersuchungen und Maßnahmen zur Erhaltung von Denkmälern aus Naturstein*, Fraunhofer-IRB-Verlag, 2013, pp. 1-347.

capacidad realizar el dictamen de cómo poder conservar todo tipo de bien cultural dentro de su propio entorno natural.³³

Siguiendo con la disciplina de la química aplicada en la conservación realizaría diagnósticos de materiales deteriorados que tendrían como resultado recomendaciones para la conservación de los mismos, lo anterior en los resultados que arroja la prueba de difracción de rayos X, uno de los objetivos de la prueba es conocer la caracterización de las diferentes especies depositadas sobre el material pétreo con el objetivo de conocer los agentes de deterioro, cabe mencionar que parte de su experimentación fue llevada a cabo utilizando muestras de la Iglesia de Guanajuato, México.³⁴

Por otra parte se sitúa la investigación efectuada por Pagona-Noni Maravelaki-Kalaitzaki desde la disciplina de la química en unión con las ciencias ambientales. Parte de sus investigaciones realizadas son acerca de los mecanismos de desintegración del material pétreo expuesto a la intemperie, así como el desarrollo de métodos de conservación de las mismas. Presenta trabajos experimentales en los edificios como patrimonio histórico de edificios griegos, con el estudio de la presencia de manchas (black crust), dentro de estas se encontraron depositados e identificados elementos ambientales,³⁵ cabe señalar que presenta un esquema de experimentación con el fin de evaluar el deterioro del material con el atractivo al patrimonio de que las pruebas son del tipo no destructivas.³⁶

³³ Giorgio Torraca, "The application of science and technology to conservation practice", en *Science, technology, and European cultural heritage: proceedings of the European symposium*, Bologna, Italy, 13-16 June 1989, pp. 221-232.

³⁴ *Idem*, "General philosophy of stone conservation", en *The deterioration and conservation of stone: notes from the International Venetian Courses on Stone Restoration*, UNESCO, Paris, 1988, pp. 243-270.

³⁵ Pagona-Noni Maravelaki-Kalaitzaki, "Black crusts and patinas on Pentelic marble from the Parthenon and Erechtheum (Acropolis, Athens): characterization and origin", en *Analytica chimica acta*, vol. 532, no. 2, 2005, p. 187-198.

³⁶ *Idem, et al*, "Optical inspection for quantification of decay on stone surfaces", en *NDT & E International*, vol. 40, no. 1, 2007, pp. 1-11.

Continuando con la visión y la disciplina de la química aunada a la edafología se encuentran las investigaciones realizadas en edificios históricos por parte de Aira, N. mediante el estudio de las patinas y diferenciación entre pátinas oscuras de origen biológico y las que resultan por efectos antropogénicos,³⁷ por su parte también realiza el análisis de daños por efecto de degradación de materiales pétreos, en las cuales se emplea un esquema de experimentación de forma no destructiva.³⁸

Dentro de los estudios con un enfoque geoquímico y de petrología se analizaron los estudios realizados por Rosa María Esbert Alemany, en su línea de trabajo aborda algunos campos como: las patologías de la roca, el estudio del deterioro en monumentos históricos, la conservación de las rocas ornamentales, la interacción entre la piedra y el medio ambiente, estudios de protección de la roca empleada sobre monumentos, técnicas de limpieza, análisis de durabilidad, entre otros. Presenta una memoria en la cual muestra el interés por la conservación y protección del patrimonio histórico analizando el ¿cómo y cuándo? se deben intervenir al material pétreo empleado en la fábrica de espacios históricos y monumentales.³⁹

Cabe señalar que su participación en el mundo de la conservación fue de gran aporte gracias a la obtención de nuevos conocimientos, prácticas e investigaciones así como su participación como miembro de distintos comités científicos y editoriales, además de colaborar con diversos restauradores en la práctica del conocimiento de los materiales pétreos, importante señalar su apoyo en la realización del *Glosario ilustrado de*

³⁷ N. Aira, et al, "Gas chromatography applied to cultural heritage: Analysis of dark patinas on granite surfaces", en *Journal of Chromatography A*, vol. 1147, no. 1, 2007, p. 79-84.

³⁸ Benita Silva, et al, "Chemical composition and origin of black patinas on granite", en *Science of the Total Environment*, Vol. 408, no. 1, 2009, pp. 130-137.

³⁹ Rosa María Esbert Alumany, "Criterios de intervención en materiales pétreos", en *España, Criterios de intervención en materiales pétreos*, no. 2, 2002, pp. 1-33.

formas de deterioro de la piedra,⁴⁰ parte de la guía y entendimiento de los diferentes deterioros que aquejan a diferentes materiales pétreos.

Además del campo de las investigaciones internacionales claro es que existen trabajos efectuados por investigadores nacionales. Tal es el caso de Elena Dolores Álvarez Gasca, argumentando que la restauración de monumentos es una disciplina sumamente necesaria, parte de su investigación radica en la aportación de conocimientos a los elementos físicos que constituyen los monumentos, ello con el objetivo de conocer la composición mineralógica de los materiales, para entender los mecanismos que afectan y producen el deterioro del material pétreo y posteriormente tener una visión del tratamiento de conservación de la misma,⁴¹ por otra parte expone la importancia de la conservación de elementos que son valores de la identidad cultural a través de evidencias históricas materiales⁴² la exposición de sus trabajos fue revisada desde la disciplina de la química.

Siguiendo con la disciplina de la química, encontramos investigaciones que se han trabajado dentro de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Elia Mercedes Alonso Guzmán, presenta resultados acerca del deterioro de la ignimbrita en edificios de carácter histórico en Morelia, ello como producto de la contaminación atmosférica⁴³ y el impacto del medio ambiente.⁴⁴

⁴⁰ Glosario ilustrado de formas de deterioro de la piedra, Comité internacional de la Piedra de ICOMOS, Véronique Végés-Belmin (ed), Paris, 2010.

⁴¹ Manuel Sánchez Martínez y Dolores Elena Álvarez Gasca, "El papel de la Química en la restauración de monumentos", en *Acta Universitaria*, vol. 21, no. 4, Septiembre 2011, pp. 101-106.

⁴² Ramón Zárraga Núñez, *et al*, "La Investigación Científica en la Conservación de Monumentos de Cantera", en *Acta Universitaria*, vol. 16, no. 2, Mayo-Agosto 2006, pp. 37-50.

⁴³ Wilfrido Martínez Molina, *et al*, "Damaged and healthy Ignimbrites from the surroundings of Morelia, Mexico; use form restoration of the colonial inheritance", en *Advanced Materials Reserch*, vol. 889-890, 2014, pp. 1431-1437.

⁴⁴ Elia Mercedes Alonso Guzmán, *et al*, "Emisiones antropogénicas. Su papel en la calidad del aire y su efecto sobre materiales de construcción tradicionales", en Carlos Alberto Hiriart Pardo (coord.), *Patrimonio edificado, turismo y gestión de poblaciones históricas ante el siglo XXI, Estudios sobre la protección, conservación, restauración y gestión turística del patrimonio urbano, arquitectónico y religioso*, Morelia, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, 2009, pp. 117-130.

Por otra parte Mikhail Ostrooumov presentan datos sobre las particularidades mineralógico-geoquímicas del proceso de degradación de la ignimbrita en un caso en específico de la zona de estudio, aborda el Ex convento de San Francisco de Morelia, teniendo como resultado que: de acuerdo a la sustancia química depositada sobre las ignimbritas se presentará el daño.⁴⁵

Como anteriormente se había planteado; el tema es visto desde diversas disciplinas, Francisco Javier Alonso desde un panorama geológico, menciona que es necesario tener un correcto diagnóstico del deterioro de los materiales pétreos, ello por tener el conocimiento de cuál puede ser el detonante del deterioro presente del material pétreo, con un acercamiento a las posibilidades en cuanto a las propias características físicas del material, el clima bajo el cual está inserto el inmueble que contiene el material y la contaminación ambiental de la zona.⁴⁶

Cabe mencionar su participación dentro del *Proyecto COREMANS: Criterios de intervención en materiales pétreos*, en el cual Alonso analiza y presenta diferentes daños del material pétreo, mientras que la publicación tiene como finalidad generar la ilustración de las diferentes normas, recomendaciones y criterios a tomarse en cuenta previos a la intervención de sitios históricos en los que el material pétreo se encuentre como parte del patrimonio cultural tangible.⁴⁷

Bigioggero B., Corona Chavez P., Garduño Monroy V. H., Carrara E., y Lanza L., todos investigadores locales abordan el estudio y el tema del empleo de

⁴⁵ M. Ostrooumov, *et al*, "Mineralogía y geoquímica de los procesos de degradación en Monumentos históricos: primer acercamiento a un caso mexicano (Morelia, Michoacán)", en *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, vol. 20, no. 3, 2003, pp. 223-232.

⁴⁶ Francisco Javier Alonso, *et al*, "Análisis del deterioro en los materiales pétreos de edificación", en *RECOPAR*, no. 3, septiembre 2006, pp. 23-32.

⁴⁷ Ana Laborde Marqueza, *et al*, "Criterios de intervención en materiales pétreos", en Ana Laborde Marqueza (coord.), *Proyecto COREMANS: Criterios de intervención en materiales pétreos*, España, 2013, pp. 37-106.

la ignimbrita desde un punto de vista geológico, generan la información y clasificación de la importancia de las propiedades físicas a tomarse en cuenta para la selección e identificación de los bancos de extracción de la cantería, así como la importancia de la selección de la cantería en Morelia de acuerdo a características de uso y destino dentro de la fábrica de construcción, aunado a ello en su investigación presentan la metodología empleada en laboratorio para realizar diferentes pruebas con el objetivo de identificar propiedades de las actuales muestras encontradas dentro del mercado, uno de los rasgos que los investigadores toman en cuenta dentro de su publicación es el valor dentro del mercado comercial que podría tener la cantería extraída en la región, lo anterior por las propiedades físicas.⁴⁸

Además del empleo de la ignimbrita de forma ornamental, importante es señalar los valores estructurales que contiene, ello por ser una de las características importantes para la selección de la piedra. Existe una variedad de circunstancias bajo las cuales el material pétreo es empleado de forma estructural, es así como aparecen los trabajos de investigación por parte de Ingeniería Civil. Lo anterior compete al campo de Faisal I. Shalabi, Edward J. Cording y Omar H. Al-Hattamleh, los cuales han trabajado en el análisis de la relación que existe entre la resistencia de la roca y su deformación, utilizando como muestra la selección de roca extraída directamente del banco con el fin de realizar el análisis de la resistencia y efectuar la comparación con otros resultados obtenidos en diferentes zonas e investigaciones.⁴⁹

⁴⁸ P. Corona Chávez, B. Bigioggero y V. H. Garduño Monroy, "La piedra de cantera desarrollo entre la tradición y la cultura", en *Memoria del primer foro internacional La piedra de cantera en Morelia Retrospectiva y Perspectivas*, Morelia, H. Ayuntamiento Morelia, 1998, pp. 21-34.

⁴⁹ Faisal I. Shalabi, Edward J. Cording, Omar H. Al-Hattamleh, "Estimation of rock engineering properties using hardness test", en *Engineering Geology*, No. 90, 2007, pp. 138-147.

Asociados al campo de la ingeniería civil podemos encontrar especialistas con la disciplina de la ingeniería ambiental, realizando investigaciones con respecto a la relación que existe entre las emisiones vehiculares y la alteración al patrimonio edificado. K. S. Nesamani ingeniero ambiental muestra datos duros acerca de cómo se puede llevar a cabo la experimentación para la evaluación de la carga vehicular y las emisiones emitidas al medio ambiente,⁵⁰ lo anterior desde el punto de vista internacional.

Para el caso concreto de Morelia se encuentran las investigaciones realizadas por Elia Mercedes Alonso realizando la evaluación de daños provocados a la ignimbrita utilizada en edificaciones históricas de Morelia a consecuencia del azufre depositado en el medio ambiente, el cual se estimula es producido por los vehículos de motor y la fábrica de papel ubicada al sur-oeste de la ciudad.⁵¹

Otro de los estudios que se presentan con respecto al escenario del medio ambiente es el expuesto por Miguel Laborde en su escrito de *Santiago, escenario sin protagonista* en el cual habla acerca de hacer una reforma a las políticas públicas con respecto a la restricción vehicular, realizando la investigación de ¿quién es responsable de lo que sucede, qué autoridad influye para la realización de nuevos planes de manejo de la zona, quién hace las legislaciones, cómo intervienen los urbanistas, arquitectos, los ingenieros del transporte y la vialidad que están realizando?. Una vez que los actores mencionados anteriormente colaboren los resultados podrían ser halagadores.⁵²

⁵⁰ K. S. Nesamani, *et al.*, "Estimation of vehicular emissions by capturing traffic variations", en *Atmospheric Environment*, no. 41, 2007, pp. 2996-3008.

⁵¹ Elia Mercedes Alonso Gúzman y L. Martínez, "The role of environmental sulfur on degradation of ignimbrites of the Cathedral in Morelia, Mexico", en *Building and Environment*, no. 38, 2003, pp. 861-867.

⁵² Miguel Laborde, *Santiago, escenario sin protagonista*, en *Perspectivas*, p. 247-270.

Hacia un enfoque de la conservación de la fábrica original manteniendo el uso de la roca como manifiesto cultural es hablar de los trabajos realizados por José Coscollano Rodríguez, en su libro *Tratamiento de las humedades en los edificios*⁵³ quien nos habla acerca de las patologías de la roca,⁵⁴ estudiando elementos ubicados al exterior de edificaciones históricas, las cuales tienen un proceso de deterioro producido en gran parte por las humedades.

En cuanto a las investigaciones nacionales tenemos los trabajos realizados por Luis Torres Montes, miembro del Comité Científico de Piedra, ICOMOS México, quien reflexiona en su investigación del hecho que la preocupación por la conservación del material pétreo no es una tarea de temprana edad y cómo se ha presentado en el continente americano a través de los diferentes elementos de restauración: esculturas prehispánicas y religiosas, monumentos históricos y modernos, zonas arqueológicas, etc.⁵⁵ Además de expresar en sus trabajos la importancia de la conservación como una práctica implementada no solo a sus manifestaciones culturales si no por el contrario a todos los objetos de utilidad dentro de la práctica actual, por el hecho de que el hombre preserva por sobrevivencia y bienestar.⁵⁶

Continuando con las investigaciones realizadas hacia la conservación de los inmuebles con carácter histórico que a su vez utilizan la ignimbrita como parte de su fábrica original tenemos a autores locales, de los cuales podemos mencionar a Juan Alberto Bedolla Arroyo y Elia Mercedes Alonso

⁵³ José Coscollano Rodríguez, *Tratamiento de las humedades en los Edificios*, España, Editorial THOMSON PARANINFO, 2001.

⁵⁴ *Idem*, *Restauración y Rehabilitación de Edificios*, España, Editorial THOMSON PARANINFO, 2003.

⁵⁵ Luis Torres Montes, "Notas para la historia de la conservación de la piedra en América Latina", Instituto de Investigaciones Antropológicas, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, México.

⁵⁶ *Idem*, *Introducción a la conservación de materiales y sistemas constructivos*, Apuntes para el curso de actualización: La conservación y restauración del medio construido de la división de ciencias y artes del diseño de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, Instituto de Investigaciones Antropológicas, Universidad Nacional Autónoma de México, México, pp. 1-30.

Guzmán, exponiendo el deterioro de la ignimbrita y los sistemas constructivos de la región.⁵⁷

Otra autora local que aborda de forma general la utilización del material pétreo encontrado en la Ciudad de Morelia es Esperanza Ramírez Romero. En su Catálogo,⁵⁸ hace referencia a como la ciudad ha formado una historia constructiva con el uso de la ignimbrita a lo largo del tiempo en múltiples edificaciones de la ciudad.

De acuerdo a la información contenida en los trabajos e investigaciones que se han revisado concernientes al tema de investigación que se presenta, desde el panorama internacional hacia lo nacional y local, se observan enfoques con una perspectiva de tipo química, ambiental, geológica y estructural, cabe mencionar que la literatura presente además de describir la estructura de su investigación es efectuada bajo el análisis de las evidencias tomadas en sitios locales de su estudio, exponiendo la resultante de la situación actual de las edificaciones históricas con deterioros presentes, a su vez, asumen la importancia del porqué de sus estudios en cuanto al valor de la conservación y preservación del patrimonio edificado.

En resumen, una vez revisados los trabajos anteriormente descritos se observa como a través de distintas partes del mundo y bajo distintas disciplinas existe la preocupación y colaboración por mantener en estado de conservación de los materiales pétreos utilizados en las construcciones, llámense históricas o contemporáneas. Mientras que por otro lado los análisis son realizados tanto para la conservación de lo histórico como para la

⁵⁷ Wilfrido Martínez Molina, *loc. cit.*

⁵⁸ Esperanza Ramírez Romero, "Catálogo de construcciones artísticas, civiles y religiosas de Morelia", Morelia Michoacán, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, 1981.

selección del material desde un enfoque especializado para llevarse a cabo dentro de las nuevas edificaciones.

Gracias a la descripción de los procesos de experimentación y la indagación del conocimiento es que podemos tener una guía para realizar el desarrollo del trabajo en cuanto al tema selecto de investigación de la Maestría en Arquitectura Investigación y Restauración de Sitios y Monumentos. Cabe señalar que los resultados expuestos por parte de los diferentes autores pueden ser no semejantes a los resultados que se tengan en la zona de estudio del presente trabajo, ello por contener características particulares de las muestras de evaluación de acuerdo a su ubicación, clima, altura sobre nivel del mar, contaminación ambiental, agentes de deterioro, etc., además de la alteración que a su vez contenga el material.

Sin embargo de las investigaciones ya expuestas con respecto al tema planteado se reflexiona realizar el análisis de cómo sus metodologías presentadas se puede implementar, ejemplo de lo anterior son las pruebas de laboratorio que se llevan a cabo, considerando poder llevar a cabo la metodología propuesta en sus trabajos para evaluar la contaminación ambiental de la zona así como efectuar los esquemas de experimentación que dictaminen el estado del deterioro de la ignimbrita.

Los estudios de investigación acerca de los mecanismos de deterioro del material pétreo se han abordado continuamente bajo la disciplina de la química ello por la pertinencia de conocer los depósitos que afectan además de valorar el estado de alteración de la misma y realizar investigaciones que apoyen a la conservación de la misma.

Comprender el deterioro de la ignimbrita de construcción ubicada dentro de la zona de estudio es la primer fase de la investigación, a la par el análisis de porqué ocurre el daño, con el fin de realizar un dictamen de lo que está aconteciendo al material, posteriormente se podrá realizar la selección del

nuevo material, con la propuesta de la idea de bajo que especificidades es necesaria la elección de este.

Considero la importancia de llevar a cabo la investigación del tema con el objetivo de conocer el estado de deterioro de la ignimbrita en las mamposterías de edificaciones ubicadas en la zona de monumentos históricos de Morelia con la evaluación y análisis del deterioro de la ignimbrita producida por contaminantes atmosférico en combinación con la presencia de humedad, además de ver como la ignimbrita se ha transformado y que daños se han producido a raíz del retiro de sus aplanados, así como tener una perspectiva de la evolución de la ignimbrita al seguir en contacto con la intemperie aunando los procesos de contaminación y humedad.

JUSTIFICACIÓN

El propósito de llevar a cabo la investigación es con el fin de identificar y comprobar los mecanismos que hoy en día originan y dejan a su paso el deterioro físico-mecánico en la ignimbrita, siendo este el material natural de mayor uso en edificios históricos de la zona de monumentos históricos de Morelia.

Gracias a la investigación y al análisis de los resultados de la presente investigación se dictaminaron los procesos por los cuales la ignimbrita tiene que pasar para que exponga su alteración o presente el efecto del deterioro, además de analizar ¿qué manifestación y qué cambios físicos y mecánicos se originan al material?, ¿bajo qué circunstancias se producen? y con ello dictaminar ¿Cuál es el resultado luego de mantener las condiciones actuales al material pétreo?

El tema selecto se presenta en referencia a la caracterización de materiales, su conservación y restauración, de modo que los especialistas en el tema al abordar una intervención puedan utilizar los resultados como base para los criterios de restauración, además de poder seleccionar estrategias de conservación que permitan garantizar la conservación al material del inmueble.

Se determinó el área de estudio de la zona de monumentos históricos de Morelia por contener un número sustancioso de edificios históricos con el uso de la ignimbrita rosa.⁵⁹ Por otra parte el interés fue en relación a que el material pétreo abunda en los diferentes inmuebles dentro del tejido urbano vial histórico, situación por la cual se logró identificar la forma en la cual se comporta el material respecto a su ubicación, así como a sus propiedades (físicas, mecánicas y químicas).

El participar dentro de diversos laboratorios donde se analizan el material pétreo desde diversas técnicas y fines fue parte importante para que el presente proyecto brinde conocimientos con respecto a los procesos actuales de deterioro de la ignimbrita, así como hacer notar que la ignimbrita es un material que sufre estrés por lo cual se observa su estado de conservación actual.

Respecto al material natural Alejandro Tortolero comenta que no debemos de perder de vista que algunos recursos naturales que parecían inagotables se han convertido en escasos [...] ⁶⁰ mismos que hoy en día se encuentran en un proceso de alteración y pérdida, además de la búsqueda por la

⁵⁹ E. Alonso y L. Martínez. *loc. cit.*

⁶⁰ Alejandro Tortolero, "El agua y la historia medioambiental: revisión historiográfica y estudios de caso", en *Iztapalapa*, revista semestral publicada por la División de Ciencias Sociales y Humanidades de la Universidad Autónoma Metropolitana Iztaapalapa, no. 50, enero-junio 2001. Consulta: [mayo 2015], <<http://tesiuami.uam.mx/revistasuam/iztapalapa/include/getdoc.php?id=811&article=828&mode=pdf>>.



conservación del patrimonio tangible dentro del cual la ciudad está inmersa.

OBJETIVOS

El objetivo de la presente investigación fue el análisis del deterioro de la ignimbrita presente en la zona de monumentos históricos de Morelia, la evaluación de daños ocasionados por la contaminación atmosférica en conjunto con la humedad constante y la cristalización de sales, así como el planteamiento de estrategias para su futura aplicación mediante las medidas propuestas para su conservación.

Por otra parte fue identificar, analizar y demostrar los mecanismos que producen los procesos de deterioro y alteración de la ignimbrita, además de determinar la influenciada de los agentes de contaminación ambiental, humedad y cristalización de sales. Lo anterior con referencia al estado natural desde origen hasta lo que actualmente se encuentra mediante la reproducción de ambientes y la confrontación de datos.

Llevar a cabo el análisis y evaluación de cómo se ha desarrollado el deterioro a partir de las últimas décadas, tras observar la alteración de la ignimbrita luego de su exposición a la intemperie.

Realizar un sistema de recolección de datos, los cuales a través de la caracterización del deterioro aporten medidas de conservación, mediante el desarrollo de métodos y técnicas experimentales en laboratorio bajo el análisis de la ignimbrita sana y la deteriorada.

Determinar la evolución e influencia de las investigaciones que se han presentado con respecto a los estudios especializados con respecto al campo de estudio del material pétreo, su restauración y conservación.

MARCO CONCEPTUAL

El espacio es valorado como la primera instancia donde comienza la creación de cualquier manifestación y que a partir de ello se crean múltiples contextos sociales interpretados por el lenguaje del acontecer de las sociedades pasadas con la búsqueda de los elementos que formulan el conocimiento y sistematización de las entidades. Es así como Bruno Zevi nos muestra en su *Ensayo sobre la interpretación de la arquitectura* que el espacio representa su historia, legado y sociedad.⁶¹

El tema de espacio es sin duda objeto de estudio de múltiples investigaciones por parte de diversos campos multidisciplinarios, es decir, el economista vea el espacio y lo investigara de acuerdo a lo que a su interés concierne, el urbanista de igual forma, el sociólogo, el arquitecto, el filósofo, etc., pondrán en juicio lo que respecta a su disciplina, sin embargo dentro de la investigación del espacio existe el concepto de transformación, al igual demanda el interés de numerosos especialistas, entiendo de forma personal que lo anterior se debe al análisis a la respuesta de ¿en base a qué surgen los cambios dentro de las sociedades que habitan el espacio? De acuerdo al argumento de Blanca R. Ramírez existe la transformación del mismo y el objetivo será el descubrir el efecto que trae consigo este cambio que se manifiesta en base a la necesidad del desarrollo.⁶²

⁶¹ Bruno Zevi, *Saber ver la arquitectura. Ensayo sobre la interpretación espacial de la arquitectura*, Buenos Aires, Editorial Poseidón, 1971, p. 49.

⁶² Blanca Rebeca Ramírez Velázquez, "Espacio y política en el desarrollo territorial", en *Economía, Sociedad y Territorio*, vol. XI, no. 37, 2011, p. 554.

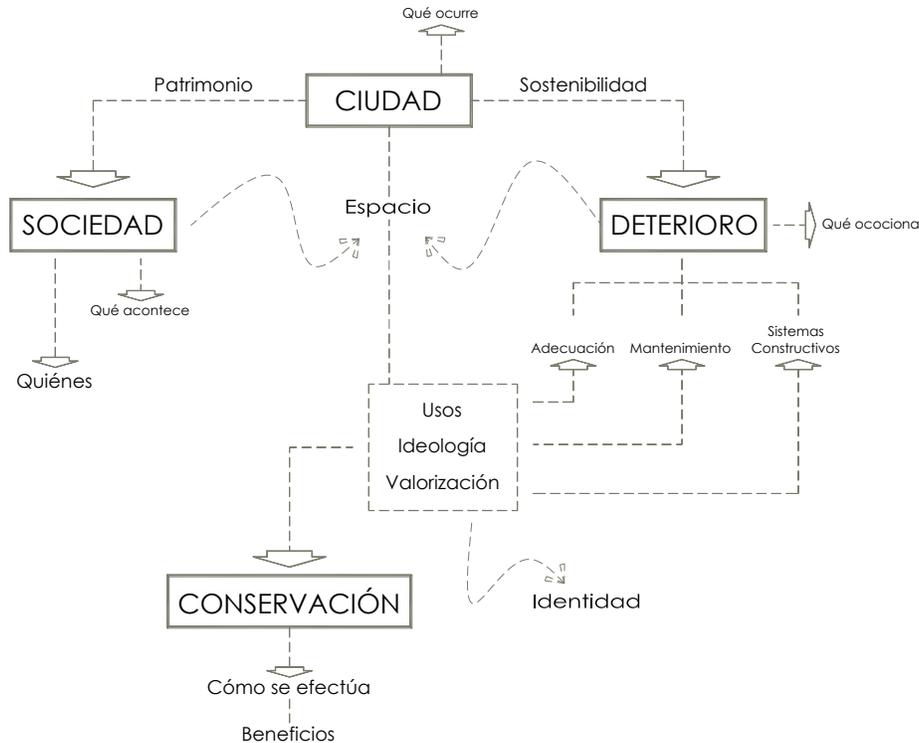


Figura A. Construcción del marco teórico conceptual. Edición: Aldo Zamudio Pérez

Por otra parte Blanca R. Ramírez comenta como el desarrollo se forma a partir de estrategias políticas territoriales con perspectivas diversas como: atender la visión y apertura al mercado internacional con base en el consumismo, mientras que por otra parte atender el autoconsumo y preservación de la ideología local y regional.⁶³

Continuando con lo que es el debate del territorio y su transformación se encuentra Gilberto Giménez y su manifiesto de que el territorio responde de acuerdo a las actividades dependientes de cada grupo social tanto como a sus necesidades económicas, sociales y políticas que presenta.⁶⁴

⁶³ *Ibidem*, p. 561.

⁶⁴ Gilberto Giménez, "Territorios, cultura e identidades", en *Estudios sobre las culturas contemporáneas*, Época II, vol. V, no. 9, Junio 1999, p. 29.

De acuerdo al ir y venir de información en cuanto al desarrollo del territorio encontraremos dentro de la sociedad rasgos que los diferenciaran entre grupo y grupo, factor que detonante de lo económico del sitio, políticas con fines de protección y arraigo, además de elaborar planes con factores de desarrollo, sin dejar a un lado la relación estrecha con respecto a la memoria histórica de la sociedad.

Interesante analizar la forma en que la sociedad aborda el tema del patrimonio edificado, no en todos los casos existe el mismo interés ni valor, sin embargo existe un vínculo entre las obras construidas en el pasado y la sociedad que los habita en la actualidad. Hoy en día se observan un número importante de manifestaciones realizadas en cierto momento histórico, las cuales adoptan nuevos usos y son transformadas en su espacialidad de acuerdo a las necesidades y requisitos por parte de sus usuarios, por lo anterior se establece su evolución dictaminada a través del tiempo. Es enriquecedor y tema de investigación el estudio de estos fenómenos, por las circunstancias y por el espacio determinado.

Por otra parte no solo lo histórico es determinante para el entender el concepto de patrimonio edificado, existen diversas condicionantes dentro de la evolución del mismo. Tal es el caso de la economía, el espacio geográfico y la temporalidad. En cada una de estos elementos se presentan diversas condicionantes y procesos, unos de protección y otros de cambio influidos en determinada sociedad y conjuntos urbanos. De acuerdo a lo que menciona Françoise Choay: la esfera patrimonial ya no se reduce a edificios individuales.⁶⁵

En virtud de entender como la sociedad adopta espacios los cuales les son útiles y necesarios para realizar sus actividades cotidianas se debe orientar

⁶⁵ Choay Françoise, "Alegoría del patrimonio: monumentos y monumento histórico" en *Arquitectura Viva*, no. 33, noviembre 1993, p. 69.

hacia la importancia de la conservación y mantenimiento de los mismos, el objetivo es entonces mantenerlos en pie y formar conciencia de cómo las nuevas generaciones puedan vivir estos mismos espacios, lo anterior tanto por el diálogo que muestran con respecto al pasado como por la utilidad que puedan brindar de acuerdo a las necesidades que comienzan a aparecer dentro de los planes urbanos. Razón e idea bajo la cual Françoise Choay habla acerca de pensar en lo urbano.⁶⁶

En lo particular a lo urbano se comienzan a producir el desarrollo de ciertos espacios los cuales manifiestan determinados problemas, desde una perspectiva se observan los de tipo social mientras que por otra parte los del tipo económico y por otra la falta de espacios. Con base en lo anterior se da inicio a la creación de modelos de intervención, por lo cual se realiza la apertura a la observación, análisis y diagnóstico de lo que ocurre en determinado espacio social con el fin de generar alternativas espaciales y de uso.

La escasez de espacio comienza a ser parte de la problemática social a la par con uno de las grandes inquietudes que hoy en día se manifiestan dentro de las urbes, es este el nombrado deterioro ambiental.⁶⁷ Uno de los retos como sociedad que día a día es mayormente considerado dentro del estudio e investigación aplicado al efecto sobre el patrimonio edificado inmerso en cierto espacio.

Naturalmente la civilización humana requirió un sitio de albergue, fue con base a la necesidad de resguardo que se originó el desarrollo de sistemas constructivos, los cuales a medida que paso el tiempo fueron perfeccionando su técnica mostrando características muy particulares en

⁶⁶ *Ídem*, "El reino de lo urbano y la muerte de la ciudad" en *Andamios, revista de investigación social*, vol. 6, no. 12, diciembre 2009, p. 182.

⁶⁷ Henri Lefebvre, "La producción del espacio" en *Papers: revista de sociología*, no. 3, 1974, p. 225.

cuanto a diseño y ejecución. Es así como Ignasi de Solá nos comenta la siguiente:

La arquitectura habla a través de lenguajes que tienen que ver con la técnica constructiva, con el juego desde el interior de ciertos repertorios, con el gusto de la regularidad y la excepción, con el contraste o la armonía, con la dimensión o la proporción [...] ⁶⁸

Uno de los factores importantes para el desarrollo de las culturas sin duda fue la adaptación al medio físico, encontrando que de acuerdo a la ubicación de emplazamiento se implementarían materiales de acuerdo al sitio. En este sentido Morelia no sería la excepción Eugenia María Saloma y Luis Torres lo explican en la siguiente cita:

La peculiaridad de sus materiales de construcción, constituidos principalmente por la piedra de cantería que domina en el entorno urbano al manifestarse en los componentes arquitectónicos como enmarcamientos de puertas, ventanas y balcones; en sus elementos ornamentales como cornisas, guardamalletas y gárgolas; constituyen en conjunto con sus plazas, jardines calles, fuentes y otros elementos como el propio acueducto, una ciudad única en su expresión formal y material. ⁶⁹

Es así como hoy en día vemos como la ignimbrita representa el material de construcción más utilizado en la ciudad además de ser parte de un rasgo cultural y tradicional dentro de los sistemas constructivos de la región, el cual cumple con una serie de especificidades al momento de su elección para el sitio de ubicación dentro de la fábrica; su colocación puede ser de tipo estructural u ornamental. El material al estar expuesto al efecto de intemperismo tendera a estar implícito dentro de un proceso de deterioro.

⁶⁸ Ignasi de Solá-Morales, *et al*, *Introducción a la arquitectura. Conceptos fundamentales*, Barcelona, Universitat Politècnica de Catalunya, 2000, p. 12.

⁶⁹ Eugenia María Salomao y Luis Torres, "Evaluación crítica de la restauración de monumentos en Morelia" en *Memoria del primer foro internacional la piedra de cantera en Morelia, retrospectiva y perspectiva*, Morelia, H. Ayuntamiento Morelia, 1998, pp. 53-63.

De acuerdo a lo que menciona Rosa M. Esbert entenderemos que el deterioro presente en las rocas es el resultado de la combinación de una serie de agentes ambientales y de las características propias del material pétreo,⁷⁰ lo anterior entendiendo como el material sufre una alteración gracias a la presencia de un agente más la aceptación o rechazo que pueda tener gracias a los propiedades particulares del material.

Por otra parte Francisco Javier Alonso comenta que el cambio del material es perjudicial para su *conservación* con respecto al mantenimiento de sus características y propiedades a través del tiempo,⁷¹ al existir la presencia del deterioro sobre algún material es factor de pérdida o alteración de alguna de sus especificidades y de ahí comenzar con la perdida de otras. En relación al término de deterioro la Convención sobre la protección del patrimonio mundial, cultural y natural considera que:

El deterioro o la desaparición de un bien del patrimonio cultural y natural constituye un empobrecimiento nefasto del patrimonio de todos los pueblos del mundo, donde además será indispensable adoptar para ello nuevas disposiciones convencionales que establezcan un sistema eficaz de protección colectiva del patrimonio cultural y natural del valor excepcional organizada de una manera permanente, y según métodos científicos y modernos.⁷²

Resumiendo el termino lo referiremos como Jorge Ordaz Gargallo lo redacta, *deterioro* es la modificación o cambio del material que implica un

⁷⁰ C. M. Grossi, R. M. Esbert y F. Díaz-Pache, "Degradación y durabilidad de materiales rocosos de edificación en ambientes urbanos", en *Materiales de construcción*, vol. 48, no. 252, Octubre/Noviembre/Diciembre 1998, p. 22.

⁷¹ Francisco Javier Alonso, "Análisis del deterioro en los materiales pétreos de edificación", en *Revista electrónica RECOPAR*, no. 3, Septiembre 2006, pp. 25-26.

⁷² Convención sobre la protección del patrimonio mundial, cultural y natural adoptada por la conferencia general de la Unesco en su XVII reunión realizada en París en Noviembre de 1972.

empeoramiento o declinación de sus características físico-mecánicas desde el punto de vista de su *conservación*.⁷³

Analizando los trabajos que se han presentado en relación al tema del deterioro de los materiales pétreos es que se ha logrado el desarrollo de propuestas de *conservación*, un tema ligado a otro, donde recurren al análisis de la presencia de alteraciones para poder dictaminar y presentar medidas de intervención y así lograr la ejecución de la conservación del mismo.

De acuerdo a lo que comenta José Coscollano de la conservación como un concepto general, es mantener un bien de cualquier naturaleza en el tiempo, dándole vigor y permanencia,⁷⁴ desde una visión de la disciplina antropológica Torres Montes afirma que la conservación es definida como cualquier acción que se toma para determinar la naturaleza y propiedades de los materiales empleados en cualquier bien cultural [...] así como cualquier acción que se toma para controlar las causas del deterioro [...],⁷⁵ Salvador Díaz y Olga Orive definen conservación como el conjunto de actividades destinadas a salvaguardar,[sic] y mantener y prolongar la permanencia de los objetos culturales para transmitirlos al futuro,⁷⁶ por otra parte Agustín Espinoza refiere que:

La conservación está constituida por todos los procesos técnicos tendientes a detener las alteraciones materiales de una obra que dañan su estructura e imagen. Esta intervención se realiza cuando los materiales que componen

⁷³ J. Ordaz y R. M. Ebert, *Glosario de términos relacionados con el deterioro de las piedras de construcción*, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

⁷⁴ José Coscollano Rodríguez, *Restauración y rehabilitación de edificios*, España, Editorial THOMSON PARANINFO, 2003, p. 89.

⁷⁵ Torres Montes, citado por: Manuel Sánchez Martínez y Dolores Elena Álvarez Gasca, "El papel de la Química en la restauración de monumentos" en *Acta Universitaria*, Universidad de Guanajuato, Vol. 21, no. 4, Septiembre 2011, p. 104.

⁷⁶ Salvador Díaz-Berrio y Olga Orive B., "Terminología general en materia de conservación del patrimonio cultural prehispánico", en *Cuadernos de arquitectura mesoamericana*, División de estudios de posgrado, Facultad de Arquitectura UNAM, no. 3, Diciembre 1984, p. 6.

una obra han sufrido un agotamiento mecánico en su constitución, sea por agentes internos o por agentes externos.⁷⁷

El hecho de que exista la presencia de cualquier deterioro de la roca es pensar en la conservación del mismo, sin embargo al existir un deterioro en un inmueble con valor patrimonial es emprender un proyecto que brinde la conservación del material con el objetivo que este continúe en pie como rasgo cultural.

Por su parte Pablo Chico argumenta la importancia de la conservación no por el hecho o acto pleno de conservar, si no, por considerar es parte de la riqueza de los rasgos culturales.

[...] la finalidad última de la preservación del patrimonio cultural, no es la conservación de los objetos por los objetos mismos, sino por lo que ellos significan dentro de un determinado contexto socio-cultural y por la manera en que con ellos se contribuye al mejoramiento de la calidad de vida de las comunidades en las cuales está inserto dicho patrimonio.⁷⁸

Por otra parte importante analizar lo expuesto por Kevin Lynch de cómo la sociedad tiene a la preservación o conservación de sus bienes u objetos físicos por ser parte de su memoria histórica bajo la cual se encuentran familiarizados como parte de su identidad.⁷⁹

Françoise Choay en su texto *El reino de lo urbano y la muerte de la ciudad* nos habla acerca del sistema de referencias, físico, mentales y materiales, la cuales son vistas por la sociedad como elementos valorados para su conservación porque corresponden en conjunto a una red de imágenes que contienen información histórica, la cual que les atrae y por ello tienden

⁷⁷ Agustín Espinoza Chaves, citado por: Luz de Lourdes Velázquez Thierry, "Terminología en restauración de bienes culturales", en *Boletín de Monumentos Históricos*, México, INAH, no. 14, Julio-Septiembre 1991, pp. 34-35.

⁷⁸ Pablo Chico Ponce de León, "La responsabilidad social de la preservación del patrimonio cultural", en *Cuadernos Arquitectura de Yucatán*, no. 8, 1995, p. 40.

⁷⁹ Kevin Lynch, *¿De qué tiempo es este lugar? Para una nueva definición del ambiente*, Barcelona, G. G., 1972, p 45.

a su preservación, a pesar de ser parte de una idea que solo contextualiza cierto territorio y que generaliza ciertas creencias.⁸⁰

METODOLOGÍA

La metodología abordada dentro del desarrollo del presente proyecto de investigación consistió en una serie de técnicas de tipo: cualitativas y cuantitativas, de acuerdo a lo que Héctor Maletta considera una metodología tipo mixta con base en la estrategia de investigación.⁸¹

Cabe señalar que la metodología desarrollada tuvo como objetivo generar un plan de apoyo tanto a la investigación histórica como a la investigación científica por el tipo de proyecto desarrollado.

La investigación se desarrolló en torno al siguiente esquema:

- ✓ Prospección del área de análisis
- ✓ Revisión de antecedentes de investigación
- ✓ Experimentación
- ✓ Y el análisis de resultados

Para el caso de estudio de los antecedentes de investigación se abordó mediante dos fases de análisis; apoyados en un marco referencial con el objetivo de analizar las investigaciones que se han expuesto con base en el tema de estudio así como del estudio de los antecedentes históricos de la zona de estudio en cuanto al uso y deterioro de la ignimbrita, así como la explicación del fenómeno de estudio respaldado por la experimentación

⁸⁰ Choay Françoise, "El reino de lo urbano y la muerte de la ciudad" en *Andamios, revista de investigación social*, vol. 6, no. 12, diciembre 2009, p. 181.

⁸¹ Héctor Maletta, *Epistemología aplicada: Metodología y técnicas de la producción científica*, Lima, CIESCEPES-Universidad del Pacífico, 2009, p. 161.

aplicada en laboratorio, Mario Tamayo lo expone como; la fase del desarrollo experimental.⁸²

La investigación presenta la revisión bibliográfica de las diferentes fuentes que al día de hoy presentan algunos expertos en el tema, con la revisión de diferentes disciplinas que abordan la problemática de estudio; aplicada tanto en otras regiones geográficas, como de manera local y a otro tipo de materiales pétreos. Además de la recopilación de información que se vierte dentro de los diferentes capítulos de la tesis.

Por otra parte se realizó el análisis de la zona de investigación, identificando la problemática actual con el objetivo de revisar los antecedentes del tema y conocer ¿Cómo es que los expertos evalúan los deterioros presentes del material pétreo?

Importante es identificar la zona de estudio que se presenta en el actual proyecto de investigación, con el propósito de realizar el proceso de selección de las unidades de análisis, mediante el estudio de la zona con base en diferentes elementos que se tomaron a consideración desde un punto de vista en un primer momento hipotético, mismo que se comprobó.

La selección de las mamposterías de los inmuebles de estudio que se abordan en las unidades de análisis fueron selectas de acuerdo a las características de deterioro que presenta la ignimbrita, lo anterior con el fin de evaluar las patologías del material.

Se realizó la recolección de datos en campo mediante la prospección de la zona, con el registro en una base de datos con fichas de registro que

⁸² Mario Tamayo y Tamayo, *El proceso de la investigación científica: incluye evaluación y administración de proyectos de investigación*, 4ª. Ed., México, Editorial LIMUSA, 2004, pp. 155-156.

contienen las diferentes características que se presentan en cada una de las mamposterías selectas.

Las mamposterías selectas para su análisis fueron estudiadas por las características en primera instancia *físicas*; se consideró la ubicación de la calle dentro de lo que es la zona de monumentos históricos de Morelia, la orientación de la fachada donde se ubica la mampostería, los materiales de la fábrica de la vialidad; tanto en pavimentos como en banquetas, el tipo de aparejo de la mampostería, la altura de las fachadas, la altura presente de la humedad en fachadas, vientos dominantes, el uso del inmueble, el estado actual de juntas entre rocas, la existencia de sistemas de ventilación en piso (aerodrenes), la existencia del paso de transporte público a través de la calle selecta así como la opción de estacionamiento informal en el arroyo vehicular, la medición del flujo de aire sobre la calles en diferentes horas del día y meses del año.

En cuanto a la fase experimental se trabajaron dos etapas diferentes, una fue la caracterización física y mecánica de diferentes canteras del contexto urbano-histórico de Morelia. La otra etapa experimental fue la caracterización micro-estructural a muestras de cantería sanas e intemperizadas o muestras deterioradas, las cuales fueron obtenidas directamente en campo de las unidades de análisis conforme a las características de los daños presentes.

El objetivo de los análisis programados en laboratorio fue evaluar las características físicas y mecánicas, así como determinar la vulnerabilidad que presenta la ignimbrita, por otra parte dictaminar la influencia de los elementos y agentes de deterioro ambientales y físicos al material pétreo, además de generar un muestrario de ignimbritas dañadas de las unidades de análisis y tener el registro de los análisis de laboratorio.



Una vez que se tuvieron los resultados de las pruebas de laboratorio se solicitó el apoyo de investigadores especializados en el tema, químicos, geólogos e ingenieros civiles, etc., con el objetivo de hacer el análisis de la interpretación de los resultados.

Finalmente se presentó el estudio de los datos obtenidos en campo y laboratorio mediante el análisis y procesamiento de la información, comparando las hipótesis versus lo resultante, con ello se abordó uno de los objetivos planteados dentro del proyecto de investigación. En la parte de conclusiones se presentan las reflexiones de todo el proceso de experimentación e investigación.

FUENTES DE INFORMACIÓN

Con los datos y análisis obtenidos de lo que compone a las fuentes de información se procede a la identificación y caracterización del material mediante la propuesta de reproducción de los diferentes ambientes bajo los cuales se encuentra sometido el material, ello conforme al diseño experimental de las diversas pruebas de laboratorio propuestas.

Por otra parte el desarrollo de la presente investigación se acompaña de la revisión bibliográfica en libros, revistas indexadas, tesis, ponencias, seminarios, etc., con el fin de comprobar y analizar las razones por las cuales se presenta el mecanismo de deterioro por contaminantes en la ignimbrita, además de obtener datos precisos que apoyen al conocimiento y origen de la problemática y alteración del material.

INSTRUMENTOS Y TÉCNICAS

El esquema de la instrumentación y técnicas a llevarse a cabo dentro del proyecto de investigación de los mecanismos de deterioro por contaminantes de la ignimbrita fue mediante el diseño de la experimentación.

La información obtenida en el análisis de los datos obtenidos en campo será expuesta mediante fichas, esto aunado a la revisión bibliográfica publicada por los diferentes expertos en el tema, el análisis de las pruebas obtenidas en laboratorio, fichas fotográficas, croquis.

La metodología de análisis de la investigación fue la siguiente:

- Prospección de campo
- Procesamiento estadístico
- Revisión de bibliografía
- Elaboración y recopilación de información en fichas de trabajo
- Caracterización del material
- Diseño experimental de laboratorio
- Evaluación y resultados de deterioros

DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño de la experimentación como técnica de investigación se basa en la serie de pruebas efectuadas de las diferentes muestras obtenidas en campo de las mamposterías evaluadas en las unidades de análisis, conjuntamente se estudiaron muestras denominadas *sanas*⁸³ de ignimbrita

⁸³ Wilfrido Martínez Molina, *et al*, "Deterioro de rocas ígneas extrusivas ácidas patrimoniales coloniales bajo condición de atmósfera seca urbana. Caso centro histórico Morelia, México", en Elia Mercedes Alonso Guzmán (coord.), *Conservación de materiales de interés histórico y artístico*, Morelia, Red temática PROMEP para la conservación de materiales de interés histórico y artístico, 2013, pp. 9-35.

de bancos de extracción de cantería del contexto histórico-urbano de Morelia, el objetivo de dichas pruebas fue evaluar las propiedades físicas y mecánicas de la ignimbrita así como determinar la vulnerabilidad del material pétreo.

Para el caso de las muestras sanas la experimentación se basa en realizar pruebas con la simulación de los procesos de deterioro y alteración encontrados en las mamposterías de las unidades de análisis directamente en laboratorio, estas sobre especímenes cúbicos de 5 cm x 5 cm x 5 cm labrados de bloques de cantería de los bancos de Arindeo, Barreno, Cointzio y Tejocote.

Primeramente se realizó el estudio y análisis de la caracterización física y mecánica de las muestras sanas de cantería (Tabla 01). Posteriormente se realizó el estudio y análisis de caracterización micro-estructural a muestras sanas y a especímenes obtenidos de las unidades de análisis (Tabla 02).

TABLA A.

Caracterización física de la ignimbrita
Edición: Aldo Zamudio Pérez

Análisis	Objetivo	Observación
Humedad actual de la roca	Determinar el contenido de humedad que presenta una roca en estado natural.	Conocer el estado natural de humedad de las muestras de roca previo a realizar las demás análisis.
Humedad por absorción en rocas	Determinar el porcentaje de agua que puede absorber una muestra de roca.	Conocer el porcentaje de humedad que las muestras de roca pueden atraer.
Gravedad especificad de la roca	Obtener la densidad relativa de una muestra de roca.	Conocer la masa por unidad de volumen de la roca.
Absorción capilar	Determinar el porcentaje de agua que puede absorber una muestra de roca en sentido vertical a través del material.	Conocer el porcentaje de humedad que las muestras de roca succionan a través del material rocoso, al existir el contacto con una película de agua.
Compresión simple en rocas	Determinar cuál es la máxima carga que puede soportar una roca.	Conocer la resistencia máxima de ruptura a la compresión de una muestra de roca.

Durabilidad al desmoronamiento de rocas	Determinar el índice de durabilidad de una roca después de un ciclo de absorción de agua.	Conocer el porcentaje de la pérdida de volumen del material.
---	---	--

Las pruebas anteriores son aplicadas bajo las normas de la ASTM (American Society for Testing Materials)

TABLA B.

Caracterización micro-estructural de la ignimbrita
Edición: Aldo Zamudio Pérez

Análisis	Objetivo	Observación
Difracción de Rayos "X"	Identificar las fases cristalinas de la roca.	Conocer cuáles son las fases cristalinas de las sustancias minerales.



Capítulo I



I. ANTECEDENTES

La memoria de la humanidad se guarda en los archivos de la historia. El origen de la sociedad, evolución, auge y decadencia de las civilizaciones, antecedentes de acontecimientos, en fin, el paso del hombre a través del tiempo, son tema y parte de la cultura colectiva. Y es la cultura, parte de nuestro patrimonio nacional, la que merece ser protegida [...]¹

¹ Gabriela Lima Paúl, "Patrimonio cultural regional: estudio comparativo sobre la legislación protectora en las 32 entidades Federativas Mexicanas", en *Derecho y Cultura*, No. 9, marzo-agosto de 2003, p. 43.

I. ANTECEDENTES

I.1 APROPIACIÓN Y USO DE LA IGNIMBRITA EN LA ZONA DE MONUMENTOS HISTÓRICOS DE MORELIA

El patrimonio edificado de la ciudad de Morelia históricamente ha sido parte de procesos de transformación, parte de ello fue el retiro de recubrimientos de los muros en las fachadas principales, situación por la cual hoy en día se observan múltiples mamposterías al descubierto dentro de las principales calles del tejido urbano vial de Morelia, primordialmente en inmuebles ubicados dentro de la zona de monumentos históricos de Morelia (ZMHM).² Al respecto Ettinger Mc Enulty hace referencia a la reforma del contexto urbano como respuesta a la valoración y cuidado del “aspecto colonial” de la ciudad, donde la sociedad muestra su interés sobre el aspecto exterior de los edificios.³

A menudo que ha pasado el tiempo se ha visto el creciente interés por conservar parte de lo que comprende los aspectos típicos constructivos de la ZMHM. Parte de los rasgos que se mantienen dentro del área de estudio es precisamente la integración del material pétreo en proyectos de restauración y conservación, así como en la ejecución de obras nuevas.

Con frecuencia se observa la integración de la ignimbrita en inmuebles de la ZMHM, es visible tanto al interior como al exterior en los diferentes inmuebles que comprenden la zona, lo cual responde a la abundancia del material dentro la zona urbana de Morelia.⁴ El uso de dicho material pétreo

² A partir de aquí se hará referencia al decreto de zona de monumentos de históricos de Morelia con las siglas ZMHM.

³ Catherine Rose Ettinger Mc Enulty, *et al*, *Visita guiada a la arquitectura del siglo XX en Morelia*, Morelia, CONACULTA, UMNSH, Ayuntamiento de Morelia y Gobierno del Estado de Michoacán, 2014, p. 01.

⁴ Francisco Javier Fuentes Farías, “Constructores y paisajes de una ciudad histórica” en *Revista Contexto*, Vol. 11, no. 10, 2015, pp. 57-67.

hoy en día lo convierte en parte del contexto urbano de la ciudad y uno de los rasgos arquitectónicos y estructurales de la zona.

A raíz de observar el predominio de la ignimbrita como material constructivo dentro de la ZMHM, surge la cuestión acerca de su estado de conservación. A menudo que han pasado décadas el material pétreo ha permanecido bajo los efectos del intemperismo, es decir procesos de alteración, por una parte, de tipo naturales y por otra por causas antropogénicas, situación que ha dejado como resultado determinado porcentaje de deterioro de la ignimbrita depositada sobre las fachadas principales de la zona.

Diversos han sido los eventos involucrados dentro del contexto urbano histórico para que se observe el actual estado de conservación del material pétreo, por ello, se efectúa el análisis de los antecedentes de la ZMHM. Cabe señalar que no se debe perder de vista que el análisis de los antecedentes históricos de la zona es bajo la perspectiva de temporalidad en la cual el deterioro de la ignimbrita se ha agudizado.

Parte de la revisión de los aspectos históricos relevantes de la zona logró a través del estudio de la ignimbrita extraída de las canteras del contexto urbano de la ciudad confrontado con el estado de conservación de los diversos inmuebles, tal como Salomao Azevedo comenta: la ciudad es un documento, testimonio de las diferentes etapas por la que ha pasado, desde su fundación hasta el momento actual.⁵

Los materiales utilizados para la construcción de edificaciones antiguas debían cumplir con ciertas características y condiciones generales, ejemplo de ello son: su composición interna, color, lustre, dureza, peso, etc.,

⁵ Eugenia María Salomao Azevedo, "Evaluación crítica de la restauración de monumentos en Morelia" en Memoria del primer foro internacional, *La piedra de cantera en Morelia. Retrospectiva y Perspectivas*, p. 53.

innumerables construcciones; sin mencionar usos o estilos en específico, a través de los diferentes continentes se construyeron con el empleo del material pétreo, mismo que es y fue extraído de entornos naturales buscando el objetivo y la necesidad de crear nuevos espacios, además de culminar otros más.

En el caso de Morelia como anteriormente se hablaba una de las principales características arquitectónicas dentro de las construcciones históricas desde siglos pasados hasta nuestros días, ha sido el empleo de la ignimbrita como materia prima de construcción, responde al hecho de que es uno de los materiales que predomina en el área, Silva Ruelas comenta como la ciudad fue construida empleando materiales regionales.⁶

Sin embargo, no solo es el material es lo que caracteriza a los inmuebles de la zona, la presencia de mano de obra calificada para *el arte de dicha real fábrica*⁷ sería primordial para observar el contexto urbano que hoy en día se percibe. Torres Garibay comenta como el uso de los recursos materiales como la piedra [...] pone de manifiesto las habilidades de sus constructores para dar soluciones adecuadas según las necesidades,⁸ gracias a la mano de obra y al uso de la ignimbrita hoy se habla acerca de la arquitectura moreliana.⁹

El uso y empleo de los materiales naturales que circundan dentro de regiones históricas desarrolladas, comprende uno de los principales rasgos

⁶ Luis Silva Ruelas, *Los acabados en los muros de la antigua Valladolid*, Morelia, México, Gobierno del Estado de Michoacán, Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas, 1991, pp. 15-16.

⁷ Declaración sobre el estado de la obra catedrática, presentada por Vicencio Baroccio Escaiola, maestro mayor de esta fábrica material, Valladolid 1690. En Mina Ramírez Montes, *La escuadra y el cincel*, México, Universidad Nacional Autónoma de México, 1987, pp. 99-101.

⁸ Luis Alberto Torres Garibay, "De las técnicas tradicionales a las nuevas tecnologías en la conservación del patrimonio", en Estrellita García Fernández, Agustín Vaca y Eugenia María Azevedo Salomao, (Coord.), *Espacios habitables, memoria y construcción del patrimonio*, Zapopan Jalisco, El Colegio de Jalisco, 2013, pp. 165-185.

⁹ Gabriel Silva Mandujano, "La cantera en la historia de la arquitectura moreliana" en Memoria del primer foro internacional, *La piedra de cantera en Morelia. Retrospectiva y Perspectivas*, p. 39.

del desarrollo constructivo de nuestro país, dichas expresiones se perciben tanto en culturas antiguas, como en el periodo colonial (virreinal), así como en las obras realizadas en la época moderna, hasta lo que actualmente se encuentra en construcción, para el caso de Morelia como se ha mencionado anteriormente no es la excepción, utilizaron y continúan utilizando materiales naturales de la región dentro de su arquitectura.

El patrimonio edificado de nuestro país aproximadamente es de 85 mil edificios, de los cuales seis mil se localizan en el estado de Michoacán, siendo 1,113 los edificios patrimoniales,¹⁰ en conjunto comprenden la rica colección de edificaciones de valor arquitectónico, por lo cual entre otras más la ciudad fue reconocida como Patrimonio Cultural de la Humanidad por la UNESCO en el año 1991.¹¹ Parte de este patrimonio es valorado desde una visión simbólica, el cual introduce cuestiones económicas con el fin de influir en la actividad comercial y turística de la zona.¹²

El patrimonio arquitectónico que comprende la zona de monumentos históricos de Morelia comenzaría a verse edificado a partir de la fundación de lo que actualmente es Morelia,¹³ al principio de acuerdo a palabras de Fray Alonso Ponce “las casas eran de adobe, alguna que otra de piedra y cal”,¹⁴ sin embargo las obras religiosas en su gran mayoría utilizaron la

¹⁰ M. Zavala Cornejo, L. E. Alejo Guerra. y G. Martínez Ruiz, “Comportamiento sísmico de edificios de tipo religioso de los siglos XVI-XVIII en el centro histórico de la ciudad de Morelia, Michoacán”, en Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica, XIX Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, 6-9 de noviembre 2013, Boca del Río Veracruz, pp. 1-19.

¹¹ Francisco Filogonio Hernández Orejel, *et al*, “Propiedades dinámicas experimentales para edificios históricos de la ciudad de Morelia”, en Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica, XIX Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, 2011, Aguascalientes, Aguascalientes, pp. 1-14.

¹² Klamer y Zuihdhof, citado por: Eugenio Mercado López, “Conservación del patrimonio edificado y políticas públicas: del concepto a la práctica en el estado de Michoacán, México”, en *Palapa*, vol. V, no. II, julio-diciembre 2010, pp. 15-26.

¹³ Raúl Arreola Cortes, *Morelia*, Morelia, México, Morevallado Editores, 1991, p. 40.

¹⁴ Alberto Rendón Guillén, “Morelia y su desarrollo urbano a través del tiempo”, en *Morelia 460*, no. 2, mayo-agosto 2001, p. 06.

ignimbrita (cantería) como elemento de aislamiento, soporte y protección a la intemperie, además de introducirlo en las piezas de ornamentación.

El material pétreo se observa en diferentes elementos que conforman el tejido urbano del contexto histórico de la ciudad, vemos la continua apropiación de la ignimbrita o *piedra de cantería* tanto en: plazas, infraestructura vial, equipamiento urbano, construcciones civiles, etc. (Fig. 01), Silva Mandujano refiere a la actividad como una actividad que se fundamenta en el uso del material natural reflejado en sus múltiples construcciones, tanto religiosas como de carácter público, como ejemplo se tienen: los paseos, calzadas, fuentes, plazas y en el grandioso acueducto".¹⁵ Característica que se ha convertido en una práctica cultural y artesanal de la ciudad,¹⁶ escenario portador del nombramiento como: La Ciudad Rosada de la Nueva España¹⁷ (Fig. 02).



Fig. 01. Edificio del Real Colegio de San Nicolás Obispo de Valladolid de Michoacán a fines del siglo XVIII. Fuente: Raúl Arreola Cortes, *Morelia, Morelia, México*, Morevallado Editores, 1991, p. 41.

¹⁵ Gabriel Silva Mandujano, *op. cit.*, p. 44.

¹⁶ Memoria del primer foro internacional, *La piedra de cantera en Morelia. Retrospectiva y Perspectivas*, p. 09.

¹⁷ Pedro Corona Chávez, B. Bigioggero y Víctor Hugo Garduño Monroy, "La piedra de cantera desarrollo entre la tradición y la cultura", en *Memoria del primer foro internacional La piedra de cantera en Morelia Retrospectiva y Perspectivas*, Morelia, H. Ayuntamiento Morelia, 1998, pp. 21-34.



Fig. 02. Calle nacional 1945 Morelia, Mich. Fuente: Morelia en México en fotos, [marco 2016]. <http://www.mexicoenfotos.com/antiguas/michoacan/morelia/calle-nacional-MX14231987268720/7>

La apropiación del material natural sin duda es una de las peculiaridades arquitectónicas del contexto urbano de Morelia, implícito en actividades de restauración y conservación. Por otra parte el material se ha integrado en la construcción contemporánea, no solo de la ZMHM, actualmente se observa a lo largo del crecimiento urbano de Morelia.

I.2 ASPECTOS HISTÓRICOS RELEVANTES DE LA ZONA DE MONUMENTOS HISTÓRICOS DE MORELIA

En párrafos anteriores observamos cómo la Zona de Monumentos Históricos de Morelia en gran parte es reconocida por sus elementos constructivos en relación con sus múltiples manifestaciones espaciales, cabe señalar que en cada una de estas aparece como rasgo distintivo el uso de la ignimbrita, situación de la cual la sociedad moreliana se ha apropiado.

En últimas décadas una de las características arquitectónicas de la ZMHM es observar la ignimbrita expuesta a la intemperie. El sistema constructivo utilizado históricamente pretendía mostrar algunos de sus elementos, sin embargo, no se debe dejar de lado que utilizarían diversos materiales a manera de recubrimiento para su protección; es decir evitar el intemperismo total, al respecto Silva Ruelas expone como los paramentos (fachadas

principales) se encontraban cubiertos con diversos materiales de acabado.¹⁸

Los elementos de cantería que se diseñaron con el fin de observarse con determinada exposición tales como: jambas, dinteles, platabandas, cornisas, frontones, pináculos, etc., estaban pensados con un recubrimiento tipo enlucido con la función de ser un elemento de protección, no como recubrimientos totales, Silva Ruelas en su libro *Los acabados en los muros de la antigua Valladolid* en el apartado *La cantera decorada con cal* comenta que existía la costumbre de cubrir los paramentos (fachadas principales) de piedra con pintura a la cal, tanto en interiores como exteriores.

La imagen urbana de la zona de monumentos históricos de Morelia que actualmente observamos, en relación al aspecto de sus fachadas surge a raíz de algunos antecedentes en torno a instrucciones municipales y su operación efectuada a través de los años, lo cual tuvo tanta afluencia que se convirtió en una moda y en una apropiación arquitectónica por parte de la sociedad moreliana.

Los primeros antecedentes en cuanto a la actividad del retiro de elementos de recubrimiento de la ignimbrita en la ZMHM tienen sus antecedentes desde el ordenamiento publicado en octubre de 1895 por el entonces presidente municipal Vicente de Aragón y el secretario José María Rivera,¹⁹

¹⁸ Luis Silva Ruelas, *op. cit.*, p. 46.

¹⁹ En el ordenamiento aparece que, por disposición del C. Presidente, se recuerda a los dueños y encargados de casas en esta municipalidad, en cumplimiento al artículo 1º y 2º de las adiciones y reformas al bando general de policía promulgada el 16 de abril de 1887, cuyos artículos a la letra dicen: artículo primero. Todas las casas, portales y edificios públicos – excepto los de pañería – que estén sucios o maltratados, así como las tapias de las huertas, solares y jardines situados en los paseos públicos o que miren a calles muy transitadas se enjarraran y pintaran convenientemente en todos los lados que vean a la vía pública, por cuenta de sus poseedores, en el concepto de que la infracción a este artículo se castigara con la multa de uno o veinticinco pesos sin perjuicio de que el ayuntamiento mande pintar la finca a costa del dueño o poseedor.

en el cual se observa el interés por mantener la conservación del aspecto urbano de la zona.²⁰

Cabe analizar como el ordenamiento estipulaba que las tapias con vistas a vías públicas debían ser *enjarradas* y pintadas. De acuerdo con el término *enjarre*²¹ publicado en el Vocabulario Arquitectónico los muros debían ser aplanados, así como pintados, ambos con la intención de que permaneciera el aspecto urbano de esa temporalidad.

El cuidado del aspecto urbano seguiría prevaleciendo dentro del interés del órgano municipal. La afinidad por continuar con el mantenimiento de casas y edificios públicos con vistas a vías públicas se observaría en el aviso municipal de febrero de 1943 por el entonces presidente municipal Lic. Alfredo Gálvez Bravo y el secretario Benjamín Hernández Lara²² (Fig. 03).

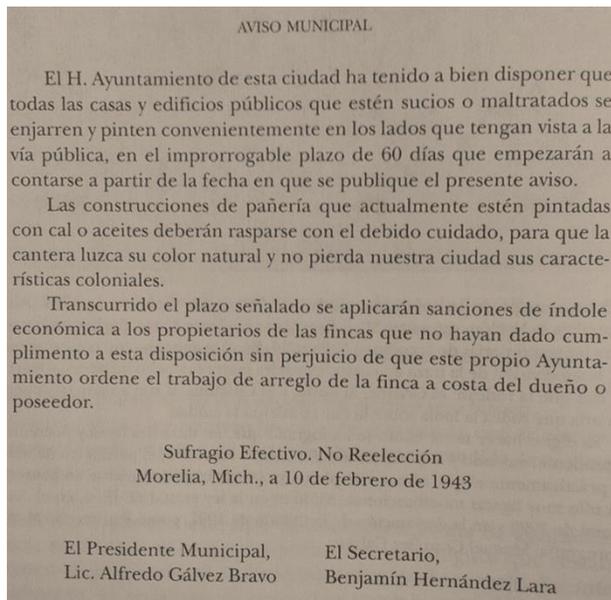


Fig. 03. Aviso Municipal. Fuente: Manuel González Galván, "Morelia: Autenticidades y Ocultamientos" en Louise Noelle (ed.), *La Ciudad: Problema integral de preservación patrimonial*, México, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Estéticas, 2004, p. 86.

²⁰ Manuel González Galván, "Morelia: Autenticidades y ocultamientos", en *Morelia 460*, cuatrimestral mayo-agosto, no. 2, 2001, p. 23.

²¹ Enjarre: s. m. En México se le denomina a la acción y efecto de embarrar o aplanar una pared. *Vocabulario Arquitectónico Ilustrado*, México, Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas, 1980, p. 187.

²² Manuel González Galván, *op. cit.*, p. 25.

La orden fue enjarrar y pintar los muros que estuvieran sucios o maltratados. Dentro del mismo aviso aparecería que las construcciones de pañería que estuvieran pintadas con cal o aceites debían ser retirados. El objeto de dicha labor sería que la ciudad mostrara sus características coloniales, a través de la vista del material pétreo.

Durante el siglo XX las políticas encaminadas hacia la conservación de la imagen urbana continuaron con la afinidad del retiro de recubrimientos en los muros de cantería de la ciudad. Acto notable fue interpuesto durante la conmemoración del segundo centenario del nacimiento del generalísimo José María Morelos donde el entonces presidente municipal Lic. Fernando Ochoa Ponce de León y por la promoción del gobernador Agustín Arriaga Rivera.

La orden fue que las fachadas principales debían lucir lo más posibles limpias de ocultamientos en su cantería dentro del corazón urbano de la ciudad, situación que dio inicio al retiro de los recubrimientos de la cantería de las fachadas de forma indiscriminada (Fig. 04), sin técnica alguna,²³ así como el nulo análisis acerca de la conveniencia de dicha acción, ni reglamentación o técnica alguna para efectuar dicha actividad.²⁴

²³ *Ibíd.*

²⁴ *Ídem*, "Morelia: Autenticidades y Ocultamientos" en Louise Noelle (ed.), *La Ciudad: Problema integral de preservación patrimonial*, México, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Estéticas, 2004, p. 88.



Fig. 04. Liberación de aplanados en fachadas de calle Corregidora de poniente a oriente. Fuente: Manuel González Galván, "Morelia: Autenticidades y Ocultamientos" en Louise Noelle (ed.), *La Ciudad: Problema integral de preservación patrimonial*, México, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Estéticas, 2004, p. 95.

Fue tal la intención de realizar el retiro de los elementos de protección de los muros que se optó a través de los años como una moda, situación y actividad que hoy se mantiene por lo cual la ciudad se distingue por la apariencia de sus materiales en fachadas a la intemperie. Silva Ruelas expone como los recubrimientos fueron desprendidos tanto en fachadas como en muros interiores, el objetivo según el autor fue mostrar el común denominador del sistema constructivo en la fábrica de los apoyos de las edificaciones históricas de la ciudad.²⁵

En cuanto a los decretos que se han realizado en el municipio con carácter de respeto y salvaguarda de la ciudad, aparece el decreto por el que se declara una Zona de Monumentos Históricos en la ciudad de Morelia, Mich. (Fig. 05), dentro del mismo se establece determinado perímetro de

²⁵ Luis Silva Ruelas, *op. cit.*, p. 116.

protección y el conjunto de características que le otorgan a la ciudad el mérito para tener el nombramiento.

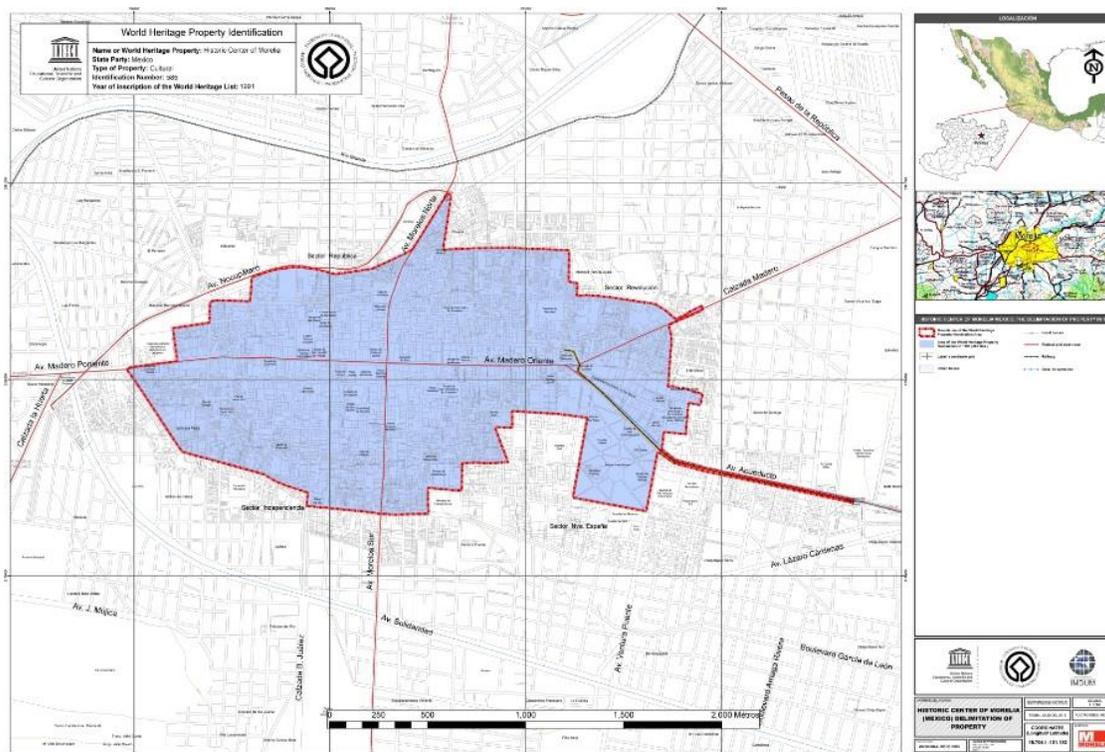


Fig. 05 Perímetro de la declaratoria de Zona de Monumentos Históricos de la ciudad de Morelia. Fuente: UNESCO.ORG http://whc.unesco.org/en/list/585/multiple=1&unique_number=692

Parte del argumento del decreto es el manifiesto de la imagen urbana, se involucran algunas cuestiones como: “que la referida ciudad se caracteriza por el predominio de la arquitectura, recomiendan [...] conservar los rasgos originales de su diseño arquitectónico histórico, [...] así como remates visuales, [...] que Morelia por sus características formales de sus edificaciones [...] con el propósito de salvaguardar el patrimonio histórico y cultural de la nación en la ciudad de Morelia, sin alterar su fisionomía urbana. [...]”²⁶

Con base en el análisis de lo anterior se observa el interés de la salvaguarda de los valores arquitectónicos del conjunto histórico urbano protegido, sin

²⁶ Decreto por el que se declara una zona de monumentos históricos en la ciudad de Morelia, Mich. publicado en el Diario Oficial de la Federación de fecha miércoles 19 de diciembre de 1990.

embargo, cabe hacer mención que en ningún párrafo se aborda el tema de los aplanados, enlucidos o enjarres como elemento o no de autenticidad; sin embargo, tampoco se sugiere que la ciudad deba tener la cantería de los muros expuesta en su totalidad a la intemperie.

Dentro del reglamento de Morelia de 1998, se señalan algunas características específicas de la en relación con la zona de monumentos históricos con el objeto de su salvaguarda y protección a la misma, en un primer apartado expone lo siguiente:

Las calles que se encuentran dentro de la zona de monumentos históricos materia de esta declaratoria se hallan formando una alineación geométrica, uniforme y regular, conservándose la traza original, aunque existen también calles que corresponde a la topografía y por ende su disposición.²⁷

El perfil urbano de la zona se caracteriza por los volúmenes de los templos y los remates visuales de los cerros del Quinceo, los Lomeríos del Colegio, las tomas de Santa María de Guido y el cerro Punhuato.²⁸

En relación con la planeación urbana de los Sitios Culturales el decreto recomienda regirse bajo los siguientes principios:

La regularización del uso de la vía pública, así como el control del tránsito vehicular, deberán atender en todo momento la conservación, rescate y salvaguarda de los Sitios Culturales.²⁹

²⁷ Reglamento urbano de los sitios culturales y zonas de transición del municipio de Morelia, Estado de Michoacán de Ocampo, Título Primero, Disposiciones preliminares, Artículo 5º, Características específicas, inciso C.

²⁸ Reglamento urbano de los sitios culturales y zonas de transición del municipio de Morelia, Estado de Michoacán de Ocampo, Título Primero, Disposiciones preliminares, Artículo 5º, Características específicas, inciso D.

²⁹ Reglamento urbano de los sitios culturales y zonas de transición del municipio de Morelia, Estado de Michoacán de Ocampo, Título Segundo, De los sitios culturales, Capítulo Segundo, De la planeación urbana, Artículo 27º, no. IX.

Se definirán, en los análisis, diagnósticos y otros estudios relativos que se lleven a cabo para una eficaz conservación de los Sitios Culturales, las funciones y articulaciones urbanas específicas y concretas que deban darse entre los Sitios Culturales y el resto de la ciudad, para conseguir un equilibrio en la totalidad del Municipio.³⁰

En virtud de las propuestas de planeación vial, de estacionamientos y control de tránsito vehicular dentro de Sitios Culturales, el decreto manifiesta que serán remitidas a la autoridad estatal competente para su examen e implementación, mismas que estarán sujetas a los siguientes principios:

I.- Se establecerán medidas para regular el acceso de los vehículos automotores a los Sitios Culturales, conforme a las condiciones y limitaciones estructurales urbanas que presenten dichas zonas;

II.- Se establecerán medidas para el desvío del tránsito de paso;

III.- Se establecerán horarios para la circulación de los vehículos pesados, de carga y distribución cuya función esté debidamente justificada para servir a los Sitios Culturales;

IV.- Se fomentará e implementaran medidas para facilitar el uso de vehículos que no contaminen de dimensiones menores para servir y distribuir bienes a los sitios en cita;

V.- Se restringirá el paso de vehículos a través de los Sitios Culturales que transporten materiales peligrosos en los términos de las disposiciones aplicables en la materia (combustibles, ácidos, gases, corrosivos, explosivos, etc.);

³⁰ Reglamento urbano de los sitios culturales y zonas de transición del municipio de Morelia, Estado de Michoacán de Ocampo, Título Segundo, De los sitios culturales, Capítulo Segundo, De la planeación urbana, Artículo 27°, no. XI.

VI.- Se privilegiará la circulación de vehículos que presten servicios públicos, de emergencia y de asistencia; definiendo áreas de estacionamiento para los mismos.³¹

Al realizar el análisis del contenido de dicho reglamento se observa la omisión de cláusulas referentes a los aplanados, enlucidos o enjarres de los inmuebles de la ZMHM, sin embargo, comienzan a aparecer algunos apartados con el objetivo de la conservación del material pétreo utilizado en las edificaciones históricas y la problemática que ocurre por efectos del tránsito vial y sus alteraciones al patrimonio edificado.

Continuando con el tema del aspecto urbano de la zona se encuentra la Ley que Cataloga y Prevé la Conservación, Uso de Monumentos, Zonas Históricas, Turísticas y Arqueológicas del Estado de Michoacán,³² dentro de la cual se establecen una serie de recomendaciones y obligaciones aplicables al patrimonio histórico patrimonial tangible e intangible tanto de la ciudad de Morelia como de lo declarado dentro del interior del estado.

Para el caso de la ZMHM en la Ley antes citada tampoco aparece ninguna declaratoria en específico para las fachadas, en tal caso para los aplanados. Hacen alusión a la no alteración de las características arquitectónicas, de mantener y conservar los monumentos e inmuebles catalogados con apego a la orden, así como el freno a las modificaciones espaciales a menos que sea aprobado por las autoridades correspondientes.

³¹ Reglamento urbano de los sitios culturales y zonas de transición del municipio de Morelia, Estado de Michoacán de Ocampo, Título Segundo, De los sitios culturales, Capítulo Sexto, Vialidad, Estacionamientos y Control del Tránsito Vehicular, Artículo 42°.

³² Ley que cataloga y prevé la conservación, uso de monumentos, zonas históricas, turísticas y arqueológicas del Estado de Michoacán, publicada en el periódico oficial del Estado, el día jueves 08 de agosto de 1974, por Decreto del entonces Congreso de Michoacán de Ocampo y Gobernador Constitucional Interino José Servando Chávez Hernández.

La ZMHM ha estado inmersa en una serie de eventos, los cuales sin duda enmarcan su contexto histórico-patrimonial, arquitectónico y cultural, al día de hoy todos esos sucesos son parte de las discusiones por parte de especialistas en temas ligados a la conservación y conservación del patrimonio cultural material e inmaterial.

Al realizar la reflexión se observa que la ciudad se transcribe, en el caso particular de la ZMHM de acuerdo al conjunto de decisiones, planes, gestión, etc., los cuales responden a determinado proceso histórico y social, lo anterior lo podemos percibir históricamente en las acciones del uso de suelo en los inmuebles de la zona, pensado que la ejecución de los planes se debe a la creación de una nueva ciudad,³³ misma que es adaptada a las necesidades actuales de su sociedad.

1.3 ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN. MATERIAL PÉTREO Y SU ESTADO DE CONSERVACIÓN

La acción de los agentes ambientales sobre materiales de construcción es tal que puede inducir a la degradación, la alteración de los mismos ocurre de forma natural a partir del momento de su extracción, a partir de ello para que el material adquiera nuevas propiedades, tanto físicas como mecánicas, López Jaén expone que conforme pasa el tiempo y los materiales pétreos se encuentran bajo el efecto del intemperismo estos comienzan a verse influidos por procesos de deterioro.³⁴

El tema del deterioro del material pétreo ocasionado por el retiro de los aplanados y recubrimientos a través de las diferentes manifestaciones

³³ Juan López Jaén, "Rehabilitación: concepción y metodología", en EL PROYECTO, Curso de Rehabilitación, COAM, Madrid, 1985, p. 48.

³⁴ Javier Reyes, *et al*, "La degradación de materiales metálicos y pétreos en San Francisco de Campeche" en Elia Mercedes Alonso Guzmán (Coord.) *Conservación de materiales de interés histórico y artístico*, Morelia, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, 2013, p. 118.

urbanas de la ZMHM es una de las hipótesis del tema de investigación. La falta de elementos de protección ha permitido la alteración y el deterioro de la ignimbrita depositada en las fachadas principales de la zona que observamos actualmente (Fig. 06).



Fig. 06. Deterioro de ignimbrita en fachada principal de inmueble ubicado en calle Guillermo Prieto, Colonia Centro, Morelia, Michoacán, Mx. Fotografía Aldo Zamudio Pérez, 2016.

El deterioro del material en gran parte se debe al vínculo histórico entre los elementos y factores que se viven en la ZMHM y su contexto. La presencia de contaminantes ambientales, la humedad constante y cíclica sobre el zoclo de las fachadas principales de los inmuebles de la zona de estudio, así como la presencia de sales minerales y su efecto son en conjunto el fenómeno de alteración continuo y paulatina del material.

Diversos son los factores ambientales que se involucran en el proceso de deterioro del material pétreo, tal es el caso de la radiación solar, temperatura, humedad relativa, orientaciones, vientos dominantes, precipitación pluvial, así como el conjunto de factores urbanos del emplazamiento como la topografía, vegetación, contaminación ambiental y flujo vial.

Una vez que los elementos y factores antes mencionados se presentan en conjunto versus el material pétreo contribuyen al efecto de la aceleración del proceso de deterioro y alteración del material, en otras palabras, la

estructura se transforma; situación por la cual surge el cambio de las propiedades físicas y mecánicas del material.³⁵

Cierto es que el patrimonio edificado siempre estará sujeto al deterioro del material de construcción, tanto natural como a causa de los eventos antropogénicos, sin embargo, el entorno en el cual se encuentre inmerso influirá en algún momento y otro. Yáñez Salazar comenta que al estar en contacto permanente el hombre, tiempo y medio ambiente, el material pétreo está expuesto a sufrir agresiones de diversa índole.³⁶

De acuerdo a las circunstancias urbano-ambientales que presenta la zona de monumentos históricos de Morelia se retoma en una primera instancia la metodología que presente Flores Alés, la cual sugiere realizar la evaluación del deterioro del material pétreo con base en tres escalas de nivel, dentro de cada una de ellas se reconocerá la importancia y el impacto que cada nivel conlleve. Las fases de análisis recomendadas son el estudio de la época de construcción, la operación procesos transcurridos en los inmuebles³⁷ y el momento de la puesta en valor del estado de conservación del inmueble.³⁸

Dentro del apartado I.1 del presente capítulo se describe a grandes rasgos lo que fue parte de la primera fase o etapa de construcción de la zona de estudio. El acontecimiento de mayor auge para que hoy en día se observe el estado de conservación de la ignimbrita de la ZMHM fue el retiro de elementos de recubrimiento y protección a la ignimbrita.

³⁵ José A. Conde Luque, "Arquitectura y medio ambiente: otro tipo de arquitectura" en Vicente Flores Alés (Ed. Lit.), *Construcción y medio ambiente*, Sevilla, Fundación Aparejadores, 2001, pp. 147-163.

³⁶ Alberto Yáñez Salazar, *Análisis metodológico de los monumentos*, México, Consejo Consultivo Internacional Para la Preservación del Patrimonio de la Arquitectura, 1988, p. 94.

³⁷ Vicente Flores se refiere a la fase de operación como lo acontecido entre la época de construcción de lo analizado hasta el momento de realizar la revisión de su estado de conservación.

³⁸ Vicente Flores Alés, "La relación construcción-medio ambiente" en Vicente Flores Alés (Ed. Lit.), *Construcción y medio ambiente*, Sevilla, Fundación Aparejadores, 2001, pp. 30-31.

Una vez que es observado el proceso acelerado de deterioro de la ignimbrita, de acuerdo con el estado de conservación que presentan los zoclos de fachadas principales de la zona de estudio, se diagnosticó que la ignimbrita se encuentra bajo mecanismos de deterioro producto de la combinación de agentes (contaminación ambiental, procesos de sequedad y humedad y cristalización de sales), mismos que en el siguiente capítulo se retoman a mayor profundidad.

El efecto del intemperismo es una de las razones por las cuales el material pétreo sufre procesos de alteración y destrucción, sin embargo, cabe señalar que al observar el deterioro de la ignimbrita depositada sobre los inmuebles de estudio se percibe la alteración diferente entre los diferentes bancos de ignimbrita, es decir, el proceso de deterioro se comporta diferente entre una y otra, situación por la cual con el objetivo de analizar las propiedades y la vulnerabilidad que cada banco de ignimbrita presenta se optó por realizar la caracterización física y mecánica a muestras sanas (ver capítulo 3).

Al respecto uno de los autores locales que abordaron el tema menciona como el material con mayor índice de daño es precisamente el cual se localiza en contacto directo con la superficie, por ello, se presenta el proceso de degradación, como consecuencia de dicho proceso, su forma y calidad cambian, lo anterior de acuerdo al tiempo de exposición bajo las condiciones ambientales presentes.³⁹

La costumbre adquirida en últimas décadas conforme a dejar expuesto el material de fábrica de los inmuebles, ciertamente se relaciona con el ambiente adquirido a través de los diferentes escenarios que el tejido urbano presenta. A decir verdad, el encuentro entre la ignimbrita y las condiciones urbano-ambientales no siempre denotan la alteración del

³⁹ Luis Silva Ruelas, *op. cit.*, pp. 165-166.

material pétreo, dado que existe el encuentro positivo, llamado *amortiguación*,⁴⁰ dicha situación se presenta de acuerdo con las propiedades que cada material contiene.⁴¹

Una vez que los factores ambientales y los elementos urbanos sobrepasan las capacidades de soporte del material pétreo se presenta la otra opción, la *negativa*. En ella la estructura del material amplifica su vulnerabilidad, situación por la cual se da inicio a la presencia de ciertas alteraciones, lo cual hace que el deterioro sea amplificado, traduciendo lo anterior como la reducción en su capacidad de durabilidad.⁴²

La presencia del impacto ambiental sobre la ignimbrita utilizada en los diferentes inmuebles ubicados en la ZMHM se puede percibir a través de las diversas alteraciones, lo más común es encontrar la presencia de: pátinas, eflorescencias, costras, alveolización, fisuras, fracturas, entre otras (Fig. 07).



Fig. 07. Deterioro de ignimbrita en fachada principal de inmueble ubicado en calle Galeana, Colonia Centro, Morelia, Michoacán, Mx. Fotografía Aldo Zamudio Pérez, 2016.

Sin embargo, es el ciclo combinado entre humedad, contaminación atmosférica y sales minerales las que propician los principales agentes de

⁴⁰ Amortiguamiento o amortiguación se entiende como la capacidad que tiene el material pétreo para disipar factores que contribuyen a su posible destrucción, es decir, puede recibir determinada fuerza o energía teniendo la capacidad de absorberla o mitigarla, ya sea por dispersión o porque no se transforme.

⁴¹ Vicente Flores Alés, *op. cit.*, p. 39.

⁴² Isabel Carretero León, "Acción del medio ambiente en la conservación de edificios" en Vicente Flores Alés (Ed. Lit.), *Construcción y medio ambiente*, Sevilla, Fundación Aparejadores, 2001, pp. 109.

deterioro al material pétreo, tal fenómeno se puede observar en los diferentes tipos de ignimbrita utilizada en las fachadas de los inmuebles ubicados en la ZMHM (Fig. 08).



Fig. 08. Deterioro de la ignimbrita en fachada principal de inmueble ubicado en calle Galeana, Colonia Centro, Morelia, Michoacán, Mx. Fotografía Aldo Zamudio Pérez, 2015.

El análisis de la contaminación atmosférica se valora por la influencia entre la zona de estudio y sus posibles fuentes de contaminación ambiental. El factor ambiental es importante analizarlo a raíz de ser uno de los principales elementos de transportación y penetración de diferentes elementos al material pétreo por el efecto del viento y las lluvias.⁴³

Son precisamente el efecto del viento y la lluvia los vehículos de transporte de diferentes elementos químicos y biológicos, mismos que contribuyen a la manifestación del cambio de imagen, textura, dureza, entre otros al material pétreo (cambio estético), los agentes anteriores se convierten en los detonantes de procesos de eflorescencias, en un primer caso, para luego suscitarse en los causantes de la pérdida del material a través del desmoronamiento del mismo.⁴⁴

⁴³ Isabel Carretero León, *op. cit.*, p. 111.

⁴⁴ Juan Antonio Chávez Vega y Odalys Álvarez Rodríguez, *Patología, diagnóstico y rehabilitación de edificaciones*, Morelia, México, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, 2008, p. 121.

Respecto a la alteración del material pétreo bajo el efecto del intemperismo Ákos Török en su publicación *Surface strength and mineralogy of weathering crusts on limestone buildings in Budapest*⁴⁵ evalúa la presencia de manchas en la corteza del material, aborda el efecto de la contaminación atmosférica y el clima del sitio con respecto al deterioro, dictaminando que la alteración del material conduce a cambios en su composición mineralógica, además del cambio en la mecánica de propiedades.

Por otra parte, comenta que el tipo de costra que se percibe en la superficie por una parte favorece a la resistencia de la superficie, en cuanto a que el material pétreo tiene un menor porcentaje de capacidad de absorción de agua.

Aunado al efecto del intemperismo el material pétreo ha sido estudiado desde un punto de vista geológico estructural, tal es el caso del libro *Stone in Architecture. Properties & Durability*⁴⁶ que presentan Siegfried Siegmund y Rolf Snethlage, dentro del anterior los autores exponen la importancia que ha tenido el uso de la roca, así como su incorporación en construcciones realizadas a través de las diferentes épocas históricas, en diferentes culturas y otras regiones geográficas.

En la publicación *The effect of air pollution on stone decay: The decay of the Drachenfels trachyte in industrial, urban, and rural environments, a case study of the Cologne, Altenberg and Xanten cathedrals*⁴⁷ Siegfried Siegmund expone el deterioro estructural de la piedra a causa de la formación de costras. El análisis lo lleva a cabo con respecto a tres casos de

⁴⁵ Ákos Török, "Surface strength and mineralogy of weathering crusts on limestone buildings in Budapest", en *Building and Environment*, no. 38, 2003, pp. 1185-1192.

⁴⁶ Siegfried Siegmund, "Building Stones", en Siegfried Siegmund y Rolf Snethlage (eds), *Stone in architecture. Properties & durability*, London, Library of Congress, 2014, pp. 11-96.

⁴⁷ *Idem*, "The effect of air pollution on stone decay: The decay of the Drachenfels trachyte in industrial, urban, and rural environments, a case study of the Cologne, Altenberg and Xanten cathedrals", en *Environmental earth sciences*, vol. 69, no. 4, 2013, pp. 1095-1124.

estudio bajo el impacto de zonas industriales, urbanas y rurales; zonas con la presencia de contaminación ambiental la cual es producida por el tráfico vial y la industria (Fig. 09).



Fig. 09. Alteración de la superficie pétreo por contaminación antrópica. Imagen izquierda con deterioro, imagen a la derecha después del proceso de restauración. Fuente: Enrique Salgado, Restauración del Palacio Real de Madrid, [28 de marzo de 2017], <http://www.esalgado.es/restauracion-del-palacio-real-de-madrid>.

Siegfried Siegemund y Rolf Snethlage dictaminan que existe claramente la diferencia entre la costra presente por un ambiente con impacto industrial afectado principalmente por la contaminación antropogénica derivada de la quema de combustibles fósiles a diferencia del producto de un ambiente rural. Además de la relación conjunta entre el deterioro producido por la humedad y la corrosión química de los minerales y las concentraciones de contaminantes del pasado.

Maravelaki-Kalaitzaki en su publicación *Black crusts and patinas on Pentelic marble from the Parthenon and Erechtheum (Acropolis, Athens): characterization and origin*,⁴⁸ realiza la evaluación de los daños sobre superficies de monumentos de la Acrópolis de Atenas, su investigación es apoyada en laboratorio a través de técnicas de análisis con el objetivo de

⁴⁸ Pagona-Noni Maravelaki-Kalaitzaki, "Black crusts and patinas on Pentelic marble from the Parthenon and Erechtheum (Acropolis, Athens): characterization and origin", en *Analytica chimica acta*, vol. 532, no. 2, 2005, p. 187-198.

identificar y cuantificar elementos contenidos en sus muestras asociados con el deterioro del material.

El dictamen que presenta contiene como resultado la cantidad de elementos contenidos en el material pétreo, mismos que son parte de los contaminantes atmosféricos presentes, además de lo anterior concluye en que las sustancias depositadas sobre la superficie de los monumentos son transportadas a los monumentos a través del viento. Maravelaki-Kalaitzaki hace referencia a que la desintegración de la piedra expuesta es el resultado de su intemperismo.

En relación con las pátinas oscuras de las superficies de materiales pétreos a causa de la contaminación ambiental, se encuentran las investigaciones de Aira, N., las cuales tienen origen biológico resultado de los efectos antropogénicos.⁴⁹ El objetivo del análisis de las patinas es conocer que elementos son los que conforman la pátina. El dictamen realizado es que el material pétreo no es el factor total para la formación de pátinas y que esta se crea por los contenidos ambientales bajo los cuales se encuentra el monumento.

Continuando con el grado que tiene la carga ambiental sobre los materiales, se localizan los trabajos de Jean Tétreault, el cual expone que una vez que los contaminantes se encuentran dentro del material, en conjunto con otros elementos pueden presentarse reacciones químicas, las cuales provocan la alteración tanto física como química, el resultado es el cambio estético. Cabe señalar que el menor de los daños ocasionados en el material pétreo es la costra, la cual el autor denomina *costra pasiva*.⁵⁰

⁴⁹ Aira, N., *et al.* "Gas chromatography applied to cultural heritage: Analysis of dark patinas on granite surfaces", en *Journal of Chromatography A*, vol. 1147, no. 1, 2007, pp. 79-84.

⁵⁰ Jean Tétreault, *Contaminantes*, Canadian Conservation Institute, ICCROM, 2009, p. 03.

En la línea de trabajos de patologías de materiales pétreos se encuentra Eibert Alemany, el enfoque de sus estudios es en relación al deterioro de los monumentos históricos, la conservación de las piedras ornamentales, la interacción entre la piedra y el medio ambiente y estudios de protección de la roca empleada sobre monumentos, así como técnicas de limpieza, análisis de durabilidad, entre otros.

El trabajo de su investigación es el reflejo de la preservación del patrimonio edificado histórico, así como la prevención a su alteración respecto al contacto con el medio ambiente. Dentro de sus publicaciones se encuentra la memoria titulada *Criterios de intervención en materiales pétreos*, en la cual comenta ¿cómo y cuándo? el material debe ser intervenido.⁵¹

Cabe señalar que la participación de Eibert Alemany en el mundo de la conservación ha sido de gran aporte gracias a la generación de nuevos conocimientos respecto al deterioro de los materiales pétreos, a las prácticas e investigaciones y a su colaboración con diversos restauradores en la generación de nuevos conocimientos y su aplicación en obras de restauración.

Uno de sus aportes académicos fue la participación y apoyo en la realización del *Glosario ilustrado de formas de deterioro de la piedra*,⁵² parte de la guía y entendimiento de los diferentes deterioros que aquejan al material pétreo.

En cuanto a los trabajos expuestos con respecto a las características ambientales y el impacto sobre los materiales de la zona de monumentos históricos de la capital michoacana se localiza Alonso Guzmán. Expone el efecto que ha dejado el tener el material expuesto al intemperismo,

⁵¹ Rosa María Eibert Alumany, "Criterios de intervención en materiales pétreos", en *España, Criterios de intervención en materiales pétreos*, no. 2, 2002, pp. 01-33.

⁵² *Glosario ilustrado de formas de deterioro de la piedra*, Comité internacional de la Piedra de ICOMOS, Véronique Végés-Belmin (ed), Paris, 2010.

causando patinas en las fachadas orientadas hacia el Sur Sudoeste (SSW) que es donde ocurren los vientos dominantes mayormente.⁵³

Por otra parte, en su publicación *Damaged and healthy Ignimbrites from the surroundings of Morelia, Mexico; uses for restoration of the colonial inheritance*,⁵⁴ expone la importancia que tiene la conservación del patrimonio arquitectónico Moreliano, lo anterior de acuerdo al número de ejemplares arquitectónicos, así como el material con mayor presencia dentro de los sistemas constructivos *la cantería* (ignimbrita).

Realiza la evaluación de daños provocados en la ignimbrita utilizada en edificaciones históricas de Morelia a consecuencia del azufre depositado en el medio ambiente, el cual se estimula es producido por los vehículos con motores de combustión y la fábrica de papel ubicada al suroeste de la ciudad.⁵⁵

Por otra parte, Mikhail Ostrooumov presentan datos sobre las particularidades mineralógico-geoquímicas del proceso de degradación de la ignimbrita, como caso de estudio aborda el Ex Convento de San Francisco de Morelia, la conclusión de la publicación es en referencia al impacto ambiental con relación de la alteración y deterioro de la piedra,

⁵³ Elia Mercedes Alonso Guzmán, *et al*, "Emisiones antropogénicas. Su papel en la calidad del aire y su efecto sobre materiales de construcción tradicionales", en Carlos Alberto Hiriart Pardo (coord.), *Patrimonio edificado, turismo y gestión de poblaciones históricas ante el siglo XXI, Estudios sobre la protección, conservación, restauración y gestión turística del patrimonio urbano, arquitectónico y religioso*, Morelia, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, 2009, pp. 117-130.

⁵⁴ Wilfrido Martínez Molina, *et al*, "Damaged and healthy Ignimbrites from the surroundings of Morelia, Mexico; use form restoration of the colonial inheritance", en *Advanced Materials Reserch*, vol. 889-890, 2014, pp. 1431-1437.

⁵⁵ Elia Mercedes Alonso G. y L. Martínez, "The role of environmental sulfur on degradation of ignimbrites of the Cathedral in Morelia, Mexico", en *Building and Environment*, no. 38, 2003, pp. 861-867.

gracias a las sustancias químicas depositadas en el material presentan los daños.⁵⁶

El tema del deterioro de los materiales pétreos es visto desde diversas disciplinas. Desde lo geológico, se localiza Javier Alonso, el cual menciona la necesidad de tener un correcto diagnóstico del deterioro del material pétreo, así como conocer a fondo los posibles agentes de alteración. En sus líneas de investigación introduce la caracterización física del material como posible vulnerabilidad del material pétreo, el ambiente bajo el cual está inserto el inmueble y la contaminación ambiental.⁵⁷

Cabe mencionar su participación dentro Proyecto COREMANS: *Criterios de intervención en materiales pétreos*, el cual tiene como objetivo actualizar los criterios y métodos de intervención, además de generar una base datos de las técnicas de actuación sobre el deterioro del material y su contribución a la restauración, conservación y mantenimiento, tanto del material como de los bienes culturales materiales.

Javier Alonso participa en el trabajo *Indicadores del deterioro en los materiales pétreos de edificación* donde se analizan diferentes daños del material pétreo. La publicación tiene como finalidad generar la ilustración de las diferentes normas, recomendaciones y criterios a tomarse en cuenta previos a la intervención de sitios históricos en los cuales el material pétreo se encuentra involucrado en los sistemas constructivos.⁵⁸

⁵⁶ M. Ostroumov, *et al*, "Mineralogía y geoquímica de los procesos de degradación en Monumentos históricos: primer acercamiento a un caso mexicano (Morelia, Michoacán)", en *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, vol. 20, no. 3, 2003, pp. 223-232.

⁵⁷ Francisco Javier Alonso, *et al.*, "Análisis del deterioro en los materiales pétreos de edificación", en *RECOPAR*, no. 03, septiembre 2006, pp. 23-32.

⁵⁸ Ana Laborde Marqueza, *et al*, "Criterios de intervención en materiales pétreos", en Ana Laborde Marqueza (coord.), *Proyecto COREMANS: Indicadores del deterioro en los materiales pétreos de edificación*, España, 2013, pp. 111-207.

Asociados al campo de la ingeniería civil se sitúan los especialistas con la disciplina en ingeniería ambiental, realizando investigaciones respecto a la relación que existe entre las emisiones vehiculares y la alteración al patrimonio edificado. K. S. Nesamani ingeniero ambiental muestra resultados de la evaluación de factores de resistencia conforme a cargas vehiculares sobre materiales pétreos en contacto con emisiones antropogénicas emitidas al medio ambiente.⁵⁹

K. S. Nesamani menciona que el impacto del medio ambiente sobre los materiales de construcción depende de la presencia de agentes implícitos, los cuales pueden favorecer a la aceleración del deterioro, en este sentido se encuentra la presencia del agua y de sales minerales, al actuar en conjunto con los materiales pétreos.

Al respecto del efecto de la humedad sobre materiales pétreos Coscollano Rodríguez, en su libro *Tratamiento de las humedades en los edificios*⁶⁰ aborda las patologías que sufre el material producto en gran medida por el efecto de la humedad constante.⁶¹ En su publicación realiza el análisis a muros de piedra, teniendo como resultado el inicio de procesos de deterioro, lo cual menciona es un proceso lento y paulatino, sin embargo su aceleración se percibe una vez que las muestras se colocan a la intemperie y entran en contacto con la humedad constante y cíclica.

Continuando con las investigaciones sobre materiales pétreos bajo el efecto de la intemperie, su deterioro y posibles agentes, se encuentra Torres Montes, realiza la reflexión acerca de la preocupación por conservar el material pétreo que se encuentra sometido a la intemperie, dicho material se puede

⁵⁹ K. S. Nesamani, et al., "Estimation of vehicular emissions by capturing traffic variations", en *Atmospheric Environment*, no. 41, 2007, pp. 2996-3008.

⁶⁰ José Coscollano Rodríguez, *Tratamiento de las humedades en los Edificios*, España, Editorial THOMSON PARANINFO, 2001.

⁶¹ *Idem*, *Restauración y Rehabilitación de Edificios*, España, Editorial THOMSON PARANINFO, 2003.

observar en múltiples escenarios llámense arquitectónicos y antropológicos, tal es el caso de zonas arqueológicas, monumentos históricos y edificios modernos.⁶²

Realiza la publicación *El deterioro de la piedra* donde afirma que los principales agentes de deterioro del material pétreo son los que provienen del exterior (medio ambiente) luego de estar en contacto el material, agua, aire y tierra.⁶³

Respecto a las investigaciones con el objetivo de la conservación de inmuebles de carácter histórico que a su vez utilizan la ignimbrita como parte de su fábrica original tenemos a autores locales, de los cuales podemos mencionar a Bedolla Arroyo y Alonso Guzmán, exponiendo el deterioro del material pétreo y los sistemas constructivos de la región.⁶⁴

Chávez y Álvarez⁶⁵ realizan la descripción de la importancia que tiene la humedad y los vientos para se produzcan deterioros al material pétreo. Derivado de la humedad constante y cíclica el material puede llegar a sufrir un porcentaje trascendental de alteración en cuanto a su volumen, a consecuencia presentara el daño al sistema constructivo. Ambos autores sitúan a la humedad como uno de los agentes que originan mayores daños mecánicos a la estructura del material.

Por otra parte, el impacto ambiental sobre el material llega a producir la disgregación del mismo, Chávez y Álvarez comentan como el daño ocurrido por la combinación del Dióxido de Carbono (CO²) y la humedad pueden

⁶² Luis Torres Montes, "Notas para la historia de la conservación de la piedra en América Latina", Instituto de Investigaciones Antropológicas, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, México.

⁶³ *Idem*, "El deterioro de la piedra, versión final" en Centro Regional Michoacán del INAH, para los Anales del Museo Michoacano, Instituto de Investigaciones Antropológicas, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, 1994, pp. 01-27.

⁶⁴ Wilfrido Martínez Molina, *loc. cit.*

⁶⁵ Juan Antonio Chávez Vega y Odalys Álvarez Rodríguez, *op. cit.*, p. 326.

provocar el cambio de las propiedades físico-mecánicas del material pétreo.⁶⁶

Se recomienda analizar los elementos biofísicos⁶⁷ del sitio, en este sentido la lluvia es un transmisor a través del viento, situación que convierte a la lluvia en vehículo de elementos químicos. Al encontrarse el material pétreo a la intemperie por sus propiedades de absorción lo hacen ser un depósito de elementos ajenos a su estructura, lo cual llega a representar la activación de los propios minerales contenidos dentro del material pétreo, tales como las sales. A consecuencia se llega a presentar el inicio de determinada patología, la cual se convertirá en su propio elemento destrucción.⁶⁸

El efecto del agua y humedad sobre el material es percibido a través de algunas reacciones químicas como la disolución, situación que es vista una vez que el agua entra en contacto con el Dióxido de Carbono (CO²) y penetra al material produciendo la degradación del mismo.⁶⁹

Respecto a las investigaciones correspondientes al deterioro producto de la presencia de sales minerales dentro del material pétreo, se habla acerca de la siempre activación de la sal por el efecto o casusa del medio ambiente y sus condiciones tales como humedad y temperatura.⁷⁰

Circunstancia por la cual el análisis del deterioro del material pétreo no debe ser estudiado de forma aislada, para que la degradación del material se produzca influyen los factores ambientales, tales como: el clima (temperatura, humedad relativa, precipitación pluvial, radiación solar,

⁶⁶ *Ibíd.*, p. 124.

⁶⁷ La caracterización biofísica, tiene como objetivo contextualizar las condiciones naturales de la región geográfica estudiada.

⁶⁸ Juan Antonio Chávez Vega y Odalys Álvarez Rodríguez, *loc. cit.*, p. 147.

⁶⁹ Isabel Carretero León, "Acción del medio ambiente en la conservación de edificios" en Vicente Flores Alés (Ed. Lit.), *Construcción y medio ambiente*, Sevilla, Fundación Aparejadores, 2001, p. 111.

⁷⁰ *Ibíd.*, p. 112.

vientos dominantes) y la contaminación ambiental producida por la industria.⁷¹

El depósito de las partículas transportadas por el efecto del viento y el agua sobre el material, son factor fundamental para que se pronuncien los efectos de deterioro. En principio se acumulan partículas en el exterior del material provocando una pátina, la cual, con el transcurso del tiempo más el contacto con los factores ambientales producirá cambios físicos y químicos.⁷²

En resumen, una vez revisados los trabajos anteriormente descritos se observa como a través de distintas partes del mundo y bajo distintas disciplinas existe la preocupación y colaboración por mantener en estado de conservación óptimo al material pétreo utilizada en las construcciones, llámense históricas, contemporáneas, arqueológicas o modernas construidas a lo largo del planeta.

Por otro lado los análisis son realizados bajo la óptica de la conservación del material natural, a raíz de observar que la degradación del material se da de forma natural, sin embargo a causa de actividades antropogénicas el deterioro se agudiza, por lo cual las investigaciones se dan en torno a problemáticas materiales, estructurales, ornamentales y comerciales, todas con el objetivo de ser incorporadas dentro de las edificaciones, tanto en procesos de restauración, conservación y en obras de fábrica nueva.

Parte medular del proyecto de investigación es comprender y analizar a raíz de qué se presenta el deterioro de la ignimbrita utilizada en las construcciones dentro de la ZMHM, además de observar las características que presenta el material. La primera fase de la investigación es estudiar el

⁷¹ *Ibidem*, p. 109-128.

⁷² Javier Reyes, *et al*, *op. cit.*, p. 120.

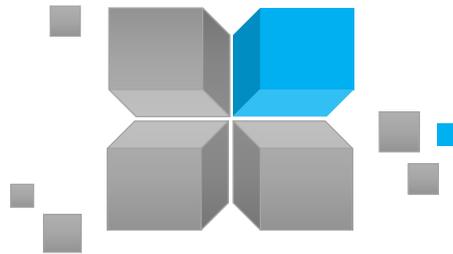
análisis histórico de los factores que han contribuido para que dicho fenómeno se presente.

Por otra parte, de acuerdo a la prospección de la zona se tiene el diagnóstico y dictamen del daño presente en la ignimbrita integrada en los inmuebles de estudio de la zona es con mayor en la parte baja o como comúnmente se denomina zoclo o zócalo de las fachadas principales.

En los capítulos siguientes se analizan los principales agentes de deterioro de la ignimbrita en inmuebles de la ZMHM, el análisis de las propiedades de la ignimbrita sana bajo la perspectiva de observar la vulnerabilidad o capacidades que cada cantera presenta y el análisis bajo diversas técnicas en laboratorio de la micro-caracterización de la cantería extraída de inmuebles deteriorados de la zona.



Capítulo II



II. DETERIORO DE LA IGNIMBRITA

El objetivo de proyectos de investigación en relación a mecanismos de deterioro de materiales pétreos se realiza con la meta de presentar avances donde se dispongan nuevos conocimientos, mismos que representan si no el freno, si la anticipación de determinados procesos de alteración. Aunado a lo anterior Fort comenta que las investigaciones deben arrojar a la par, estrategias de protección y conservación del patrimonio construido [...]¹

¹ Rafael Fort González, "El Programa Geomateriales: objetivos y logros" en Fort González, Rafael y Pérez-Monserrat, Elena M., (coords.), *Reunión Científica del Programa Geomateriales. Durabilidad y conservación de Geomateriales del patrimonio edificado*, Programa de Geomateriales e Instituto de Geociencias IGEO (CSIC, UCM), Conferencia llevada a cabo en Madrid, España, marzo 2014, p. 01.

II.1 DETERIORO DE LA IGNIMBRITA

Agentes de deterioro de la ignimbrita

El patrimonio histórico edificado se encuentra relacionado con una serie de acontecimientos sociales históricos tales como usos, transformaciones y pérdida, el caso del patrimonio edificado de la ZMHM no ha sido la excepción, a grandes rasgos el patrimonio a través de su material ha estado implícito en una serie de acontecimientos naturales y antropogénicos, situación por la cual hoy ostenta determinado estado de conservación.

A raíz de observar el deterioro del material pétreo en inmuebles ubicados dentro de tejidos viales urbano-históricos, la sociedad comenzó a realizar investigaciones en relación con la problemática en torno a la influencia ambiental o carga ambiental sobre los materiales.

Con base en lo anterior, recae el interés por conocer cuáles son las consecuencias que ha dejado y siguen produciendo el conjunto de actividades que la sociedad cotidianamente ha ejercido a través del tiempo, entendiendo que una de las aportaciones de la sociedad ha sido la implantación de sus obras en determinado espacio geográfico natural,² utilizando el material natural de su contexto para la construcción de sus propias manifestaciones espaciales y culturales.

Uno de los organismos que brindan seguridad y apoyo al Patrimonio Mundial es la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), dentro de sus objetivos se localizan el cuidado y salvaguarda, dentro de sus metas aparece la preocupación por los sitios con declaratoria en peligro a causa de diversos factores, entre ellos: la falta de atención y cuidados, así como la fragilidad de sus materiales. Ejemplo de lo

² José A. Sotelo Navalpotro, "Problemas ecológicos de la conservación del patrimonio y del medio ambiente" en *Anales de la Geografía de la Universidad Complutense*, vol. 20, 2000, p. 193.

anterior es el caso de la zona arqueológica de Chan Chan en Perú con la alteración de su material de construcción a causa de los ambientales agresivos³ (Fig. 10).

Sin embargo, el deterioro de los materiales no solo se debe a su degradación natural, interviene el contexto en el cual se encuentra inserto y la carga ambiental. Es así como la alteración de la ignimbrita de cierta medida se debe a la suma de los factores ambientales producidos tanto por las actividades desarrolladas por la sociedad, como por el estrés que origina emplazamiento de ubicación al material pétreo, situación que puede llegar a presentar determinado proceso de degradación irreversible al patrimonio edificado.⁴



Fig. 10. Plan de emergencia Chan Chan 2006-2007. Fuente: [enero 2017]
<http://chanchan.gob.pe/chan-chan/conservacion/>

Con el objetivo de comprender la relación que existe entre la sociedad y su contexto, se debe conocer y entender el concepto que los agrupa, así como las actividades y necesidades que en conjunto realizan, lo cual tiene como resultado la problemática ambiental que hoy se observa globalmente.

³ Monika Vázquez (adaptación), La UNESCO y el Patrimonio Mundial, 2004, Basado en la obra *Háblame del Patrimonio Mundial*, UNESCO, 2002, consultado el día 18 de diciembre de 2016 en: <http://kaipachanews.blogspot.mx/2016/12/la-unesco-y-el-patrimonio-mundial.html>

⁴ Edel Kopal, "Patrimonio ambiental y desarrollo sostenible" en Centro de Investigaciones y Estudios Turísticos, CIET Argentina, 2002, p. 175.

En ese afán de análisis se encuentra Enrique Leff, el cual define al ambiente como el espacio de articulación entre sociedad y naturaleza,⁵ mientras que Eder Kobal define al ambiente como la obra que se constituye de acuerdo con las consideraciones sociales, culturales, económicas y políticas, incluyendo las características del suelo y clima.⁶

Por otra parte, se encuentra Peña Chacón, puntualiza al deterioro ambiental como: toda acción, omisión, comportamiento u acto ejercido por un sujeto físico, público o privado, que altere, menoscabe, trastorne, disminuya o ponga en peligro inminente y significativo, algún elemento rompiéndose con ello el equilibrio.⁷

En la actualidad edificios históricos y contemporáneos se ven deteriorados por la influencia de las actividades cotidianas de la sociedad, situación que detona la presencia de diversos agentes de alteración de los materiales pétreos. Las sales, el fuego, la contaminación atmosférica, actividades bélicas, vandalismo, restauraciones nocivas, mismas que son parte de los principales mecanismos destructivos,⁸ responsables de gran parte del cambio negativo de la estética y estabilidad del material pétreo.⁹

El estado de conservación que muestra la superficie de la ignimbrita utilizada en las múltiples construcciones a lo largo de la ZMHM es una de las primicias de la presente investigación (figura 11-15), cabe señalar que el material

⁵ Enrique Leff, "Pensamiento Ambiental Latinoamericano", VI Congreso Iberoamericano de Educación Ambiental, San Clemente de Tuyú, Argentina, 19 de septiembre de 2009, p. 07.

⁶ Edel Kobal, *loc. cit.*

⁷ Mario Peña Chacón, "Daño ambiental y prescripción" en *Revista Judicial*, No. 109, septiembre 2013, p. 118.

⁸ Maite Maguregue, *et al.*, "Analytical diagnosis methodology to evaluate nitrate impact on historical building materials" en *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, no. 391, 2008, p. 1361.

⁹ Rosa María Ebert, *et al.*, "Manual de diagnóstico y tratamiento de materiales cerámicos pétreos y cerámicos" y Rafael Fort Gonzalez, "La piedra natural y su presencia en el Patrimonio Histórico", en Ma. José Varas Muriel, *et al.*, "Canteras y monumentos históricos: un recurso didáctico", en *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, vol. 18, no. 3, 2010, p. 265.

pétreo analizado es utilizado tanto en fines estructurales como ornamentales o decorativos integrado en monumentos y edificaciones sin declaratoria.

Una de las características que presenta la ignimbrita utilizada a lo largo del contexto urbano histórico es su exposición a la intemperie, lo cual, en términos de conservación deriva en su vulnerabilidad de acuerdo con los efectos ambientales. El resultado se traduce en la actuación de mecanismos de deterioro; en principio son visibles cambios en su estética, para luego observar la lenta y paulatina pérdida parcial o total del material pétreo.



Fig. 11. Estado actual de la ignimbrita en fachada principal de inmueble ubicado en la calle Fray Manuel Navarrete, Colonia Centro, Morelia, Michoacán, México. Fuente: Aldo Zamudio Pérez, 2015.



Fig. 12. Estado actual de la ignimbrita en fachada principal de inmueble ubicado en la Av. Morelos Norte, Colonia Centro, Morelia, Michoacán, México. Fuente: Aldo Zamudio Pérez, 2015.

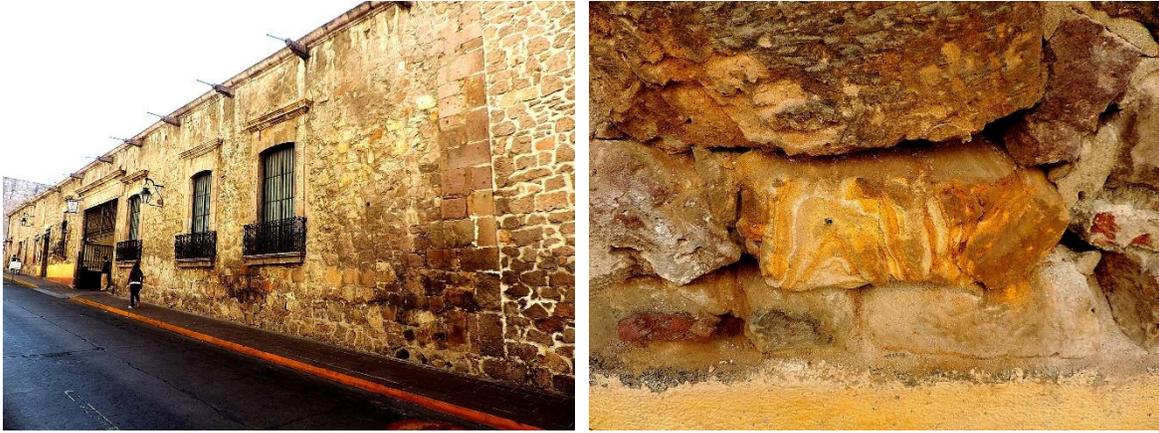


Fig. 13. Estado actual de la ignimbrita en fachada principal de inmueble ubicado en la calle Guillermo Prieto, Colonia Centro, Morelia, Michoacán, México. Fuente: Aldo Zamudio Pérez, 2015.



Fig. 14. Estado actual de la ignimbrita en fachada principal de inmueble ubicado en la calle Galeana, Colonia Centro, Morelia, Michoacán, México. Fuente: Aldo Zamudio Pérez, 2015.

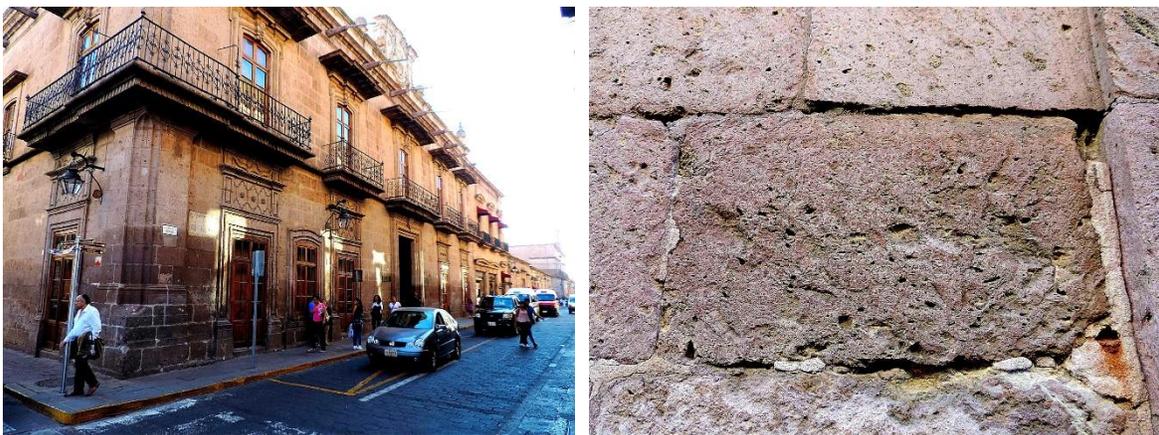


Fig. 15. Estado actual de la ignimbrita en fachada principal de inmueble ubicado en la calle Allende, Colonia Centro, Morelia, Michoacán, México. Fuente: Aldo Zamudio Pérez, 2015.

A continuación, se presenta el mecanismo de deterioro de la ignimbrita con mayor auge dentro de la ZMHM, dicho proceso se presenta con el ciclo de actuación entre tres agentes: la humedad, la cristalización de sales y la contaminación ambiental. El diagnóstico corresponde a los agentes observados dentro de los inmuebles de la zona con mayor presencia de deterioro en la ignimbrita.

II.2 DETERIORO PRODUCIDO POR EL EFECTO DE HUMEDAD

De acuerdo al análisis de las mamposterías en específico de las ignimbritas en las unidades de análisis de la ZMHM su deterioro resulta de diversas acciones en las cuales el agua (acumulación de humedad) interviene para el desarrollo de mecanismos de deterioro, con mayor énfasis en el material expuesto al efecto del intemperismo.

El deterioro de la ignimbrita producto de la humedad constante es uno de los agentes con mayor índice de deterioro. Con el objetivo de diagnosticar la vulnerabilidad del material pétreo frente a mecanismos de alteración por efectos del agua (humedad) se recomienda conocer las propiedades hídricas¹⁰ del material, ya que es uno de los factores que influirán en la durabilidad del material pétreo.¹¹

Dentro de los procesos de deterioro el comportamiento hídrico de la ignimbrita juega un papel importante, ya que el movimiento del agua a través de la estructura interna del material pétreo es determinante para que el daño se presente o no. Cultrone y Sebastián¹² argumentan que uno de los

¹⁰ Las propiedades físicas que describen el movimiento del agua, tanto en fase líquida como en vapor para materiales pétreos se denominan propiedades hídricas.

¹¹ Francisco J. Alonso, L., Alonso y Patricia Vázquez, "Propiedades hídricas y anisotropía en rocas sedimentarias porosas", en *Geotemas*, vol. 13, 2012, p. 01.

¹² Giuseppe Cultrone y Eduardo Sebastian, "Laboratoy simulation showing the influence of salt efflorescence on the weathering of composite building materials" en *Environmental Geology*, no. 56, 2008, p. 730.

procesos de desintegración depende a menudo de dos situaciones, una la transportación de los contaminantes por el efecto del agua y otra la acción que puede ejercer el agua de acuerdo a la estructura porosa del material pétreo.

Al encontrarse la ignimbrita húmeda o con determinado porcentaje de agua dentro en su estructura presentara mecanismos de deterioro, tanto físicos, químicos como biológicos.¹³ Ejemplo de lo anterior se observa en el estado de conservación de diversas ignimbritas de la zona de estudio.

Una de las características que se observan dentro de la ZMHM generalmente es la presencia de humedad, lo cual se observa en el cambio de tono del material; en específico se observa a la ignimbrita con mayor tonalidad a lo demás. Lo anterior se encuentra con mayor porcentaje en la zona baja o zoclo de las mamposterías de los inmuebles que comprenden la zona (Fig. 16-17).



Fig. 16. Humedad constante de la ignimbrita en fachada principal de inmueble ubicado en calle Allende, Colonia Centro, Morelia, Michoacán, México. Fuente: Aldo Zamudio Pérez, 2015.



Fig. 17. Humedad constante de la ignimbrita en fachada principal de inmueble ubicado en calle Allende, Colonia Centro, Morelia, Michoacán, México. Fuente Aldo Zamudio Pérez, 2015.

¹³ David Benavente, "Propiedades físicas y utilización de rocas ornamentales", en M^a Ángeles García del Cura y Juan Carlos Cañaveras (coord.), *Utilización de rocas y minerales industriales*, Alicante España, Universidad de Alicante, 2006, p. 123.

Respecto de la humedad sobre materiales pétreos Álvarez de Buergo comenta que la presencia de las manchas oscuras se debe en gran medida a la acumulación de humedad y por la presencia de sales.¹⁴ De acuerdo con la cantidad de humedad sobre las ignimbritas y por su efecto hoy en día se observan diferentes alteraciones en el material como disoluciones, oxidaciones, disgregaciones, cristalización de sales, entre otros (Fig. 18-21).

La presencia de agua (acumulación de humedad) en la ignimbrita tiene la particular de ser uno de los detonadores para que se presenten mecanismo de deterioro tanto químicos como físicos y biológicos, mismos que son los responsables de generar diversos agentes de alteración, el resultado será siempre el cambio de la estructura de la ignimbrita, por ello, el agua se considera un agente de deterioro, el cual puede actuar de diversas modalidades dentro del sistema poroso de la estructura del material.¹⁵



Fig. 18. Disgregación sacaroidea en ignimbrita de inmueble ubicado en Av. Morelos Norte, Morelia, Michoacán, México. Fuente: Aldo Zamudio Pérez, 2017.



Fig. 19. Exfoliación en la ignimbrita de inmueble ubicado en calle Abasolo, Morelia, Michoacán, México. Fuente: Aldo Zamudio Pérez, 2017.

¹⁴ Mónica Álvarez de Buergo, "Casos prácticos de la petrología aplicada a la conservación de materiales pétreos del patrimonio", en *Actas de las III jornadas técnicas durabilidad y conservación de materiales tradicionales naturales del patrimonio arquitectónico*, Cáceres, abril de 2008, p. 92.

¹⁵ María José de la Torre López, "Propiedades hídricas de los materiales lapídeos. Ensayos" en Eduardo, Sebastián Pardo (Dir.), *Cuadernos técnicos, Técnicas de diagnóstico aplicadas a la conservación de los materiales de construcción en los edificios históricos*, Sevilla, Junta de Andalucía, Consejería de Cultura, Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico, p. 66.



Fig. 20. Disyunción de películas, disgregación y descamación en la ignimbrita de inmueble ubicado en calle Galeana, Morelia, Michoacán, México. Fuente: Aldo Zamudio Pérez, 2017.



Fig. 21. Deslaminación en la ignimbrita de inmueble ubicado en calle Álvaro Obregón, Morelia, Michoacán, México. Fuente: Aldo Zamudio Pérez, 2017.

El agua tiene la capacidad de transportar soluciones generadas por la carga ambiental, las cuales a través de la lluvia o el viento se adhieren a la superficie de la ignimbrita, para tal efecto interviene porosidad del material pétreo, ya que entre mayores sean los valores de porosidad permitirán la penetración de humedad,¹⁶ así como a mayor porosidad mayor será el índice de absorción.¹⁷ Una vez que la solución se encuentra en la superficie comienza el proceso de absorción, este se presentará en mayor o menor porcentaje de acuerdo a la capacidad que cada ignimbrita contenga de absorción, lo cual varía entre una y otra.

A través del agua son transportadas diversas partículas como: Cloro (Cl), Dióxido de carbono (CO₂), Sodio (Na⁺), Potasio (K⁺), Calcio (Ca²⁺), Magnesio (Mg²⁺), entre otros.¹⁸ Partículas que son conducidas por el contacto con la superficie húmeda y por la interacción con el agua de lluvia. Una vez que las partículas antes mencionadas se introducen en la

¹⁶ S. Sanchez Moral, *et al*, "Deterioration of building materials in Roman catacombs: The influence of visitors", en *Science of the Total Environment*, vol. 349, no. 01, October 2005, p. 274.

¹⁷ Delphine Vandevorode, *et al*, "Validación de in situ aplicables measuring techniques for analysis of the water adsorption by stone" en *Procedia Chemistry*, no. 08, 2013, p. 322.

¹⁸ María José de la Torre López, *loc. cit*.

estructura de la ignimbrita en conjunto con factores ambientales como la radiación solar se inician mecanismos de deterioro del material pétreo. Cabe señalar que dichos procesos tienden a presentarse con mayor índice en zonas urbanas.¹⁹

De acuerdo con la estructura que presenta el tipo de ignimbrita, al encontrarse continuamente saturada puede llegar a presentar procesos de cambio de volumen con mayor presencia. Benavente comenta que el daño del material pétreo comienza con la parcialidad de humedad, resultado de la presión capilar por la tensión inter-facial de la estructura porosa que se genera entre el aire y el agua.²⁰

Por otra parte, el deterioro de la ignimbrita puede verse mayormente influenciado por el índice de humedad, es decir, mayor será el efecto de alteración producto de los ciclos de cambio de temperaturas bajas (hielo-deshielo)²¹ en un cuerpo húmedo, así como por el efecto producto de la cristalización de sales en la estructura del material pétreo.

El índice de humedad es factor determinante para que el mecanismo de deterioro de la ignimbrita se presente, por lo cual se tiene que: cuanto mayor es la capacidad de porcentaje de humedad mayor será la absorción de soluciones dentro de la estructura del material pétreo,²² es decir la absorción de la ignimbrita se ve influenciada por el tipo de material y el tiempo de humedad.

La ignimbrita expuesta ante los diversos ataques derivados de mecanismos de deterioro en los cuales interviene el agua repercute negativamente a las

¹⁹ Maite Maguregue, *et al*, *op. cit.*, p. 1362.

²⁰ David Benavente, *op. cit.*, p. 132.

²¹ María José de la Torre López, *loc. cit.*

²² Siegfried Siegesmund, Thomas Weiss y Axel Vollbrecht, "Natural stone, weathering phenomena, conservation strategies and case studies: introduction" en *The Geological Society of London*, No. 205, 2002, p. 06.

propiedades físicas y mecánicas del material pétreo. Uno de los valores que se detonan es el cambio de resistencia mecánica del material, lo cual puede verse con la transformación superficial y la pérdida de durabilidad del material pétreo (ver capítulo tres).

Una vez que la ignimbrita se encuentra dentro de procesos cíclicos entre acumulación humedad y procesos de sequedad se encontrara sometida a acciones de expansión, situación que afecta a largo plazo a la durabilidad del material, dicho mecanismo la introduce en una etapa de fatiga, lo cual resulta en la disminución de su vida útil.²³

II.3 DETERIORO PRODUCIDO POR EL EFECTO DE LAS SALES

La zona de monumentos históricos de Morelia se encuentra bajo una serie de procesos de alteración que repercute directamente en el estado de conservación de la ignimbrita. En general, el material pétreo de construcción naturalmente sufre procesos de desintegración, circunstancia de acuerdo con la presencia de fenómenos presentes por los factores atmosféricos de la zona.²⁴

Uno de los principales problemas que aquejan a la ignimbrita de la zona de estudio es el deterioro a causa de la presencia de sales minerales, mismas que son las causantes de algunas de las deformaciones que presenta el material pétreo, razón por la cual se le conoce por ser uno de los mecanismos más poderosos de alteración. De acuerdo con anteriores investigaciones el daño se produce luego de hallarse el material frente a ciclos de disolución-cristalización e hidratación-deshidratación.²⁵ Dicho

²³ David Benavente, *loc. cit.*

²⁴ Maite Maguregue, *et al, loc. cit.*

²⁵ *Ídem*

proceso tiene la capacidad de producir el decaimiento de la conservación del material pétreo.²⁶

El proceso de cristalización de las sales minerales de la ignimbrita se produce por efectos de meteorización natural, (agua, viento, insolación y cambios térmicos),²⁷ una vez que el material pétreo absorbe determinado porcentaje de agua y que alcanza cierta cantidad de humedad dentro de la estructura porosa se presenta la formación del núcleo cristalino,²⁸ el cual es causante de ejercer fuertes presiones en las superficies, generalmente porque es la parte que se encuentra seca.²⁹

Generalmente la cristalización de las sales (Fig. 22) se produce en la superficie de la ignimbrita (eflorescencia),³⁰ sin embargo el proceso comienza desde el interior. El daño se presentará dependiendo del mineral de composición del material pétreo.³¹ Para que el proceso de cristalización se presente intervienen algunas propiedades físicas, en este preciso caso son la porosidad y capacidad de absorción del material pétreo las que juegan un papel decisivo.

La propiedad de porosidad del material pétreo es una de las características físicas que lo hacen resistente o vulnerable. El sistema de poros es parte determinante para que las sales provoquen daño a la estructura interna,³²

²⁶ Giuseppe Cultrone y Eduardo Sebastian, *op. cit.*, p. 729.

²⁷ Ma. José Varas Muriel, et al, "Canteras y monumentos históricos: un recurso didáctico", en *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, vol. 18, no. 3, 2010, p. 263.

²⁸ Maite Maguregue, *et al*, *op. cit.*, p. 1362.

²⁹ M. Ortega Huertas y M. J. de la Torre López, "La microscopía electrónica de barrido. Aplicaciones en el estudio y conservación del patrimonio histórico" en Eduardo, Sebastián Pardo (Dir.), *Cuadernos técnicos, Técnicas de diagnóstico aplicadas a la conservación de los materiales de construcción en los edificios históricos*, Sevilla, Junta de Andalucía, Consejería de Cultura, Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico, p. 30.

³⁰ Maite Maguregue, *et al*, *op. cit.*, p. 1362

³¹ Patricia Vázquez, *et al*, "Surface changes on crystalline stones due to salt crystallisation" en *Environmental Geology*, no. 69, 2013, p. 1246.

³² Giuseppe Cultrone y Eduardo Sebastian, *op. cit.*, p. 729.

el mecanismo se efectúa en relación a la cantidad y tamaño de los poros,³³ sin embargo, tienen que acompañarse de otros eventos tales como: la expansión térmica, humedad y la deshidratación cíclica para que el deterioro se presente y se maximice.



Fig. 22. Cristalización de sales en jamba de ignimbrita, inmueble ubicado en calle Galeana, Morelia, Michoacán, México. Fuente: Aldo Zamudio Pérez, 2017.

El efecto de las sales sobre la ignimbrita es un mecanismo de alteración que acapara la atención de investigaciones precisamente por la alteración que logra producir a los materiales pétreos. A través del proceso de cristalización de sales llega a generar tanta presión a la estructura interior de la ignimbrita que el resultado es la pérdida parcial del material. Patricia Vázquez³⁴ refiere al efecto de las sales como el estrés al que se somete la piedra, situación que logra el desmoronamiento de la misma (Fig. 23).

El proceso del deterioro a causa de la cristalización de sales en la ignimbrita comienza con el aumento de volumen del material, la cristalización produce fuertes tensiones al interior de la estructura, una vez que las sales cristalizan al interior de la estructura comienzan a generarse pequeñas fisuras, que a lo sucesivo provocan nuevas alteraciones, tales como: descamaciones,

³³ Siegesmund Siegfried, Thomas Weiss y Axel Vollbrecht, *op. cit.*, p. 03.

³⁴ Patricia Vázquez, *et al*, *op. cit.*, p. 1238.

arenizaciones, desintegración, etc.,³⁵ situación que logra el cambio de la resistencia mecánica para luego presentar la pérdida total del material pétreo. Sin embargo, la alteración dependerá en gran medida del tipo de solución salina involucrada.³⁶



Fig. 23. Cristalización de sales en ignimbrita, inmueble ubicado en calle Galeana, Morelia, Michoacán, México. Fuente: Aldo Zamudio Pérez, 2015.

El tamaño de la fisura dentro del material pétreo es otra circunstancia que dependerá de la composición salina, así como del tipo de ignimbrita (estructura porosa), la presencia de la grieta puede tender a mayor penetración al igual que el tamaño de la grieta tender a ser mayor, en este sentido dentro del siguiente capítulo se observa el análisis del comportamiento de la ignimbrita bajo el ataque del intemperismo: carga del medio ambiente, humedad y cristalización de las sales.

El deterioro producto de las sales, es el mecanismo que actúa una vez que el material se encuentra saturado de humedad, el volumen de los poros es llenado por las sales. Producto de los factores ambientales el material pierde la humedad o se deshidrata y comienza la fase de cristalización de sales, por lo cual, aparecen en principio micro fisuras, las cuales Giuseppe Cultrone

³⁵ M. Ortega Huertas y M. J. de la Torre López, *loc. cit.*

³⁶ Giuseppe Cultrone y Eduardo Sebastian, *op. cit.*, p. 729.

y Eduardo Sebastián denominan “una nueva familia de poros pequeños”,³⁷ situación que desarrolla la presión en la estructura interna a través de los poros para luego descomponer la superficie de la ignimbrita (Fig. 24).

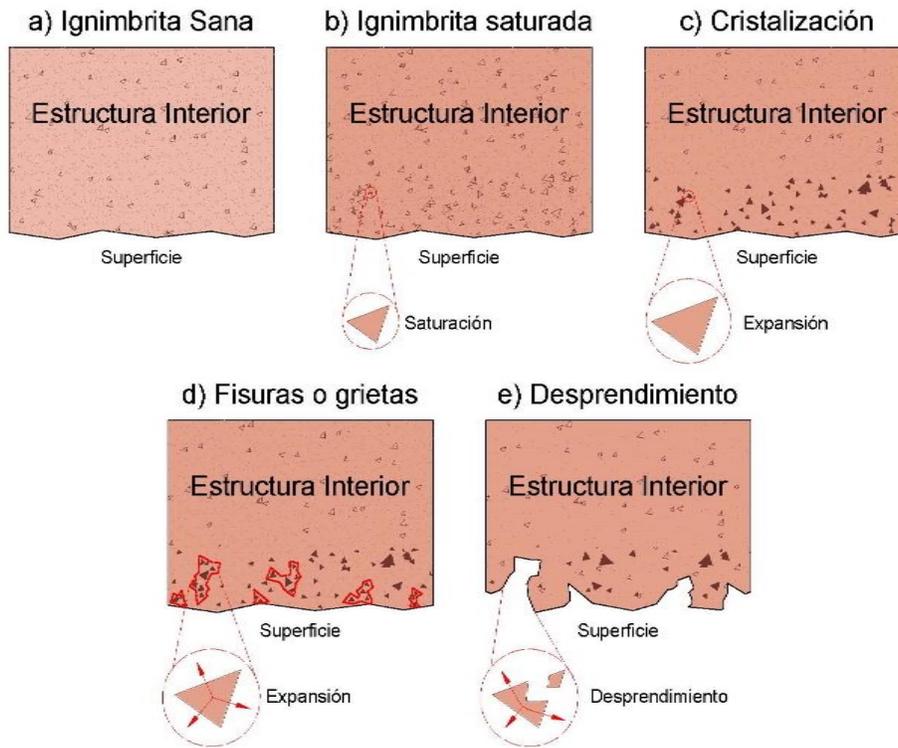


Fig. 24. Proceso de cristalización en la ignimbrita. Edición: Aldo Zamudio Pérez.

Para que el mecanismo de deterioro de la ignimbrita se presente a casusa de la cristalización de sales depende de las características físicas del material, es decir su estructura y composición, así como de los factores ambientales y urbanos bajo los cuales se encuentre inmerso el material pétreo.

La cristalización de sales se presenta una vez que los poros de la ignimbrita se encuentran sobresaturados del componente salino,³⁸ sin embargo, dicho proceso tanto de deterioro como de alteración será frenado o amplificado de acuerdo a las características del material, en este caso, uno de los

³⁷ Giuseppe Cultrone y Eduardo Sebastian, *op. cit.*, p. 737.

³⁸ Miguel Gómez Heras y Rafael Fort, "Patterns of halite (NaCl) crystallisation in building stone conditioned by laboratory heating regimes" en *Environmental Geology*, No. 52, 2007, p. 260.

factores que contribuyen es la termodinámica del material. Dicho componente apoya al proceso de deshidratación por efectos de la radiación solar, al presentarse ciclos de pérdida y ganancia de humedad y temperatura se garantiza el proceso de la cristalización de las sales.

En relación a lo anterior David Benavente expone que el daño por el efecto de la cristalización de sales se debe a la presencia de ciclos de cristalización y disolución de sales, lo anterior como resultado de ciclos recurrentes de condensación y evaporación efectuados de acuerdo a la humedad relativa y por la temperatura del aire, sin dejar de lado las propiedades de la misma estructura, denominándola como *el poro huésped*.³⁹

De acuerdo a lo anterior uno de los factores que contribuyen al proceso de deterioro es la constitución de la porosidad de la ignimbrita, característica que favorece a la distribución de temperatura a través de su interior y exterior, lo cual retarda o aceleran la activación del ciclo de deshidratación y sequedad, situación que resulta óptima para la presencia de los procesos de cristalización.

La cristalización de las sales dentro de los poros del material pétreo es un proceso donde intervienen diversos elementos ambientales y antropogénicos, además de la influencia de la temperatura, intervienen parámetros de humedad, la composición salina, el flujo del viento, entre otros más para que se reproduzca el proceso de cristalización.⁴⁰

Por otra parte, las características físicas de la ignimbrita contribuyen a la disipación de temperatura, por lo cual los efectos de cristalización serán pasivos o activos. En resumen, el daño de la ignimbrita de las mamposterías

³⁹ David Benavente, *et al*, "Salt damage and microclimate in the Postumius Tomb, Roman Necropolis of Carmona, Spain" en *Environmental Earth Sciences*, vol. 63, no. 7-8, 2011, p. 1541.

⁴⁰ Miguel Gómez Heras y Rafael Fort, *op. cit.*, p. 265.

en la zona de zoclos se presenta en gran medida por la cristalización de sales, generalmente el mecanismo se presenta una vez que el material ha pasado por tres fases: hidratación-deshidratación, cristalización y expansión del material.⁴¹

Cabe mencionar que el fenómeno de deterioro por efecto de las sales se agudiza una vez que el material pétreo se encuentra bajo el intemperismo por la falta de elementos de protección (Fig. 25-26). Siegesmund Siegfried, Thomas Weiss y Axel Vollbrecht comentan que el proceso del ataque físico a los materiales pétreos se presenta en gran medida por la formulación de sales, lo cual es causado por diversos escenarios como: el agua procedente de la lluvia, el efecto del aire contaminado y los elementos depositados sobre la superficie de la ignimbrita.⁴²



Fig. 25. Fotografía de inmueble ubicado en la actual calle Morelos Sur #323, Colonia Centro de Morelia. Fuente: [enero 2017] <http://www.mexicoenfotos.com/antiguas/michoacan/morelia/casa-en-que-vivio-morelos-MX14831051490297/1>



Fig. 26. Fotografía de inmueble ubicado en la actual calle Morelos Sur #323, Colonia Centro de Morelia, sin recubrimientos en sus muros de fachada. Fuente: [enero 2017] <http://www.mexicoenfotos.com/antiguas/michoacan/morelia/casa-de-morelos-MX14172106956024/12>

⁴¹ Giuseppe Cultrone y Eduardo Sebastian, *op. cit.*, p. 731.

⁴² Siegesmund Siegfried, Thomas Weiss y Axel Vollbrecht, *op. cit.*, p. 06.

Una vez que se presenta el proceso de erosión de la sal, la desintegración del material pétreo comienza, cabe señalar que la alteración anterior al material se observa paulatinamente, es decir, la pérdida del material no sucede de un momento a otro.⁴³ De no prever dicho mecanismo de deterioro se tendrán que crear en lo futuro estrategias de conservación, donde no siempre se mantiene la estabilidad del mismo. Situación por la cual es recomendable observar y realizar el monitoreo del estado de conservación de la ignimbrita de la zona de estudio respecto a los efectos que produce la presencia de sal.

Las principales formas de alteración del material pétreo según Bern Fitzner y Kurt Heinrichs⁴⁴ son los depósitos de sal en la superficie pétreo dentro de la estructura porosa cerca de la superficie. Dicho mecanismo origina eflorescencias en la superficie del material (normalmente se observa el desprendimiento de polvo blanquizco) y subflorescencias (sal debajo de la superficie pétreo, generalmente se encuentra en la descamación del material).

Por lo anterior es importante analizar los escenarios bajo los cuales se ha encontrado inmersa la ignimbrita, es decir, realizar el estudio donde se analicen los eventos y condiciones en los cuales ha estado la ignimbrita desde: la exposición de la misma, procesos de restauración y conservación, con el objetivo de determinar su morfología, misma que ayudara a deducir la procedencia de las sales y con ello conocer la vulnerabilidad del material frente al agente de deterioro.⁴⁵

⁴³ *Ibid.*

⁴⁴ Bernd Fitzner y Kurt Heinrichs, "Diagnóstico de daños en monumentos pétreos: documentación, mapeo y registro" en Eduardo, Sebastián Pardo (Dir.), *Cuadernos técnicos, Técnicas de diagnóstico aplicadas a la conservación de los materiales de construcción en los edificios históricos*, Sevilla, Junta de Andalucía, Consejería de Cultura, Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico, p. 126.

⁴⁵ M., Ortega Huertas y M. J., de la Torre López, loc. cit.

La ignimbrita utilizada en la construcción de las fachadas principales de la zona de monumentos históricos de Morelia claramente delata el fenómeno de deterioro por la cristalización de las sales, situación por la cual a lo largo de la historia se han efectuado diversos proyectos de restauración, conservación y mantenimiento al material pétreo de la zona, es específico del área de los zoclos. Habitualmente la presencia de sales es detectada en los edificios por simple inspección visual (eflorescencias),⁴⁶ causando daños estéticos y físicos.⁴⁷

No se debe olvidar que la ignimbrita del contexto urbano de Morelia se comporta indistintamente, de acuerdo a la estructura con la cual se conforma se desarrollan los mecanismos de deterioro entre una y otra (ver siguientes capítulos), situación por la cual el proceso de deterioro por cristalización no se puede generalizar entre una y otra.

II.4 DETERIORO PRODUCIDO POR EL EFECTO DE LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL

La preocupación por entender que ha ocurrido con el ambiente y su deterioro es hasta cierto punto una perspectiva contemporánea, dicho proceso de análisis de alteración comienza por entender que las actividades antropogénicas llegar a presentar determinado efecto negativo a causa de la contaminación ambiental, consecuentemente por la carga ambiental sobre materiales pétreos.

El análisis del deterioro ambiental en ciudades de Latinoamérica comenzaría a principios de la década de los años 70,⁴⁸ situación que daría

⁴⁶ *Ibid.*

⁴⁷ David Benavente, *op cit.*, p. 1542.

⁴⁸ Enrique Leff, *op. cit.*, p. 03.

pie a la producción científica en cuanto al conocimiento de la causa y alteración de los contextos ambientales sobre los materiales.

El problema, de acuerdo con publicaciones pioneras, radicaba ese momento de acuerdo al crecimiento económico y su consecuencia respecto a los modelos de desarrollo aplicados a diversas urbes, es decir, el grado de deterioro ambiental se relacionaba directamente con los planes de urbanización territorial y el desarrollo tecnológico,⁴⁹ en otras palabras, la contaminación o destrucción de la naturaleza sería el precio que se estaría pagando por el acceso al desarrollo.⁵⁰

Una de las primeras publicaciones del pensamiento económico con relación a la alteración ambiental de latinoamericano fue presentada por la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), en donde exponían que la problemática sucedía por causas en relación con estilos de vida y planes de desarrollo. Luego de tres décadas Sotelo Navalpotro sostiene que la degradación medioambiental de los medios rurales y urbanos sobre los monumentos y de todos los vestigios del pasado se debe al llamado progreso tecnológico.⁵¹

Si lo observamos desde la perspectiva anterior se puede decir que la problemática sigue vigente. Observemos que para el caso de México sería en los años 80 a través de la Fundación Universo Veintiuno la cual publicaría una colección de libros pioneros en el diagnóstico, evaluación y gestión del ambiente.⁵²

En el campo de la conservación del patrimonio material, la atención se refleja desde una perspectiva de conservación material, de acuerdo a la

⁴⁹ Enrique Leff, *op. cit.*, pp. 03-04.

⁵⁰ José A. Sotelo Navalpotro, *op. cit.*, p. 197.

⁵¹ *Ibíd.*, p. 193.

⁵² Enrique Leff, *op. cit.*, p. 04.

vulnerabilidad que los materiales pétreos han presentado de acuerdo a la presencia de procesos de degradación dejando consigo daños irreversibles.⁵³ Sotelo Navalpotro argumenta como el hombre (sociedad) tiene la capacidad no solo de consumir recursos naturales, sino también recursos culturales, lo cual trae consigo la modificación y disminución del medio natural.⁵⁴

Un elemento de importancia de las zonas urbanas históricas es justamente el punto de encuentro entre el pasado y lo presente; ambos con todos sus significados materiales, constructivos, tecnológicos y culturales, situación que involucra el interés por estudiar los aspectos con mayor repercusión en relación con la problemática ambiental y su relación con la transformación material, en cuanto al estudio de escenarios de infraestructura poco estudiados.

II.4.a Deterioro ambiental – causas

La alteración o impacto ambiental es ocasionada por la degradación y contaminación, las cuales son establecidas por la alteración producida de acuerdo con actividades que la sociedad comete en su medio contextual.⁵⁵ Gómez Orea y Teresa Gómez comentan que el deterioro se presenta por determinada actividad la cual produce el impacto de acuerdo al insumo que se utiliza en determinado espacio.⁵⁶

El deterioro ambiental es causado por diversas y alternas situaciones, una de ellas la producción de energía mundial, lo cual constituye una de las principales amenazas al planeta. La organización *World Wildlife Fund for*

⁵³ Edel Kobal, *loc. cit.*

⁵⁴ José A. Sotelo Navalpotro, *op. cit.*, p. 196.

⁵⁵ *Ibid.*, p. 197.

⁵⁶ Domingo Gómez Orea y Ma. Teresa Gómez Villarino, *Evaluación de impacto ambiental*, Madrid, Ediciones Mundiprensa, 2013, p. 163.

Nature (WWF) comenta que más del 90% de la energía que consume el mundo proviene de los combustibles fósiles, dejando como consecuencia la emisión de contaminantes.

El desarrollo de la sociedad evidentemente demanda la creación de energías, lo cual ha generado un *cambio no deseado*⁵⁷ en sus diversos contextos y escenarios, afectándose no solo las condiciones naturales sino sociales, la cual repercute directamente en la salud de la población, así como en la modificación del equilibrio de los materiales pétreos.

De acuerdo a la revisión de bibliografía en relación a la problemática ambiental de las grandes urbes es precisamente la quema de combustibles fósiles uno de los elementos que produce mayor presencia de partículas en la atmósfera lo cual es ocasionado por la quema de combustibles fósiles, a menudo que el crecimiento urbano se presenta en las ciudades se observa la apuesta particular que tienen algunos de los proyectos de urbanización y el crecimiento de forma horizontal, situación que produce la movilidad de la sociedad; fenómeno que responde a el retorno de la sociedad a los centros urbanos o históricos por la ubicación de las fuentes de empleo y servicios.

A consecuencia se produce el deterioro de los monumentos ubicados dentro de zonas urbanas históricas, lo cual se debe tanto al impacto de la concentración urbana como de los planes urbanísticos; la sociedad requiere de espacios para su crecimiento, al estudiar los planes de urbanización y demanda de los contextos históricos se observa que la creación de planes en algunos casos es concebido con ciertos fines políticos y mercantiles.⁵⁸

⁵⁷ José A. Sotelo Navalpotro, *op. cit.*, p. 201.

⁵⁸ *Ibid.*, pp. 208-209.

Tanto la creación de nuevas energías como el transporte terrestre son factores de contaminación y alteración de las zonas urbanas históricas,⁵⁹ en el estudio de emisiones y características vehiculares en ciudades mexicanas el diagnóstico de las principales zonas urbanas tiene en común la contaminación del aire.

El resultado es que la principal fuente de contaminación es el transporte público, el cual contribuye con un 90% de las emisiones de monóxido de carbono (CO). Además del aumento de población y el crecimiento del parque vehicular; el cual ha mostrado un ritmo acelerado de crecimiento en los últimos 30 años, al pasar de cinco millones de autos en 1980 a 32 millones al año 2010.⁶⁰

II.4.b Efecto de la contaminación sobre los materiales pétreos

Se dice que desde el siglo pasado la humanidad ha creado otra causa de deterioro a su patrimonio: la contaminación atmosférica.⁶¹

El efecto de la contaminación ambiental sobre los materiales es uno de los temas contemporáneos de interés de los contextos urbanos históricos. El deterioro del material con el que se encuentran construidos innumerables inmuebles llega a presentar tal cantidad de daño de acuerdo con los procesos de alteración física, donde se ven involucrados su durabilidad, resistencia y estética, hasta llegar a perderse el material.

⁵⁹ *Íbid.*, p. 212.

⁶⁰ Estudio de emisiones y características vehiculares en ciudades mexicanas, Instituto Nacional de Ecología y Centro de Transporte Sustentable de México a.c., 2011.

⁶¹ Rafael Fort González, "La contaminación atmosférica en el deterioro del patrimonio monumental: medidas de prevención" en Ciencia, Tecnología y Sociedad para una conservación sostenible del patrimonio pétreo, San Sebastián de los Reyes, España, Universidad Popular José Hierro y Delegación de Cultura del Ayuntamiento de San Sebastián de los Reyes, 2007, p. 57.

El mecanismo de deterioro por efecto de contaminantes ambientales y la presencia de la lluvia ácida por acción antropogénica la explica Javier Reyes en la siguiente descripción (Fig. 27):

(1) Uno de los problemas que aquejan al material pétreo con el cual se construyeron cientos de edificios prehispánicos y coloniales hoy en día presentan desgaste a causa de la carga ambiental por la presencia de lluvia ácida, situación que tiene la característica de ser trayectorias de largo alcance. Las principales fuentes de emisión de contaminantes son plantas termoeléctricas, así como el resultado de la combustión de motores de transporte terrestre y aéreo.

(2) El vehículo de transporte se genera por la presencia de fenómenos atmosféricos (viento, nubes, precipitaciones) los cuales determinan en gran parte las trayectorias de los materiales tóxicos. Podría pensarse que únicamente incluyen en dicho fenómeno las plantas locales, sin embargo, se tienen identificados casos donde las industrias que generan daño ambiental se encuentran distantes.

(3) La mezcla de partículas se genera de acuerdo con ciertas particularidades, es aquí donde el ácido sulfúrico y el nítrico se originan en la atmósfera al reaccionar el trióxido de azufre y el dióxido de nitrógeno con agua, oxígeno y otras sustancias presentes en el ambiente.

(4) La luz solar aumenta la velocidad de la mayoría de las reacciones de la lluvia ácida, en esta fase comienzan a disolverse las gotas que forman las nubes.

(5) La trayectoria de largo alcance de contaminantes aéreos (TLACA) se encarga de transportar contaminantes de un sitio geográfico a otro, un ejemplo de tal caso es lo que sucede con la contaminación

industrial de la Cuenca del Golfo de México la cual repercute al sitio arqueológico El Tajín (sitio con mayor índice de deterioro por lluvia ácida del país).⁶²

Aunado a lo anterior Prieto Taboada, *et al*, comentan que el deterioro por efecto de la contaminación ambiental sobre el material pétreo se debe a los altos índices de tráfico vial en las zonas urbano-históricas, ⁶³ daño sustancial percibido en el material de las fachadas, a través de la desintegración del mismo.⁶⁴

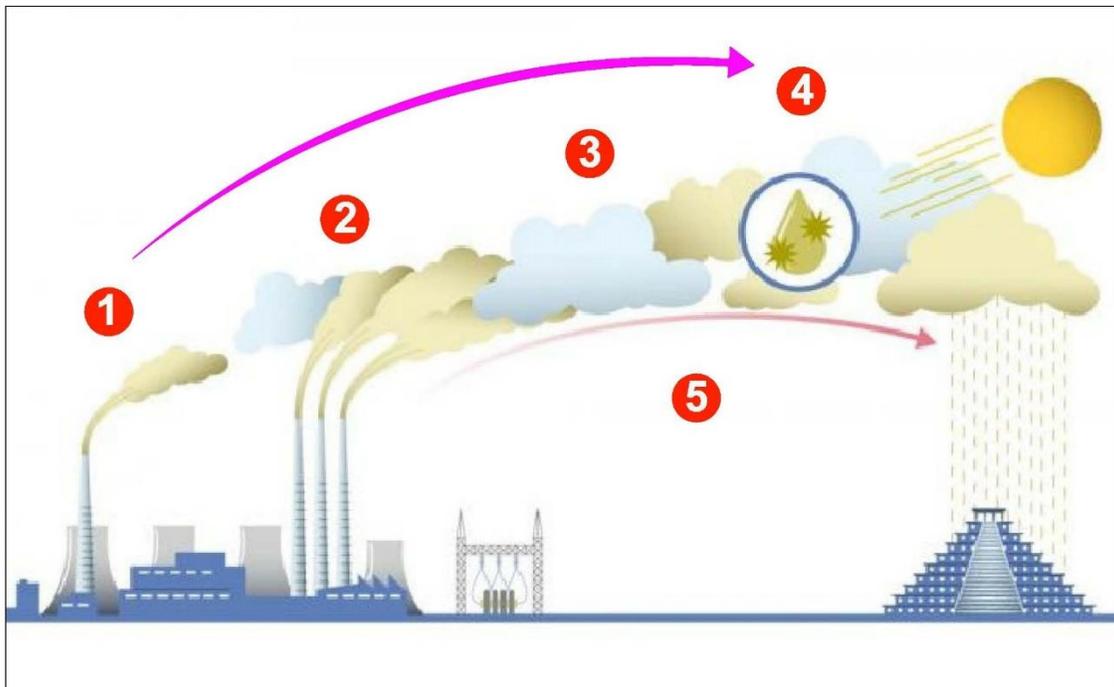


Fig. 27. Materiales pétreos son el material principal con el que están edificadas las principales zonas históricas. Fuente: [enero 2017] <http://www.eluniversal.com.mx/articulo/ciencia-y-salud/ciencia/2015/07/6/lo-que-la-lluvia-acida-se-llevo> Edición: Aldo Zamudio Pérez

⁶² Berenice González Durand, "Lo que la lluvia ácida se llevó", Diario EL UNIVERSAL, 06 de julio de 2015, [enero 2017], <<http://www.eluniversal.com.mx/articulo/ciencia-y-salud/ciencia/2015/07/6/lo-que-la-lluvia-acida-se-llevo>>.

⁶³ Nagore Prieto-Taboada, *et al*, "Spectroscopic evaluation of the environmental impact on black crusted modern mortars in urban-industrial areas" en *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, no. 399, 2011, p. 2950.

⁶⁴ J. J. Ortega Calvo, *et al*, "Factors affecting the weathering and colonization of monument by phototrophic microorganisms" en *Science of the Total Environment*, vol. 167, no. 01, 1995, p. 339.

La importancia de integrar el material pétreo dentro de las construcciones se debe principalmente a las características y propiedades que contiene en su estructura, además de ser uno de los materiales encontrados dentro de la zona urbana de Morelia.

El material pétreo integrado dentro de la ZMHM en últimas décadas se mostrado cambios en su estructura, lo cual repercute a su preservación; en otras palabras Fort comenta que el proceso de degradación ha aumentado de forma drástica, lo que en cientos de años no ocurría en últimas décadas sucede.⁶⁵

La contaminación ambiental representa actualmente uno de los agentes de deterioro de la ignimbrita, dicho mecanismo tiene tal influencia que puede ser el instrumento propagador de diversas patologías; Fort González expone que la situación del deterioro ambiental sobre el ambiental es detonada por diversas fuentes contaminantes, principalmente por el desarrollo industrial, aumento del transporte y el consumo de combustibles.⁶⁶

Fue durante los años setentas que se tuvo la reflexión entre la comunidad científica respecto al deterioro del material pétreo por la acción del intemperismo, el objetivo una vez identificada la problemática, fue evaluar el deterioro del material a causa del depósito de contaminantes ambientales.

La complejidad del problema ambiental sobre los materiales pétreos es que no en todos los entornos presentan la alteración de forma general, de cierta medida para que el daño se presente depende de las características de la estructura del material, ya que el material tiene la capacidad de soportar determinados procesos ambientales.

⁶⁵ Rafael Fort González, *op. cit.*, p. 67.

⁶⁶ *Ibidem*, pp. 57-58.

Algunos autores han estudiado las propiedades que intervienen para que se presenten o no las alteraciones del material. Porosidad y absorción⁶⁷ son principalmente las características que mayormente intervienen para que el material presente cambios en su estructura.

Parte de los daños a los que se somete el material pétreo bajo el efecto del intemperismo surge por la actividad de la deposición de partículas del ambiente.⁶⁸ En otras palabras Orea Magaña y Palacios Uribe explican parte del proceso entre el intemperismo y la propiedad de porosidad:

Una misma roca puede tener zonas más susceptibles al intemperismo porque, desde su formación, la porosidad y la textura son diferenciales: aquellas zonas con mayor número de cavidades (poros o micro fisuras) facilitan el paso del agua y del ácido carbónico.⁶⁹

La climatología y contaminación atmosférica interactúan conjuntamente degradando al patrimonio,⁷⁰ con el objetivo de comprender y evaluar el estado de conservación del material pétreo de determinado monumento Fort González expone que se debe observar algunos factores, como:

Elementos urbanos (orientación, dimensión de calles y altura de edificios) y factores ambientales (dirección y velocidad del viento, reparto de temperaturas, oscilaciones térmicas, humedad y lluvia acida) todas ellas características que determinan el medio ambiente del monumento.⁷¹

⁶⁷ *Ibíd.*, pp. 57-60.

⁶⁸ Bernardo Hermosin Campos, *Efectos de la contaminación atmosférica sobre el patrimonio histórico, deposición de compuestos orgánicos y formación de costras negras sulfatadas*, Tesis de Doctorado en Ciencias Químicas, España, Universidad de Sevilla, Facultad de Química, 1995, p. 11.

⁶⁹ Haydeé Orea Magaña y Jimena Palacios Uribe, "Análisis del deterioro de los elementos labrados del Edificio 33 de Yachilán, Chiapas: un estudio representativo del intemperismo de las rocas calizas de la región del Usumacinta" en *Revista Intervención*, no. 7, año 4, enero-julio 2013, p. 25.

⁷⁰ Rafael Fort González, *op. cit.*, p. 59.

⁷¹ *Ibíd.*

Una de las características que presenta el material bajo el ataque de la contaminación ambiental es la apariencia de suciedad sobre las superficies expuestas (manchas negras), es decir las caras que quedan a la intemperie son las más vulnerables a los mecanismos de deterioro por los depósitos de contaminantes.

De acuerdo con el análisis de las partículas se encuentran elementos carbonáceos negros, los cuales son originados por la quema de combustibles originados por el transporte terrestre derivados del petróleo y carbón⁷² (Fig. 28).



Fig. 28. Zócalo con presencia de costra negra, calle: Álvaro Obregón, col. Centro, Morelia, Michoacán, México. Fuente: Aldo Zamudio Pérez, 2015.

El deterioro de la ignimbrita de las unidades de análisis presenta determinada característica, de acuerdo con la orientación de las fachadas (ver ANEXO I) existe mayor presencia. Prieto Taboada, *et al*, comentan que dicho fenómeno se debe a la influencia del lavado de la lluvia, el impacto industrial y el tráfico vial de la zona.⁷³

⁷² Bernardo Hermosin Campos, *op. cit.*, p. 13.

⁷³ Nagore Prieto-Taboada, *et al*, *op. cit.*, p. 2949.

El ciclo de los mecanismos de deterioro de la ignimbrita de la zona de monumentos históricos de Morelia se relaciona entre los agentes mencionados, los contaminantes ambientales favorecen al proceso de deposición para la formación de sales solubles, para que estas se cristalicen se requiere el proceso de hidratación-deshidratación, así como la presencia de vientos dominantes y radiación solar, situación por la cual algunas áreas son más susceptibles.⁷⁴

II.5 EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN URBANA DE MORELIA

El presente apartado tiene la finalidad de realizar la evaluación de la contaminación urbana de la Ciudad de Morelia, Michoacán, de acuerdo a la metodología propuesta por Páez Pérez, en su publicación con referencia a que las ciudades grandes y medianas están expuestas a la contaminación del aire.⁷⁵ Cabe señalar que dicha metodología fue retomada del estudio de contaminación ambiental aplicada a las ciudades de México y Detroit.

Los factores que se evalúan son los siguientes:

Altitud: Morelia se encuentra situada con una elevación en promedio de 1917 metros sobre el nivel del mar,⁷⁶ situación natural por la cual se presenta menor cantidad de oxígeno respecto a la altura del nivel del mar; el oxígeno es uno de los factores determinante para que se produzca el proceso de combustión en los automotores con determinado factor negativo, situación presente de acuerdo a que los motores consumen mayor cantidad de combustible y mayor presencia de contaminantes.⁷⁷

⁷⁴ Maite Maguregue, *et al*, *loc. cit.*

⁷⁵ Carlos Páez Pérez, *Gestión de la contaminación atmosférica*, pp. 1-17.

⁷⁶ Consultado [diciembre 2016], <<http://dateandtime.info/es/citycoordinates.php?id=3995402>>.

⁷⁷ Según las estimaciones de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), a mayor altitud los vehículos a gasolina con carburador, a diferencia de la operación a nivel del mar, emiten hasta 40% más monóxido de carbono y hasta 20% más hidrocarburos.

Topografía: la zona de monumentos históricos de Morelia se encuentra en un valle formado por diversas elevaciones: El Gallinero, Quinceo, el Melón, Sanambo, el Águila, la Trampa, las vigas, el Venado, las Ánimas, Pico Verde, Pico Azul, el Guajolote, Punhuato y las Tetillas (Fig. 29).⁷⁸ Característica que interviene de cierta manera para que se presente una barrera natural lo cual impide dispersar los contaminantes en su totalidad. Fenómeno común en las ciudades que se encuentran ubicadas en valles, ocasionando baja ventilación. La velocidad de los vientos promedio de Morelia ocurre entre los 6 m/s⁷⁹ (ver ANEXO I).

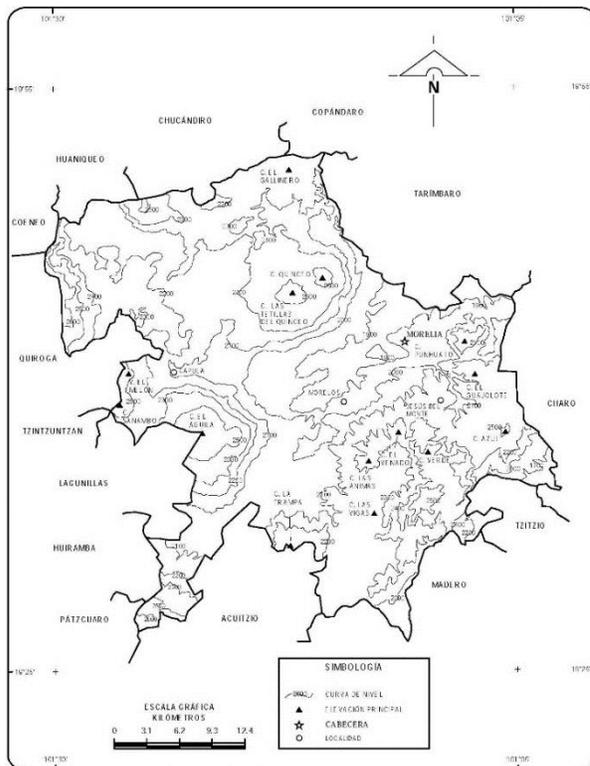


Fig. 29. Mapa 02, Orografía del Municipio de Morelia. Consultado en INEGI, Orografía, mapa 2, conjunto de datos geográficos de la carta topográfica, 2004.

Otro de los factores que inciden en la contaminación ambiental y en la alteración del material pétreo es la proximidad a volcanes en actividad o exposición de contenidos de azufre, en ese sentido en Michoacán se

⁷⁸ INEGI, Orografía, mapa 2, conjunto de datos geográficos de la carta topográfica, 2004.

⁷⁹ Consultado [diciembre de 2016] <<http://sinaica.inecc.gob.mx/>>.

localiza el Volcán Parícutín el cual tuvo su última erupción en el año 1952, la proximidad es de aproximadamente 112 kilómetros al sur-oriente.

Otro de los elementos decisivos en la contaminación ambiental es la actividad y toma de decisiones que tiene la sociedad, lo cual tiene que ver con los modelos y estrategias urbanas de desarrollo adoptadas por las ciudades, característica particular es la expansión horizontal de la ciudad, lo cual genera el crecimiento de la mancha urbana (Fig. 30) obligando a la sociedad a realizar la movilidad diaria, ya sea con destino a sus trabajos, escuela, entretenimiento o servicios.

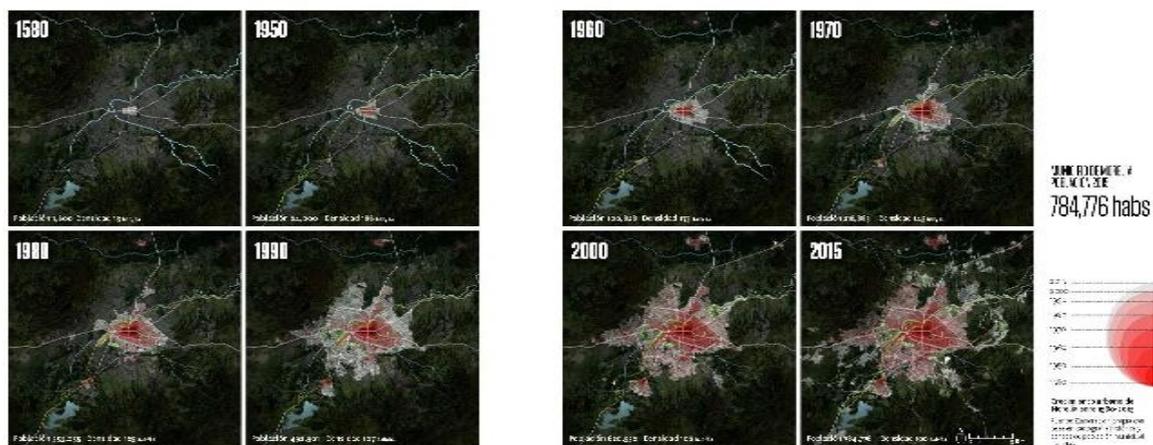


Fig. 30. Crecimiento territorial de la Ciudad de Morelia. Consultado en Plan de gran visión, Morelia NEXt 2041.

Aunado a lo anterior se tiene el incremento de movilidad por parte de la sociedad, la cual opta por la elección del uso del transporte particular en lugar del transporte público colectivo, a consecuencia se tiene el incremento de contaminantes ambientales por las concentraciones vehiculares en la zona urbana histórica en determinadas horas.

De acuerdo con el resultado del monitoreo del flujo vehicular de las unidades de análisis ubicadas en la ZMHA realizada por el autor, se tiene que actualmente el 58% de los autos que circulan a través del tejido vial

urbano corresponde al transporte público, el 36% autos particulares, el 6% motocicletas (Fig. 31).

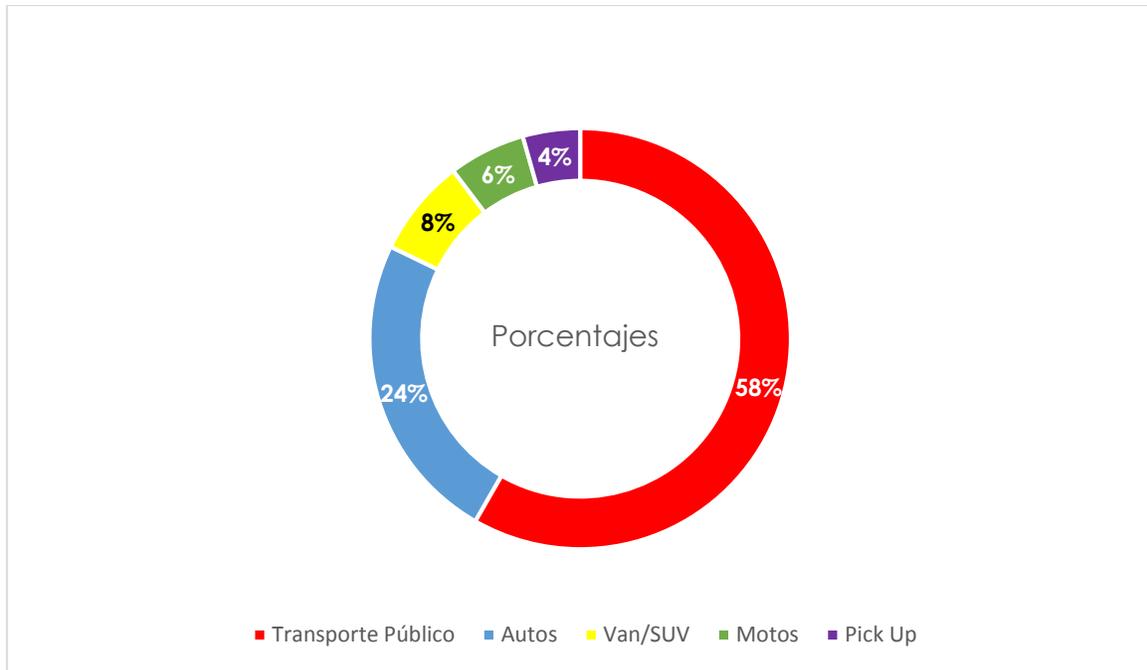


Fig. 31. Monitoreo vehicular por la zona de monumentos históricos de Morelia, Edición: Aldo Zamudio Pérez, 2017.

El crecimiento del parque vehicular se observa históricamente tanto en los datos publicados por diversos organismos, como por el continuo mantenimiento al estado de conservación de sus pavimentos. En el año 2005 los vehículos en circulación en Morelia eran 259 mil,⁸⁰ mientras que para el 2013 la flota vehicular fue de 425 mil vehículos.⁸¹ Es decir que anualmente el crecimiento vehicular fue aproximadamente de 7 a 8%.

De acuerdo con los aspectos anteriores se observa determinada vulnerabilidad en la calidad del aire de la Ciudad de Morelia como una de las posibles fuentes de alteración del material pétreo utilizado en la

⁸⁰ Elia Mercedes Alonso Guzmán, *et al*, "Calidad del aire en cuatro ciudades de Michoacán, México: su efecto sobre materiales de construcción", en *Revista de la Construcción*, vol. 6, No. 2, 2007, pp. 66-74.

⁸¹ Informe Nacional de Calidad del Aire 2013, México, Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático y Coordinación General de Contaminación y Salud Ambiental, México, 2014, p. 19.

construcción de las fachadas principales de los inmuebles ubicados dentro de la ZMHM.

De acuerdo al programa de calidad del aire por parte de la Dirección de Protección al Medio Ambiente y Sustentabilidad de Morelia reportan índices de calidad de aire en promedio buenos, sin embargo, lo anterior cabe señalarse se apega a normas de calidad de aire con el fin de garantizar la protección de la salud de la población (Fig. 32).

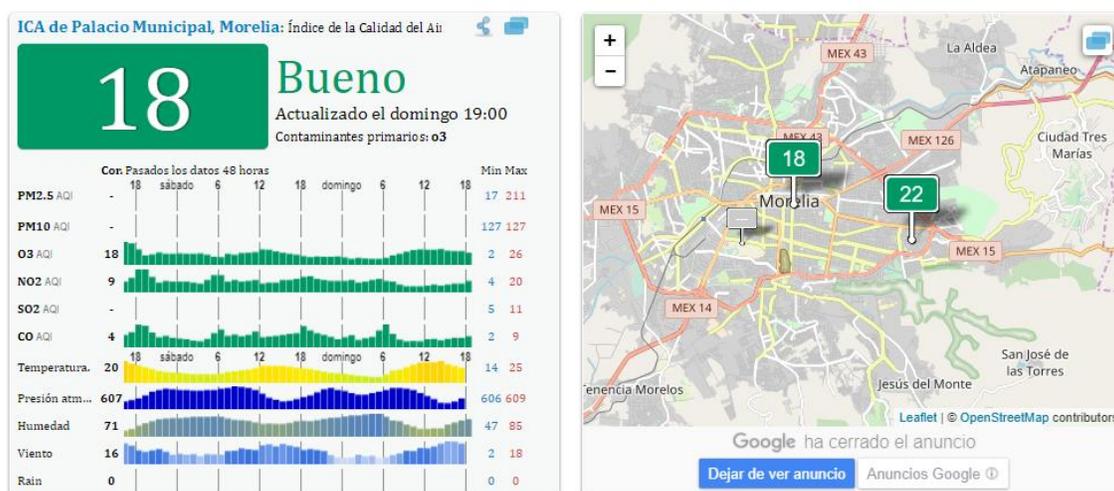


Fig. 32. Monitoreo de la calidad del Aire de Morelia. Izquierda: calificación de la calidad del aire y monitoreo ambiental. Derecha: ubicación de monitores y calificación de acuerdo a la zona. Fuente: <http://sinaica.inecc.gob.mx/>.

Pese a que la cantidad de contaminantes directamente no nos proporciona un valor directo para la cuantificación de deterioro al material pétreo si se puede señalar que de acuerdo con la cantidad del transporte público que cruza por la ZMHM representa una de las principales fuentes de contaminación y alteración de la ignimbrita ubicada en las mamposterías de las fachadas principales de los inmuebles de la zona de estudio.

A manera de conclusión del tema es evidente que debe existir conciencia en cuanto a los planes de urbanización de las ciudades, la movilidad tiene

consecuencias que afectan de forma directa o indirectamente al estado de conservación de la ignimbrita.

Por lo anterior es aconsejable el cuidado del patrimonio edificado ubicado en las zonas urbanas históricas, mediante la implementación de planes de reducción y/o control del transporte privado y público, así como la protección del material natural de construcción próximo a las vías de comunicación de fuerte influencia.

Naturalmente la ignimbrita sufre procesos de deterioro, dicha situación es acelerada de acuerdo a la influencia de ciertos agentes capaces de acelerar el proceso natural de deterioro, de acuerdo al análisis de las unidades estudiadas los agentes con mayor índice y presencia son la presencia de sales, la humedad y la contaminación ambiental producto de las emisiones antropogénicas.

El presente capítulo presenta el análisis de la relación que existe entre la ignimbrita empleada dentro de la zona de estudio de Morelia y los principales agentes y factores implícitos, mismos que en conjunto son los mecanismos de deterioro con mayor presencia en las unidades de análisis.

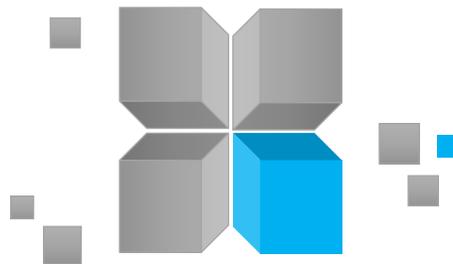
De acuerdo con el análisis del sitio se observa que los agentes antes mencionados tienen la capacidad de modificar la estructura de la ignimbrita, en principio la superficie sufre cambios negativos, tanto estéticos como físicos. Una de las características que actualmente se pueden percibir con la simple inspección visual son las eflorescencias del material, característica que presenta comúnmente la disgregación parcial del material.

Actualmente la sociedad Moreliana sostiene que el deterioro del material no representa un factor de preocupación, sin embargo el análisis del sitio denota una situación dispar, por otra parte no existen ni planes de

conservación de la ignimbrita, como tampoco la integración de elementos de protección a la misma, situación por la cual los procesos de descomposición continúan su rumbo, en el siguiente capítulo se tiene como objetivo analizar la vulnerabilidad que tiene la ignimbrita del contexto urbano de Morelia; misma que fue integrada en cientos de inmuebles de la zona de monumentos históricos.



Capítulo III



III. EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE LA IGNIMBRITA

Los edificios construidos con fachadas de piedra natural no solo son más representativos, sino también más ecológicos y económicos, principalmente por su mayor durabilidad, ya que su ciclo de vida es en general mucho más largo que el de los materiales artificiales [...]¹

Rafael Fort González

¹ Rafael Fort González, "El Programa Geomateriales: objetivos y logros" en Fort González, Rafael y Pérez-Monserrat, Elena M., (coords.), *Reunión Científica del Programa Geomateriales. Durabilidad y conservación de Geomateriales del patrimonio edificado*, Programa de Geomateriales e Instituto de Geociencias IGEO (CSIC, UCM), Conferencia llevada a cabo en Madrid, España, marzo 2014, p. 01.

III.1 EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE LA IGNIMBRITA

Metodología aplicada para la evaluación de las propiedades de la ignimbrita

III.1 GENERALIDADES

Dentro los capítulos anteriores se observó el estado de conservación que presentan las mamposterías en la parte baja de las fachas principales ubicadas en la ZMHM, los acontecimientos históricos de la zona, así como el proceso de deterioro que actualmente padece gran porcentaje del material pétreo expuesto a intemperismo.

De acuerdo a lo anterior el presente capítulo tiene como objetivo realizar el análisis de las propiedades físicas y mecánicas bajo la aplicación de la caracterización a ignimbritas extraídas en canteras de la región urbana de Morelia, mismas que en la actualidad siguen empleándose para la construcción nueva, así como por su integración en obras de restauración, conservación y mantenimiento.

El planteamiento del análisis a través de la caracterización de ignimbritas sanas fue propuesto con varios objetivos; por una parte, es determinar la vulnerabilidad que cada banco de estudio presenta, además de comprobar las características implícitas para que los procesos de deterioro se presenten con mayor daño.

Cabe señalar que la caracterización físico-mecánica no se aplicó directamente al material pétreo de las unidades de análisis debido a que el material actualmente como se ha mencionado se encuentra deteriorado o dentro de procesos de alteración.

Sin embargo, resulta necesario conocer porque algunas ignimbritas presentan mayor deterioro que otras, por lo cual se analizó el

comportamiento de las ignimbritas sanas frente a eventos naturales e inducidos de alteración.

El proceso de diagnóstico implica realizar la búsqueda de los sitios de extracción de canterías a través de la prospección en campo, del reconocimiento y comparación del material pétreo versus el material de las fachadas de análisis.

El análisis de las propiedades físicas y mecánicas de los bancos de cantería permitió determinar la aproximación de la calidad del material pétreo, así como su posible durabilidad² una vez que esta se integra en los inmuebles, entendiendo que la cantería es un material completamente heterogéneo, ya que contiene determinados parámetros que en conjunto son traducidos como las capacidades que el material pétreo contiene.³

Dentro de la construcción para la República Mexicana existen reglamentos en los cuales son introducidas normas con la intención de fijar requisitos mínimos para aplicación de análisis, diseño y construcción de estructuras con la integración de mamposterías con el uso de materiales pétreos.⁴

En el presente trabajo la intención no es determinar si el material analizado es óptimo o no de acuerdo a los valores de regulación, por el contrario, el objetivo es observar y determinar la vulnerabilidad que presenta el material

² Durabilidad se entiende como la capacidad que tiene determinado material por mantener sus propiedades con el paso del tiempo. Pueden ser propiedades físicas, mecánicas o cualidades estéticas. La estimación de la durabilidad de los materiales pétreos es un dato que cualquier constructor, restaurador, diseñador, etc., debe conocer, lo anterior de acuerdo a que el porcentaje de utilización de los materiales pétreos es alto en el mundo de la construcción. Retomado de: David Benavente García, *Modelización y estimación de la durabilidad de materiales pétreos porosos frente a la cristalización de sales*, Tesis de Doctorado en Ciencias, España, Universidad de Alicante, Departamento de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente, Facultad de ciencias, 2002, pág. 67

³ David Benavente, Ana M. Bernabéu y Juan C. Cañaveras, "Estudio de propiedades físicas de las rocas" en *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, no. 12, 2004, p. 62.

⁴ Luis Arnal Simón y Max Betancourt Suárez, *Reglamento de construcciones para el Distrito Federal*, México, Editorial Trillas, 2005, pp. 671-758.

con el fin de comprobar el estado de conservación que se observa dentro de la ignimbrita de la ZMHM.

La determinación de las propiedades se fundamenta en la aplicación de las normas de la *American Society for Testing and Materials (ASTM)*⁵, de tal forma que los datos expuestos puedan ser comparados y comprobados con investigaciones pasadas y para la aplicación de futuras.

De acuerdo con lo anterior es fundamental conocer las diferentes propiedades que contempla la ignimbrita, de modo que el conocimiento de la anisotropía del material es uno de los aportes del presente capítulo, en relación a lo que es la evaluación y vulnerabilidad de la ignimbrita.

Por su parte F. Alonso, J. Alonso y Vázquez comentan que el conocimiento de la anisotropía del material pétreo es justo el aporte para realizar la toma de decisiones al momento de la selección del mismo para su posible futuro uso dentro de las obras de restauración y obra nueva.⁶

Respecto a lo anterior Fort González comenta que es importante conocer las propiedades de los materiales pétreos, por determinar su comportamiento dentro de la obra, una vez que se conocen sus características físicas (humedad actual, densidad, gravedad específica y absorción) se podrá determinar la vulnerable que puede ser el material dentro de la estructura.⁷

⁵ Las siglas ASTM se utilizaran de aquí en lo sucesivo dentro del presente trabajo lugar del nombre completo American Society for Testing and Materials.

⁶ Francisco Alonso, J. Alonso y Patricia Vázquez, "Propiedades hídricas y anisotropía en rocas sedimentarias porosas", en *Geotemas*, vol. 13, 2012, p. 01.

⁷ Rafael Fort González, "La piedra natural y su presencia en el Patrimonio Histórico", en *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, vol. 18, no. 03, 2010, p. 265.

III.1.a Propiedades físicas de la ignimbrita

El material pétreo naturalmente sufre su propio proceso de alteración desde el momento de ser extraído del banco, sin embargo, conforme pasa el tiempo el conjunto entre diversos agentes, procesos y mecanismos producen cambios o alteraciones al material, lo cual, conduce al cambio de sus propiedades.

La durabilidad es una de las propiedades físicas que generalmente se ven repercutidas. De acuerdo con lo anterior Fort González comenta que los procesos de deterioro del material pétreo únicamente traen consigo la desintegración y el descenso de la durabilidad del material.⁸

En relación con las propiedades que el material pétreo contiene los especialistas recomiendan conocerlas previo a su integración, ya sea en proyectos de nueva introducción como en procesos de restauración. A través del conocimiento de las diferentes propiedades que el material ostenta es posible tener el control sobre la administración, calidad de la obra y un panorama en relación con el futuro estado de conservación.

Navarrete Serás expone que previo a seleccionar el material con el objetivo de ser integrado dentro de cualquier estructura o infraestructura es necesario conocer las propiedades que le material contiene, dicha particularidad debe ser aplicada tanto en obras de restauración como en obras contemporáneas.⁹

Al respecto Fort González, *et al*, comentan que es esencial conocer las propiedades del material pétreo con el objetivo de realizar el diagnóstico

⁸ *Ídem, et al*, "Influencia de la anisotropía en la durabilidad de las dolomías Cretácicas de la Comunidad de Madrid frente a la cristalización de sales", en *Materiales de Construcción*, vol. 58, no. 58, enero-junio 2008, p. 163.

⁹ Marco Antonio Navarrete Serás, *et al*, "Caracterización de propiedades físico-mecánicas de rocas ígneas utilizadas en obras de infraestructura" en *Revista de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción*, vol. 03, no. 02, mayo-agosto 2013, p. 133.

y/o evaluación de su posible viabilidad dentro de cualquier construcción, además de tener la ventaja de determinar su posible durabilidad una vez que sea integrado en cualquier construcción.¹⁰

Dentro de las propiedades del material pétreo se identifican diversas particularidades, algunos bancos de extracción contienen mayor resistencia que otros, mayor absorción capilar, porosidad, etc., sin embargo en lo general el material pétreo extraído de la región de Morelia muestra rasgos físicos y mecánicos con determinadas similitudes.

Rasgo distintivo de la propiedad física (absorción y capilaridad) del material pétreo basta con observar la humedad por capilaridad depositada en fachadas con el uso de ignimbrita expuesta a la intemperie en inmuebles ubicados en la zona d estudio (Fig. 33), característica que supone el coeficiente de penetración y absorción capilar determinado en gran medida según la porosidad que contenga el material.¹¹

Parte de las propiedades físicas que intervienen para que la humedad tenga acceso al material pétreo son la cantidad de poros y textura del material,¹² por lo cual, el efecto del intemperismo, la falta de recubrimientos o elementos de protección en conjunto con la carga emitida por factores ambientales (precipitación pluvial, vientos, temperatura) las convierte en características determinantes para que se reproduzca y se amplifique el deterioro de la ignimbrita de la zona de estudio.

¹⁰ Rafael Fort González, et al, *op cit*, p. 162.

¹¹ R. M. Ebert, et al, "Manual de diagnóstico y tratamiento de materiales cerámicos pétreos y cerámicos", en Marco Antonio Navarrete Serás, et al, "Caracterización de propiedades físico-mecánicas de rocas ígneas utilizadas en obras de infraestructura" en *Revista de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción*, vol. 03, no. 02, mayo-agosto 2013, p. 141.

¹² Marco Antonio Navarrete Serás, et al, *op cit*, p. 139.



Fig. 33. Humedad por capilaridad en mamposterías de calle Bartolomé de las Casas en Morelia Michoacán. Fuente Aldo Zamudio Pérez, 2017.

Amorosa y Fassina hacen la reflexión en relación con los factores ambientales como la velocidad del viento, humedad constante, temperatura, radiación solar, insolación, orientación, etc., en conjunto favorecen a la aceleración del deterioro del material pétreo.¹³

Sin embargo, de acuerdo con la estructura interna de la ignimbrita se localizan áreas con determinada vulnerabilidad a los procesos antes mencionados. Parte contraria también existe la posibilidad del amortiguamiento a los mecanismos responsables del deterioro. Las particularidades descritas (porosidad y textura) no son elementos que

¹³ Giovanni G. Amorosa y Vasco Fassina, "Stone decay and conservation. Atmospheric pollution, cleaning, consolidation and protection", en Haydeé Orea Magaña y Jimena Palacios Uribe, "Análisis del deterioro de los elementos labrados del Edificio 33 de Yachilán, Chiapas: un estudio representativo del intemperismo de las rocas calizas de la región del Usumacinta" en *Revista Intervención*, no. 07, Año 04, enero-julio 2013, p. 25.

antropogenicamente puedan ser insertos, se presentaran de forma natural desde la formación del material.¹⁴

Otra de las características del material pétreo implícitas en los mecanismos de deterioro en cuanto al cambio de durabilidad, textura y estética; son propiedades que repercuten directamente en el estado de conservación del material, la propiedad de absorción de humedad se traduce como la constante saturación dentro del material. Una vez que el material pétreo se encuentra en un proceso de pérdida y acumulación constante de humedad presentará cambios en su apariencia física.

III.1.b Descripción de bancos de extracción de la ignimbrita

El empleo de los materiales pétreos en específico de la cantería dentro de las obras de construcción en inmuebles ubicados dentro de la ZMHM dependió en gran medida del abasto del material. En relación de analizar las cartografías de la ciudad se observa la integración históricamente de canteras dentro de la zona urbana de la ciudad (Fig. 34), lo cual se ve en los diferentes bancos inactivos ubicados dentro del tejido urbano histórico de la ciudad.

¹⁴ *Ibíd.*

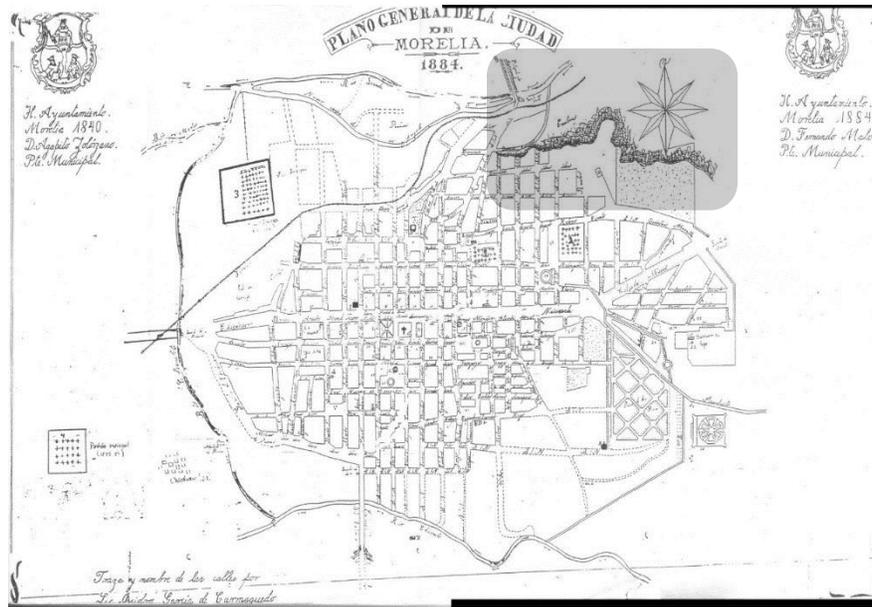


Fig. 34. Plano general de la ciudad de Morelia para 1884 donde aparece parte de una cantera ubicada al norte de la ciudad (área sombreada).

Respecto de la ubicación de las canteras Bigioggero, *et al*,¹⁵ comentan que los principales bancos históricos de extracción se localizan concentrados en la zona urbana de Morelia, aparecen en algunos puntos como altos estructurales entre ellos la loma de la Casa de la Cultura, El Salesiano y la zona central de Abastos (Fig. 35).

¹⁵ Biagio Bigioggero, *et al*, "La "piedra de cantera" de Morelia desarrollo entre la tradición y la cultura: un acercamiento geológico y una alternativa" en Víctor Hugo Garduño Monroy (ed.), *Contribuciones a la geología e impacto ambiental de Morelia*, Morelia, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Instituto de Investigaciones Metalúrgicas, 2004, pp. 14-42.

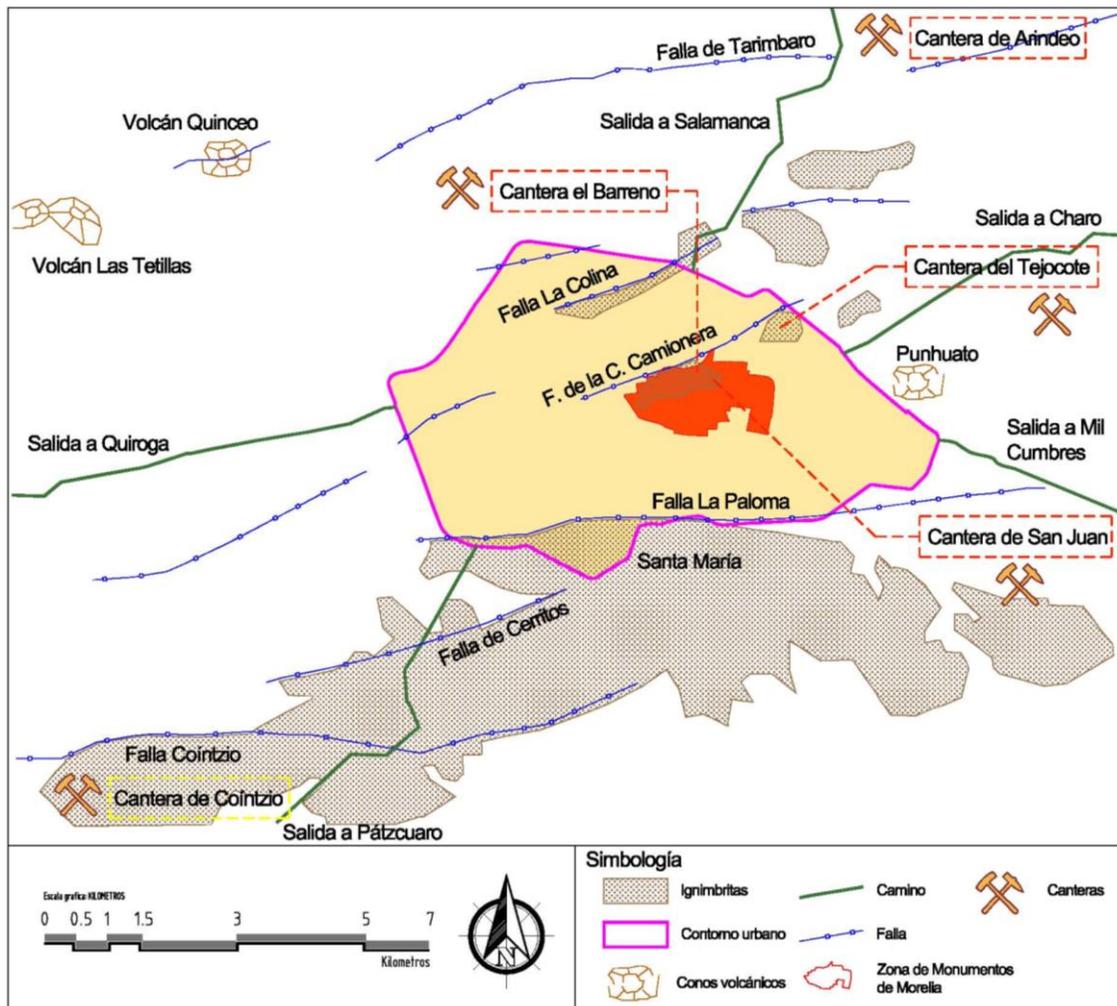


Fig. 35. Imagen de ubicación de ignimbrita de la zona urbana de Morelia. Edición. Aldo Zamudio Pérez retomado de carta geológica de Bigioggero.¹⁶

Por su parte Silva Ruelas comenta que uno de los principales sitios de extracción de cantería con la cual se construyeron diversos edificios coloniales de la ciudad de Valladolid hoy Morelia fue el afloramiento que se ubicaba dentro del barrio de San Juan.¹⁷ Al realizar el análisis de lo expuesto por Silva Ruelas en relación con la carta geológica de Morelia de

¹⁶ Biagio Bigioggero, *et al*, p. 23.

¹⁷ Luis Silva Ruelas, *Los materiales de construcción en la antigua Valladolid*, Morelia, Gobierno del estado de Michoacán, Secretaria de Comunicaciones y Obras Públicas, 1990, pp. 48-60.



Bigioggero, *et al*, se encuentra relación entre la ubicación del barrio de San Juan y la ubicación de la cantera.

Por otra parte, Ibarra Sevilla a través de la investigación de emplazamientos mixtecos realiza la reflexión acerca de cómo las canteras de extracción generalmente se ubicaban en la vecindad de las ciudades,¹⁸ lo cual es uno de los factores que corresponden a la construcción histórica de la ZMHM y su cercanía con los bancos de extracción histórica de la ciudad.

En relación con los materiales naturales integrados a la construcción en entornos urbanos históricos sin duda ha sido un tema que se ha abordado desde diferentes perspectivas y en otras investigaciones, en el caso de la presente investigación la intención de ubicar las canteras de extracción fue por considerar el análisis las mismas de acuerdo a la integración que se les ha dado dentro de la ZMHM.

Los especímenes de cantería estudiados fueron extraídos de bancos de extracción histórica, mismos que hoy en día se encuentran sin operar debido a que se ubican dentro de la zona urbana (Fig. 36-37), así como de bancos con actividad de extracción activa. En la actualidad se integra de forma cotidiana dando lugar a la estética que ofrece.

¹⁸ Benjamín Ibarra Sevilla, *El arte de la cantería Mixteca*, México, Universidad Nacional Autónoma de México, 2014, p. 114.



Fig. 36. Imagen de lo que fue la cantera del Barreno, hoy en día es la calle García Pueblita de Morelia. Fuente. Google Earth 2017



Fig. 37. Imagen de lo que fue la cantera de San Juan o Salesiano, hoy son las calles Canteros y Cecilio García de Morelia. Fuente. Google Earth 2017

III.2 DESARROLLO EXPERIMENTAL

III.2.a Caracterización de la ignimbrita

La importancia de realizar el desarrollo experimental fue con el fin de determinar la caracterización de la ignimbrita de la zona urbana de Morelia, la cual se analizó bajo la perspectiva del comportamiento que presenta el material de acuerdo con su propia estructura.

La caracterización física fue observada a través de las diferentes propiedades físicas como humedad actual, densidad, gravedad específica y absorción, una vez que se tuvieron los resultados se diagnosticó la vulnerabilidad que cada banco de análisis presenta, situación por la cual se tiene el análisis previo del comportamiento de la misma previo a su integración dentro de cualquier estructura.

La caracterización de las propiedades mecánicas del material pétreo se observó a través del resultado de los porcentajes de carga puntual, velocidad de pulso, módulo de elasticidad, resistividad eléctrica y flexión estática, una vez que los datos fueron analizados se logró determinar la resistencia que cada banco de análisis en estado sano ofrece.

Cabe señalar que existen diversas técnicas y métodos para determinar las propiedades físico-mecánicas del material pétreo, por consiguiente, es recomendable seguir la normativa apropiada que asegure los resultados sean comprobables y seguros para su aplicación futura.

Las normas que se emplearon fueron seleccionadas de la *ASTM*, cabe señalar que dentro de los procesos existen procedimientos invasivos, destructivos y no destructivos, situación por la cual se ideó la metodología aplicada a ignimbrita sana extraída de las diferentes canteras de análisis.

III.3 INSTRUMENTOS Y TÉCNICAS DE APLICACIÓN

Dentro del presente apartado se estableció realizar las diferentes normas de aplicación con el objetivo de determinar la caracterización físico-mecánica de los diferentes bancos de cantera de la zona urbana de Morelia, el análisis fue a ignimbritas sanas debido a que el material pétreo utilizado en las fachadas de las unidades de análisis estudiadas se encuentra dentro de procesos de deterioro activos.

De acuerdo con lo anterior es necesario comprender el comportamiento de la ignimbrita sana, es decir, partir de lo que comúnmente se denomina “especimen testigo” y determinar su comportamiento y vulnerabilidad.

A través de los instrumentos y técnicas de aplicación se tiene como objetivo demostrar y entender el proceso de deterioro de la ignimbrita, así como determinar porque el deterioro difiere entre una cantera y otra, donde el porcentaje de daño también se encuentra desigual entre una cantería y otra.

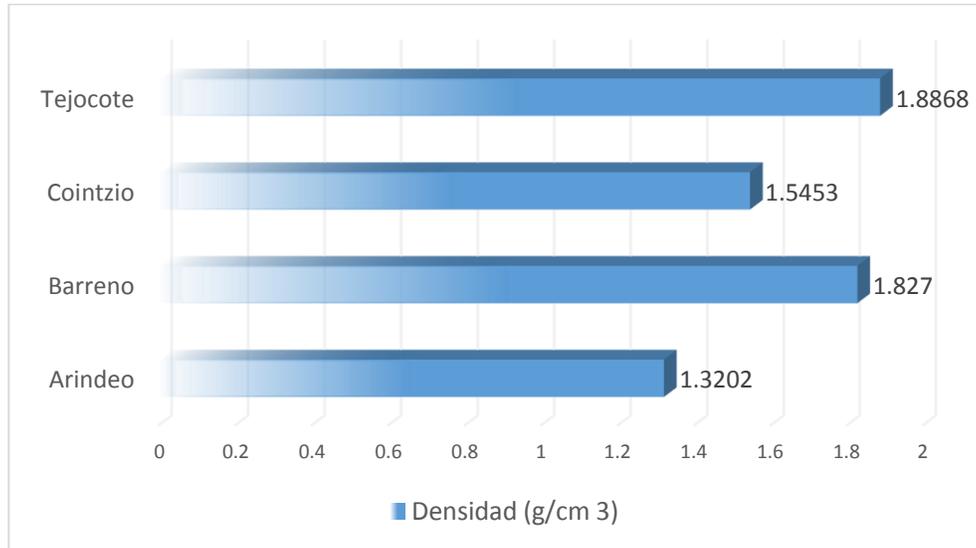
III.3.a Densidad por medio del picnómetro

La densidad es la relación que existe entre la masa y el volumen de la sustancia. Su cálculo es mediante las unidades de masa entre unidades de volumen. De acuerdo con el análisis de los diferentes especímenes de estudio, los resultados de la densidad por medio del picnómetro son los siguientes (Tabla 01).

Los valores porcentuales obtenidos conforme al análisis de la densidad por medio del picnómetro demuestran lo compacta que puede ser o no la estructura interna de la ignimbrita, es decir, en el caso de los especímenes del banco Tejocote y Barreno se observa cómo sus caras mantienen una estructura estrecha. En el caso de los especímenes de los bancos Arindeo y

Cointzio mostraron el porcentaje de densidad menor, lo cual se traduce en la cantidad de poros al interior de su estructura.

TABLA 01. Densidad por medio del picnómetro.
Edición. Aldo Zamudio Pérez 2017



Cabe señalar que al presentar mayores valores de densidad los especímenes analizados de la cantera del Tejocote y del Barreno logran mantener su estructura más estrecha, compacta y con menores fisuras y poros, por lo cual se infiere que presentarán mayor retardo de deterioro por la acumulación de humedad; situación que se traduce en la comprobación del estado de conservación de los zoclos con ese tipo de bancos de ignimbrita.



Fig. 38. Proceso del análisis de la densidad por medio del picnómetro.
Fuente. Aldo Zamudio Pérez, 2017.

III.3.b Densidad aparente o gravedad específica

La densidad¹⁹ aparente o también denominada densidad global es la masa por unidad de volumen de un material en su estado natural, incluidos aquí valores de porosidad²⁰ y de los espacios vacíos dentro de la estructura de la ignimbrita.

En otras palabras, la densidad de un material pétreo depende de su composición en relación con el contenido de poros y a la cantidad de espacios de aire que exista en su interior. De acuerdo con el resultado del análisis de densidad que presente la ignimbrita se podrán inducir valores de las propiedades mecánicas como la resistencia a la compresión y la conductividad térmica.

De acuerdo con el análisis de los diferentes especímenes de estudio, bajo la aplicación de la norma (ASTM C 127-04) los resultados de la densidad aparente (gravedad específica) aparecen en la (Tabla 02).

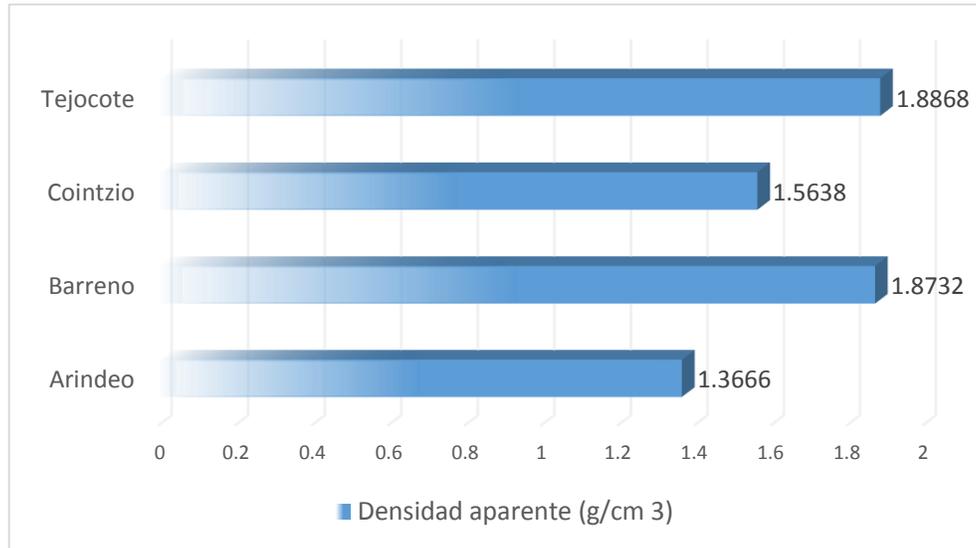
Los valores porcentuales obtenidos conforme al análisis de la densidad aparente (gravedad específica) muestran poca variación entre los especímenes analizados. Los corresponden y pueden ser comprobados con el análisis anterior (densidad por medio del picnómetro), mantienen el orden

¹⁹ La densidad es una propiedad elemental de los materiales pétreos, se relaciona con la naturaleza de los componentes de su estructura, como ejemplo la porosidad del material. La densidad se define como la masa por unidad de volumen y se expresa en g/m³. Retomado de: Genis Paola Fernandez Torres y Sandra Patricia Palencia Cantillo, Estudio de las propiedades físicas y mecánicas de los materiales pétreos extraídos de las Isla de Tierra Bomba para comprobar su uso en la construcción de las murallas de Cartagena de Indias y compararlo con el utilizado actualmente en su restauración, proveniente de la cantera "Coloncito" en Turbaco, Universidad de Cartagena, Facultad de Ingeniería Civil, 2014, p. 50.

²⁰ La porosidad es una medida de capacidad de almacenamiento de fluidos que posee una roca y se define como la fracción del volumen total que corresponde a espacios que pueden almacenar fluidos. La porosidad de una roca pueden ser clasificada de dos maneras: según su origen y la comunicación de sus poros. Retomado de: Genis Paola Fernandez Torres y Sandra Patricia Palencia Cantillo, Estudio de las propiedades físicas y mecánicas de los materiales pétreos extraídos de las Isla de Tierra Bomba para comprobar su uso en la construcción de las murallas de Cartagena de Indias y compararlo con el utilizado actualmente en su restauración, proveniente de la cantera "Coloncito" en Turbaco, Universidad de Cartagena, Facultad de Ingeniería Civil, 2014, pp. 54-55.

con mayor densidad promedio los especímenes del Tejocote y Barreno, luego de Cointzio para finalmente tener Arindeo.

TABLA 02. Densidad aparente (gravedad específica).
Edición. Aldo Zamudio Pérez 2017



Autores como Fort González y Ebert Alemany comentan que las propiedades físicas aportan valores a las propiedades mecánicas, un ejemplo de lo anterior son los datos que se presentan en el análisis de la gravedad específica de la ignimbrita. Dichos valores brindan una idea de la capacidad de conductividad térmica que tienen los diferentes bancos.

Lo anterior aporta a la cuestionante acerca de ¿porqué un espécimen integrado dentro de las fachadas principales contempla mayor temperatura en su exterior en relación con otro, si ambos son materiales ígneos?

El deterioro del fenómeno explicado en el párrafo anterior se puede corroborar con la presencia de las eflorescencias de las ignimbritas ubicadas en los zoclos de las fachadas principales, dando respuesta al proceso de ganancia, pérdida y transmisión de temperatura. En otras

palabras, a mayor conductividad térmica mayor la probabilidad de presentar problemas con respecto al deterioro por presencia de sales.



Fig. 39. Proceso del análisis de la densidad aparente (gravedad específica).
Fuente. Aldo Zamudio Pérez, 2017.

III.3.c Porcentaje de humedad actual

Naturalmente la ignimbrita contiene determinado porcentaje de humedad, una vez que es integrada en determinada estructura al estar sometida al efecto del intemperismo dicha propiedad presentara modificaciones en su estructura en lo correspondiente a la propiedad de humedad.

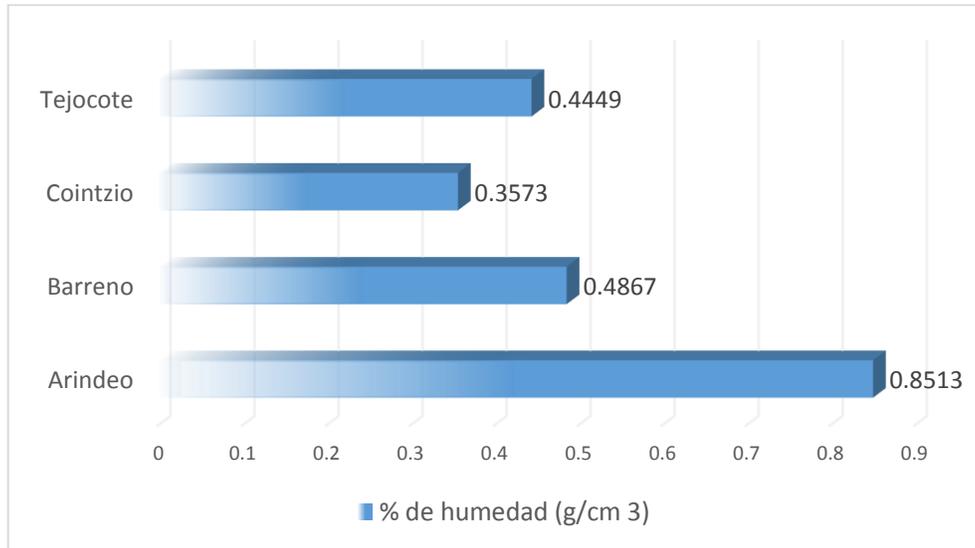
Lo anterior depende en gran medida de las condiciones ambientales bajo las cuales se encuentre inmersa la ignimbrita, en este sentido temperatura y humedad relativa son ambientes que participan en la alteración de la propiedad del material.

Por otra parte, intervienen características como la composición del líquido que se introduce a la ignimbrita así como el tipo de solución asociada a la carga ambiental, la cual en una primera etapa es adherida por la propiedad de absorción del material pétreo para luego penetrarse a la estructura del mismo.²¹

²¹ La durabilidad de la ignimbrita está estrechamente relacionada con el balance del agua en su interior. Dicho factor depende principalmente del sistema poroso del material, así como de las condiciones ambientales que llevan asociadas ciclos de temperatura y humedad relativa. La presencia de soluciones salinas contribuye a la formación de diferentes mecanismos de alteración meteórica tales como la disolución del material, la adsorción de gases contaminantes y la presión de

De acuerdo al análisis de los diferentes especímenes de estudio, bajo la aplicación de la norma (ASTM C 127-04) el porcentaje de humedad actual promedio se encuentra en la siguiente (Tabla 03).

TABLA 03. Porcentaje de humedad actual.
Edición. Aldo Zamudio Pérez 2017



Los valores porcentuales obtenidos conforme al análisis del porcentaje de humedad actual del material pétreo muestran variaciones entre los especímenes analizados. El banco con mayor cantidad de humedad interna es Arindeo, mientras que los especímenes del banco de Cointzio cuentan con valores de menor humedad.

En relación con el conocimiento del porcentaje de humedad de la ignimbrita se puede diagnosticar su vulnerabilidad, lo anterior se observa directamente en las unidades de análisis en cuanto a las alturas de humedades presentes, donde las variaciones ambientales de temperatura inciden directamente.

La cristalización de sales. Retomado de: David Benavente García, *op cit*, p. 67

Un ejemplo de lo anterior se observa en una de las unidades de análisis orientada al sur (Fig. 40), la cual contiene mayores índices de radiación, ventilación y asoleamiento. Proceso diagnosticado como la ubicación del material dentro de los inmuebles es una de las condiciones que retardan o amplifican el deterioro del mismo resultado de las concentraciones y pérdida de humedad cíclica.



Fig. 40. Fachada de inmueble orientado al sur, calle Santiago Tapia, Morelia Michoacán. Fuente Aldo Zamudio Pérez, 2017.

Al analizar los diferentes especímenes ígneos en cuanto a su estructura y porosidad se puede determinar que el material de los bancos de Cointzio y Tejocote mantienen el índice de humedad más bajo por lo cual el fenómeno de deterioro será menos agresivo que en los otros bancos (de acuerdo a la concentración de humedad).

El ejemplo de lo anterior se puede observar en inmuebles de la zona de estudio en los cuales el material de los bancos antes expuestos mantiene un estado de conservación regular en relación con los inmuebles con el uso del banco de Arindeo.



Fig. 41. Proceso del análisis del porcentaje de humedad actual.
Fuente. Aldo Zamudio Pérez, 2017.

III.3.d Porcentaje de absorción

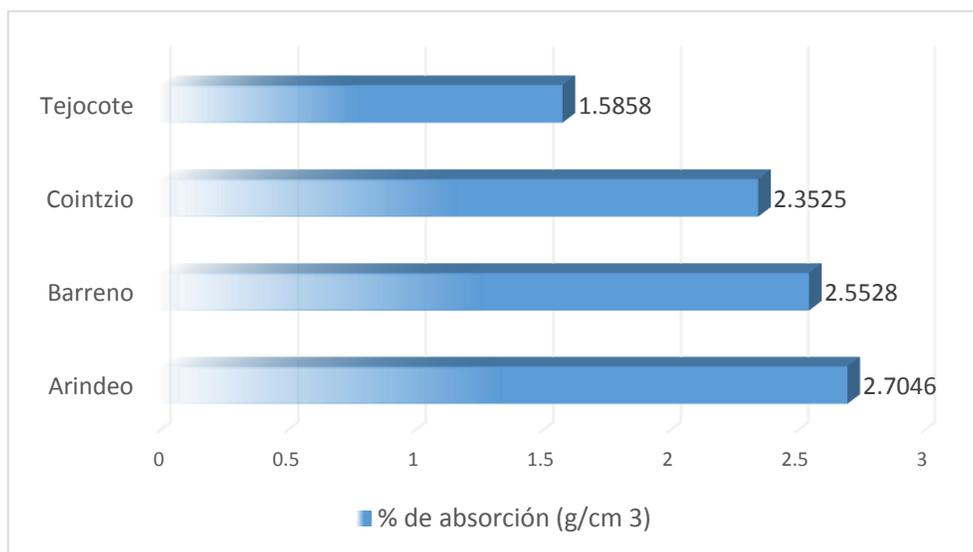
De acuerdo con la norma ASTM C 127-04 el contenido de absorción²² de humedad se expresa como el incremento de volumen o masa dentro de la estructura de la ignimbrita, lo anterior depende en gran medida de la succión o penetración de agua dentro de la composición o estructura del cuerpo en determinado tiempo o periodo establecido, para el caso del material pétreo el fenómeno es transportado por la conformación de sus poros.

En relación con el análisis de los diferentes especímenes de estudio, bajo la aplicación de la norma (ASTM C 127-04) el porcentaje de absorción promedio se encuentra en la siguiente (tabla 04).

El resultado de los valores porcentuales de absorción del material pétreo muestra variaciones entre los especímenes analizados. A pesar de ser especímenes de ignimbrita de la zona urbana de Morelia cuentan con la capacidad de absorción desigual, lo anterior como resultado de la estructura y de la cantidad de poros al interior del material.

²² Absorción es la incorporación de líquidos en el interior del sistema poroso del material pétreo, la succión de líquidos es la propiedad que tiene el material por su capacidad de absorber los líquidos que se encuentren en contacto con el material.

TABLA 04. Porcentaje de absorción.
Edición. Aldo Zamudio Pérez 2017



Una vez determinado al porcentaje de absorción de la ignimbrita se observó el diagnóstico de vulnerabilidad que presenta; por lo cual se resume en lo siguiente: entre mayor sea el contenido de poros en la estructura de la ignimbrita mayores serán los valores de absorción.

Dentro de la zona de estudio existen canteras de ignimbrita con características de absorción de gran porcentaje, lo cual se interpreta como la vulnerabilidad del propio material frente a eventos con la amplificación de su deterioro de acuerdo con la capacidad de absorción del mismo material.

El porcentaje de absorción de la ignimbrita se puede observar físicamente en la zona de estudio principalmente en fachadas con mamposterías con el común denominador de tener zoclos con el material pétreo bajo el efecto del intemperismo, situación por la cual se perciben altos valores de humedad de la ignimbrita.



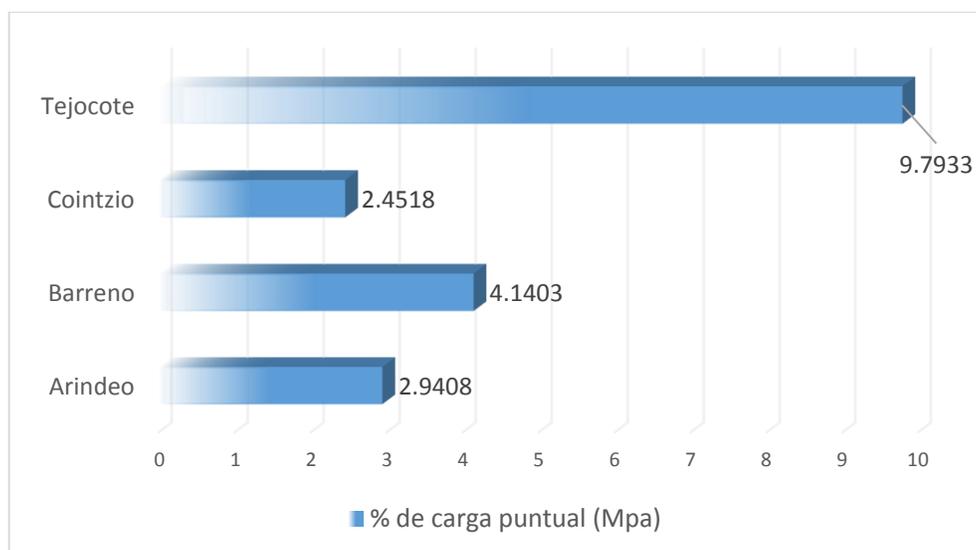
Fig. 42. Proceso del análisis de absorción de la ignimbrita.
Fuente. Aldo Zamudio Pérez, 2017.

III.3.e Carga puntual de la ignimbrita

El objetivo de la prueba es evaluar la capacidad de resistencia a compresión que puede soportar la ignimbrita bajo el evento únicamente de carga. Para determinar lo anterior se someten los especímenes a carga puntual hasta que muestran su deformación, con lo cual se tiene el valor máximo de resistencia.

De acuerdo con el análisis de los diferentes especímenes de estudio, bajo la aplicación de la norma (ASTM D 5731-05) el porcentaje de carga puntual soportada promedio se encuentra en la siguiente (Tabla 05).

TABLA 05. Porcentaje de carga puntual de la ignimbrita.
Edición. Aldo Zamudio Pérez 2017



El resultado de los valores porcentuales de carga puntual a la cual fueron sometidos los diferentes elementos de cantería de Morelia muestra variaciones entre un banco de cantera y otro. A pesar de ser especímenes de ignimbrita de la zona de urbana de Morelia cuentan con capacidades estructurales desiguales.

Una vez determinado al porcentaje de la carga máxima que puede soportar la ignimbrita se puede determinar la capacidad de carga que ofrece el material, por otra parte, permite determinar la vulnerabilidad que cada banco de análisis presenta y por ultimo comprobar el deterioro que el material presenta en los inmuebles de análisis.

De acuerdo con los datos determinados por el análisis se entiende que cada tipo de ignimbrita contiene determinada estructura, lo cual es un punto de partida para seleccionar el tipo de material ígneo que se pretende integrar en los inmuebles. Los bancos del Tejocote y Barreno presentan mayor capacidad de carga puntual, dicha característica se puede observar físicamente en la estabilidad estructural de los inmuebles con el uso de los anteriores bancos.



Fig. 43. Proceso del análisis sometiendo la ignimbrita a carga puntual.
Fuente. Aldo Zamudio Pérez, 2017.

III.3.f Velocidad de propagación de pulso ultrasónico de la ignimbrita

El objetivo fundamental de la prueba es conocer la velocidad con la cual se propagan las ondas de compresión en sentido longitudinal a través de la estructura de la ignimbrita. Una vez aplicado el análisis se logró tener la evaluación tanto de las propiedades físicas como mecánicas, es decir, se comprueban datos de los valores de densidad, porosidad y la relación entre velocidad de pulso y la resistencia del material.

Las pruebas ultrasónicas²³ tienen bastantes ventajas para la determinación del deterioro de materiales pétreos, se pueden determinar valores de uniformidad en cuanto a la composición del material, espesores de apoyos (aplicación directamente en sitio con herramientas no destructivas ni invasivas) y valores de resistencia.

De acuerdo con el análisis de los diferentes especímenes de estudio, bajo la aplicación de la norma (ASTM D 5731-05) el porcentaje de la velocidad de propagación de pulso promedio se encuentra en la siguiente (Tabla 06).

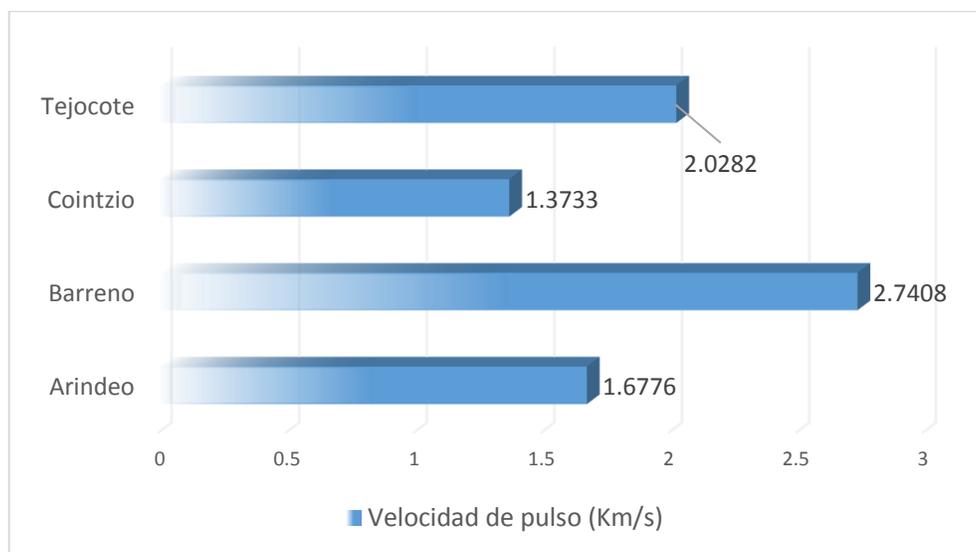
El resultado de los valores porcentuales de la velocidad de pulso muestra variaciones entre los especímenes. A pesar de ser especímenes de ignimbrita sana cuentan con valores de pulso desiguales, lo cual indica dos situaciones: por una parte, la procedencia de elementos desiguales de su estructura y la cantidad de vacíos o poros al interior.

²³ Las técnicas ultrasonidos han sido incorporadas ampliamente al estudio de los materiales pétreos integrados en obras o monumentos. Son utilizados para determinar el estado de deterioro del material, penetración de productos de consolidación, entre otros. Debido a su carácter no destructivo resulta por demás útil para ser utilizado dentro de procesos de conservación y restauración, en particular, para la evaluación in situ de los materiales empleados en el patrimonio arquitectónico. Retomado de: David Benavente García, *Modelización y estimación de la durabilidad de materiales pétreos porosos frente a la cristalización de sales*, Tesis de Doctorado en Ciencias, España, Universidad de Alicante, Departamento de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente, Facultad de ciencias, 2002, p. 56.

En relación a la propagación de las ondas ultrasónicas a través de la estructura del material pétreo Modesto Montoto²⁴ comenta que dicho parámetro se encuentra influenciado respecto a la porosidad y a las fisuras dentro de la estructura del material analizado, por lo cual se entiende que en dicho proceso ultrasónico existe la relación entre la porosidad, velocidad, aire o líquido (al interior del material).

Cabe señalar que el análisis de la estructura interior se encuentra en el siguiente capítulo bajo el estudio de la caracterización microestructural de muestras sanas de ignimbritas de la zona urbana de Morelia en comparación con muestras deterioradas de ignimbritas de diferentes inmuebles catalogados de la zona de monumentos de Morelia.

TABLA 06. Velocidad de pulso de la ignimbrita.
Edición. Aldo Zamudio Pérez 2017



²⁴ Modesto Montoto San Miguel, "Técnicas no destructivas aplicadas a la conservación del patrimonio histórico", en *Cuadernos Técnicos*, no. 02, Consejería de Cultura, Junta de Andalucía, España, pp. 85-94.

De acuerdo con los valores analizados en los especímenes de ignimbrita, los bancos de cantería el Barreno y el Tejocote presentan mayores valores de velocidad de pulso promedio, lo cual se puede diagnosticar como las estructuras más compactas, menor contenido de porosidad y menos vulnerables, situación por la cual tienen el índice de mantener su condición estructural.²⁵

En el caso de los especímenes de cantería de los bancos de extracción de Cointzio y Arindeo se observa en comparación con el análisis de carga puntual y del de velocidad de pulso que son los bancos con material de menor capacidad de carga y menores valores ultrasónicos.

Lo anterior se puede observar en el estado de conservación de los inmuebles con el uso del material pétreo de los bancos del Barreno y el Tejocote los cuales mantienen su estructura con mejores condiciones estéticas y estructurales.



Fig. 44. Proceso del análisis de velocidad de pulso de la ignimbrita.
Fuente. Aldo Zamudio Pérez, 2017.

²⁵ La velocidad de propagación no es igual para todos los minerales, por lo que la velocidad en la roca está controlada por las propiedades elásticas de los minerales que la constituyen, la cantidad de compuestos, el contacto entre ellos, orientaciones y anisotropía. Retomado de: David Benavente García, *Modelización y estimación de la durabilidad de materiales pétreos porosos frente a la cristalización de sales*, Tesis de Doctorado en Ciencias, España, Universidad de Alicante, Departamento de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente, Facultad de ciencias, 2002, pp. 57-58.

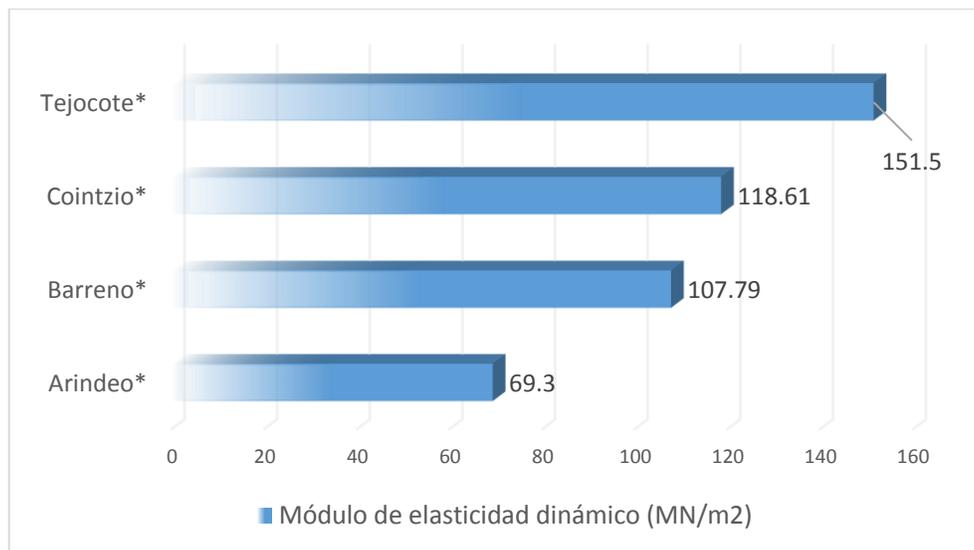
III.3.g Frecuencia de resonancia de la ignimbrita

El objetivo de la prueba es conocer el módulo de elasticidad dinámica y el módulo dinámico de rigidez; es decir, la capacidad de elasticidad del material pétreo en relación con los valores de tenacidad y rigidez frente a cambios drásticos de temperaturas bajas (hielo-deshielo).

En otras palabras, determinar la vulnerabilidad del material frente a cambios bruscos de temperatura, en el caso preciso del presente análisis fueron sometidas las muestras de ignimbrita de los bancos de análisis a cambios drásticos de temperaturas bajas, con el objetivo de observar el porcentaje de estrés y cambios al material pétreo.

De acuerdo con el análisis de los diferentes especímenes de estudio, bajo la aplicación de la norma (ASTM C 1548-02 (2012) el promedio de los cambios del módulo de elasticidad dinámico se encuentra en la siguiente (Tabla 07).

TABLA 07. Módulo de elasticidad dinámico de la ignimbrita.
Edición. Aldo Zamudio Pérez 2017



*Resultado del cambio del módulo de elasticidad dinámico entre el primer ciclo y los datos del decimo segundo ciclo.

El resultado de los valores porcentuales del cambio del módulo de elasticidad dinámico de los especímenes ígneos de canteras de la zona urbana de Morelia muestra variaciones. A pesar de ser especímenes de ignimbrita de la zona de Morelia cuentan con valores de elasticidad desiguales.

Una vez determinada la elasticidad dinámica promedio de los diferentes especímenes de cantería se observa que cada tipo de ignimbrita se comporta de forma distinta. De acuerdo con los valores de los especímenes, el banco el Tejocote presenta menor porcentaje elástico, es decir su deformación es menor que otras ignimbritas de acuerdo al sometimiento de congelamiento.

Lo anterior se puede diagnosticar como la estructura con mayor capacidad para soportar eventos ambientales agresivos, tendrá la particularidad de mantener su condición estructural y estética. En el caso de los especímenes del banco de Arindeo se puede comprobar con el análisis de carga puntual y velocidad de pulso como el material con menor capacidad de soportar eventos agresivos.

Lo anterior se puede observar en el estado de conservación de las fachadas de los inmuebles de estudio con el uso del material pétreo del banco del Tejocote en comparación con el uso del banco de Cointzio o Arindeo que muestran mayores índices de deterioro (Fig. 45).



Fig. 45. Muestra ignimbrita del banco de Arindeo en mamposterías de calle Galeana en Morelia Michoacán. Fuente Aldo Zamudio Pérez, 2017.



Fig. 46. Proceso del análisis del módulo de elasticidad de la ignimbrita. Fuente. Aldo Zamudio Pérez, 2017.

III.3.h Resistividad eléctrica de la ignimbrita

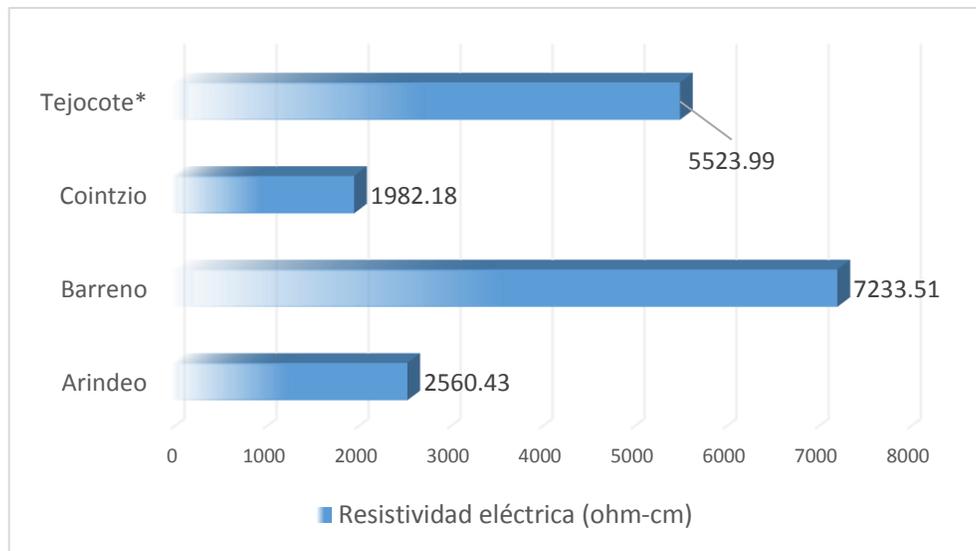
El objetivo de la prueba es conocer la conductividad eléctrica de la ignimbrita, tal propiedad varía en función de la estructura interna del propio material, es decir, de acuerdo con la cantidad de poros, el porcentaje de saturación del material y contenido elemental en su estructura será mayor o menor la conductividad de la ignimbrita.

De acuerdo con el análisis de los diferentes especímenes de estudio, el porcentaje de resistividad eléctrica se encuentra en la siguiente (Tabla 08).

Una vez determinada la resistividad eléctrica promedio de los diferentes especímenes de ignimbrita se observó que a pesar de ser especímenes de ignimbrita de la zona urbana de Morelia cuentan valores desiguales.

De acuerdo con los valores determinados, el banco de cantería del Barreno presenta mayor porcentaje resistividad eléctrica, lo cual indica que es el material con mayor capacidad de conducción. En el caso de los especímenes del banco de Cointzio se puede comprobar con el análisis de carga puntual, velocidad de pulso y elasticidad dinámica que es el material con menor capacidad de soportar eventos agresivos, así como amplificar los eventos de deterioro de acuerdo a las propiedades del mismo.

TABLA 08. Resistividad eléctrica de la ignimbrita.
Edición. Aldo Zamudio Pérez 2017



Lo anterior se puede observar en el estado de conservación de las fachadas con el uso de ignimbrita de Cointzio en comparación con las que utilizan el banco del Barreno.



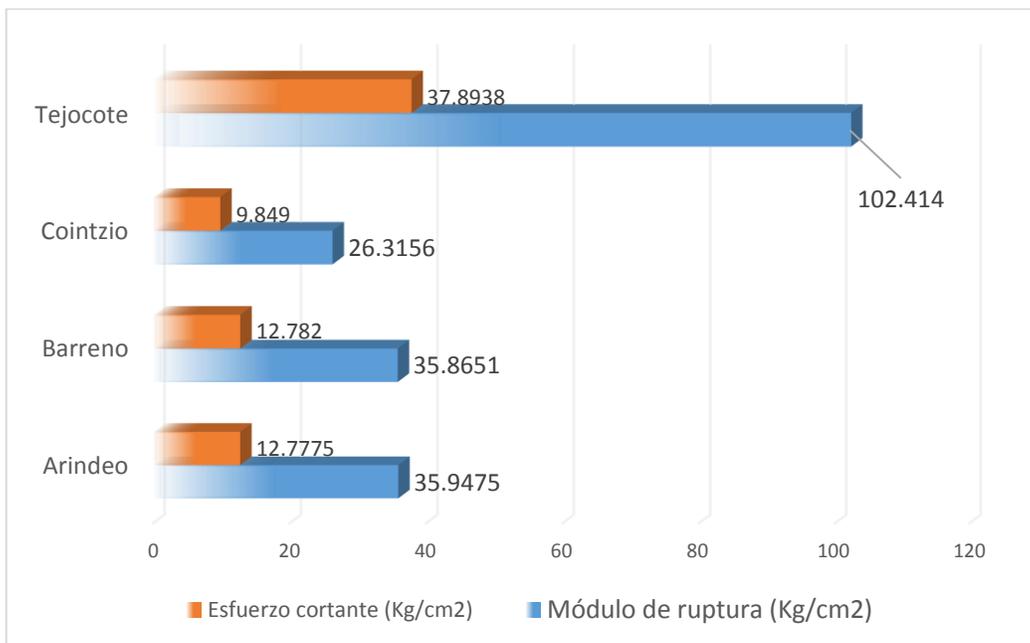
Fig. 47. Proceso del análisis de la resistividad de la ignimbrita.
Fuente. Aldo Zamudio Pérez, 2017.

III.3.i Flexión estática de la ignimbrita

La resistencia a la flexión o módulo de ruptura es la resistencia que soporta un material al ser sometido a determinada carga vertical sobre un cuerpo en sentido horizontal, es decir, es el esfuerzo requerido para intentar doblarlo o plegarlo. El objetivo del análisis es determinar el módulo de ruptura y el esfuerzo cortante que presente la ignimbrita al someterla a carga que conduce a flexión del material.²⁶

De acuerdo con el análisis bajo la norma (ASTM C 78-00 Y ASTM C 880 M-15) de los diferentes especímenes de estudio, el porcentaje de la flexión estática respecto al módulo de ruptura y esfuerzo cortante en promedio se encuentra en la siguiente (Tabla 09).

TABLA 09. Flexión estática de la ignimbrita.
Edición. Aldo Zamudio Pérez 2017



Una vez determinados el módulo de ruptura y esfuerzo cortante promedio de los diferentes especímenes de análisis se observa que a pesar de ser

²⁶ Luis Manuel Navarro Sánchez, *Análisis de materiales*, Morelia, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, primera edición 2000, pp. 63-64.

especímenes de ignimbrita de la zona urbana de Morelia cuentan valores desiguales.

De acuerdo con los valores el banco de cantería del Tejocote presenta mayor capacidad de flexión estática, lo cual indica que es el material que soporta mayores esfuerzos cortantes. En el caso de los especímenes del banco de Cointzio se puede comprobar con el análisis de carga puntual, velocidad de pulso, elasticidad dinámica y resistividad eléctrica que es el material con menor capacidad de soportar eventos agresivos, así como amplificar los eventos de deterioro de acuerdo con las propiedades del mismo.

Una de las características que cambian en relación con la durabilidad de la ignimbrita es la resistencia mecánica, al respecto Tiab, Donaldson y Bell comentan que las propiedades mecánicas disminuyen fuertemente al encontrarse el material pétreo saturado o húmedo.²⁷ Situación que en la zona de estudio se logra observar en los zoclos de las fachadas principales.



Fig. 48. Proceso del análisis de flexión de la ignimbrita.
Fuente. Aldo Zamudio Pérez, 2017.

²⁷ Tiab y Donaldson 1996 y Bell 2000. Retomado de: David Benavente García, *op cit*, p. 66.

III.4 RESULTADOS DE LA ETAPA DE MUESTREO

El objetivo del presente capítulo fue determinar la caracterización físico-mecánica de la ignimbrita de la zona de urbana de Morelia mediante la aplicación de técnicas de análisis normativas, el propósito fue evaluar el comportamiento del material pétreo además de realizar el diagnóstico de lo vulnerable que puede ser cada banco de estudio.

Una vez que se tuvieron los resultados, con base en los diferentes análisis que comprenden la caracterización física y mecánica se observó que la ignimbrita presenta comportamiento similar entre una y otra, sin embargo, no se puede pluralizar al material pétreo y comentar que su estructura es heterogénea.

Respecto a las propiedades de la ignimbrita analizada se observó que en apariencia (estética) parecería que todas son iguales, sin embargo, son diferentes una y otra tanto en su comportamiento estructural como en las propiedades que cada banco ostenta.

Respecto al comportamiento estructural de cada tipo de ignimbrita se entiende la situación en relación con que la tarea por seleccionar el material pétreo desde los antiguos constructores se presentaba, el tipo de piedra a integrar era selecta de acuerdo a su estabilidad o se escogía para ser un elemento de ornato²⁸ (Fig. 49).

El comportamiento de la ignimbrita depende de sus propiedades físicas y mecánicas,²⁹ estas varían de acuerdo a la cantera o sitio de extracción, sin embargo, una vez integradas dentro los inmuebles su estructura y

²⁸ Benjamín Ibarra Sevilla, *op cit*, p. 114.

²⁹ Rosa María Ebert Alumany, "La petrofísica en la interpretación del deterioro y la conservación de la piedra de edificación", en *Trabajos de Geología*, no 28, Universidad de Oviedo, 2008, pp. 87-95.

composición se modifican de acuerdo al sistema constructivo, técnicas empleadas, así como a los factores ambientales y los elementos urbanos que inciden sobre el material pétreo.

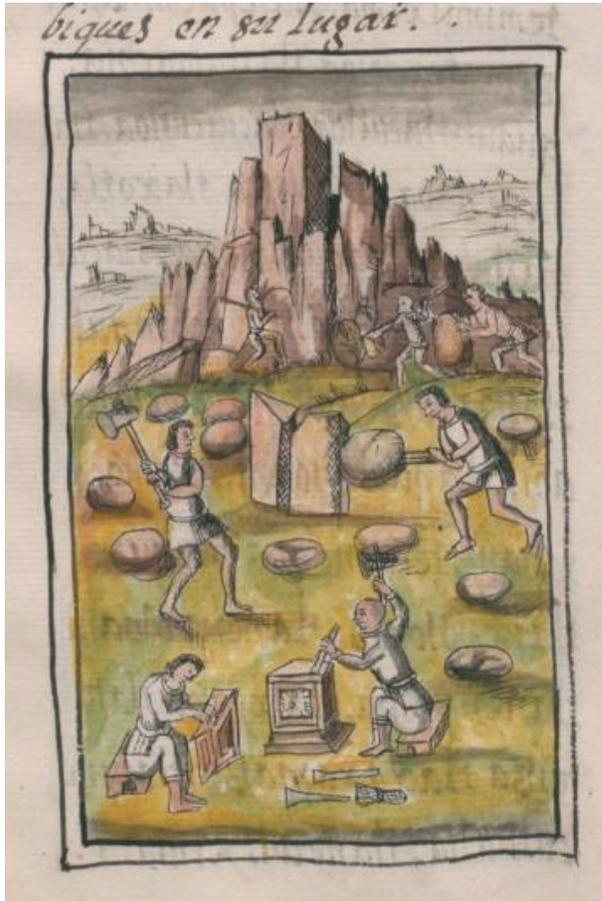


Fig. 49. Canteros labrando piedra.
Fuente Bernardino de Sahagún, 1499-
1590.³⁰

Al analizar el comportamiento de las propiedades físicas y mecánicas de la ignimbrita se observa cómo sus características presentan determinados cambios, ya sea en su estructura interna, estética superficial o composición estructural. De ahí que se contempla la revisión microestructural de la ignimbrita dentro del siguiente capítulo.

³⁰ Bernardino de Sahagún, *Libro decimo de los vicios y virtudes de la gente indiana y de los miembros de todo el cuerpo interiores y exteriores y de las enfermedades y medicinas contrarias y de las naciones que a esta tierra han venido a poblar*, 1499-1590, Biblioteca Digital Mundial, Historia general de las cosas de Nueva España por el fray Bernardino de Sahagún: el Códice Florentino, p. 20. Consulta [29 de Abril 2017], <<https://www.wdl.org/es/item/10621/view/1/1/>>.

Respecto a la importancia del conocimiento de las propiedades del material pétreo Fort González comenta que el conocimiento de la anisotropía es justo el aporte que se debe realizar para la toma de decisión al momento de realizar la selección del material, ello en relación con la evaluación y viabilidad de su posible uso.³¹

Una de las principales características observadas dentro del presente capítulo fue la vulnerabilidad que la ignimbrita puede contemplar al ser utilizada en la zona de estudio bajo el efecto del intemperismo.

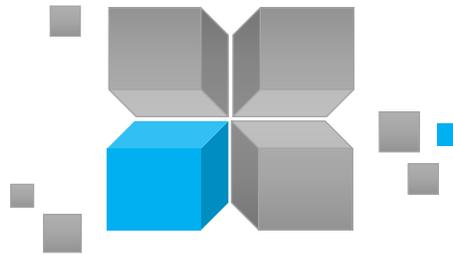
Por consiguiente, el hecho de tener el material expuesto al efecto del intemperismo, la influencia de la contaminación ambiental en conjunto con los procesos cíclicos de acumulación de humedad y sequedad, así como la constante cristalización de sales (Capítulo 02); son mecanismos que conducen al deterioro de la estructura del material pétreo, finalmente el resultado es la pérdida parcial o total del material.

La ignimbrita de la zona de estudio como se había abordado anteriormente se caracteriza por la heterogeneidad en su composición estructural, en conjunto sus propiedades ofrecen una diversidad en cuanto a lo que será su uso y destino, característica que otorga al material su posible aplicación para diversos propósitos, tanto estructurales como ornamentales.

³¹ Rafael Fort González, *et al*, *op cit*. 162.



Capítulo IV



III. EVALUACIÓN DEL DETERIORO EN LA IGNIMBRITA

Los deterioros asociados a la actividad humana, como responsable principal de la aparición de nuevos agentes (sales, fuego, actividad bélica, vandalismo, restauraciones nocivas, contaminación atmosférica, grafitis) altamente agresivos, y que en muchos casos afectarán negativamente a la estética y estabilidad superficial de la piedra.¹

Rosa María Esbert Alemany

¹ Rosa María Esbert, *et al*, "Manual de diagnóstico y tratamiento de materiales cerámicos pétreos y cerámicos" y Rafael Fort González, "La piedra natural y su presencia en el Patrimonio Histórico", en Ma. José Varas Muriel, *et al*, "Canteras y monumentos históricos: un recurso didáctico", en *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, Vol. 18, No. 3, 2010, p. 265.

IV.1 EVALUACIÓN DEL DETERIORO EN LA IGNIMBRITA

Análisis del deterioro de la ignimbrita de la Zona de Monumentos Históricos de Morelia

Dentro del presente capítulo se aborda el análisis referente al deterioro de la ignimbrita integrada dentro de monumentos arquitectónicos, así como la comparación respecto lecturas de cantería sana extraída de las canteras históricas y del contexto urbano de Morelia.

El patrimonio cultural según la Convención sobre la protección del patrimonio mundial, cultural y natural se encuentra conformado por: monumentos, conjuntos y lugares.² Cabe señalar que las tres clasificaciones tienen en común el hecho de ser expresiones construidas a lo largo de la historia por parte de la sociedad.

De acuerdo con lo anterior en épocas contemporáneas surgió la inquietud por la salvaguarda, protección y conservación del patrimonio histórico el cual es visto como parte de los bienes de la humanidad, dicha tarea ha requerido se efectúen investigaciones cada vez más detalladas y profundas con el fin de la preservación de lo material.

A menudo que ha pasado el tiempo dentro de proyectos de restauración y conservación se han logrado avances significativos, desde la adopción de perspectivas en el campo de la restauración, hasta el empleo e integración de nuevas herramientas de para el análisis a gran escala, en otras palabras, Sebastián Pardo³ argumenta que las actividades han evolucionado en

² Definiciones del patrimonio cultural, artículo 1, en la Convención sobre la protección de patrimonio mundial, cultural y natural, reunión celebrada en París del 17 de octubre al 21 de noviembre de 1972 dentro de la Conferencia General de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura.

³ Eduardo, Sebastián Pardo (Dir.), Cuadernos técnicos, Técnicas de diagnóstico aplicadas a la conservación de los materiales de construcción en los edificios históricos, Sevilla, Junta de Andalucía, Consejería de Cultura, Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico, pp. 6-7.

cuanto a la especialización de las técnicas, de tal forma que las actuaciones requieren de equipos interdisciplinarios.

Uno de los retos históricamente dentro de trabajos de restauración y conservación ha sido mantener en pie al patrimonio cultural material, situación por la cual la sociedad a través de sus investigadores ha tomado a bien realizar estudios especializados en cuanto a los materiales utilizados dentro de la fábrica de la diversidad construida.

Uno de los objetivos y/o metas en cuanto a la investigación en proyectos de carácter histórico patrimonial es dar respuesta tanto al origen, como a la transformación del material, así como del dictamen del estado de conservación, para de ahí partir en la planeación de proyectos de restauración y conservación.

Existen diversas metodologías aplicadas a la intervención de objetos históricos y/o artísticos, todo depende de su naturaleza y del porcentaje de investigación previa. En dichas metodologías es común encontrar el desarrollo de diversos factores como: técnicas de ejecución e instrucciones, entre otras. Cabe señalar que cada una de estas tiene como objetivo principal la respuesta a un problema en específico.

De acuerdo con lo anterior se ha optado por implementar técnicas y herramientas aplicadas a materiales naturales, las cuales permitan entender los procesos de deterioro tanto naturales como antropogénicos. El estudio de difracción de Rayos X (XRF), representa una de las técnicas implementadas con el objetivo de obtener información acerca de las sustancias cristalinas que componen a los diferentes elementos, tal es el caso del análisis de los materiales pétreos, donde, a través de la difracción se pueden identificar los minerales con los que se compone el material, así como la razón de su deterioro y alteración.

Respecto de la Difracción de Rayos X Askeland comenta que se puede obtener información acerca de la estructura cristalina de cualquier material utilizando la herramienta de la Difracción de Rayos X.⁴

Cabe señalar que el análisis de difracción de rayos X es considerado una herramienta destructiva, debido a que el material debe cumplir con ciertas características para su estudio, una de ellas es que el elemento a analizar debe convertirse en polvo policristalino, situación por la cual el material no logra reintegrarse al inmueble y sitio de origen.

El análisis de Difracción de Rayos X se realiza según Askeland una vez que:

Un haz monocromático (de una sola longitud de onda) del mismo orden de magnitud que el esparcimiento atómico del material lo golpea, los rayos X se dispersan en todas direcciones. La mayor parte de la radiación dispersa por un átomo anula la dispersada por otros átomos. Sin embargo, los rayos X que golpean ciertos planos cristalográficos en ángulos específicos se ven reforzados en vez de eliminados. Este fenómeno se conoce como *difracción*.⁵

Los resultados emitidos por el análisis de difracción de rayos X son evaluados mediante un difractograma o diagrama de difractómetro (Fig. 50), el cual es un gráfico compuesto por diversos planos en los cuales aparecen intensidades (picos) que corresponden a las sustancias que componen al material analizado.

El identificar dichas sustancias y/o elementos dentro del difractograma puede partir del uso de un software de cómputo mediante la búsqueda de similares, sin embargo, dicha tarea pasa a tener mayor grado de dificultad al analizar elementos pétreos, por la presencia de sales solubles y arcillas.

⁴ Donald R. Askeland, *Ciencia e ingeniería de los materiales*, México, International Thomson Editores, 1998, p. 65.

⁵ *Ibíd.*

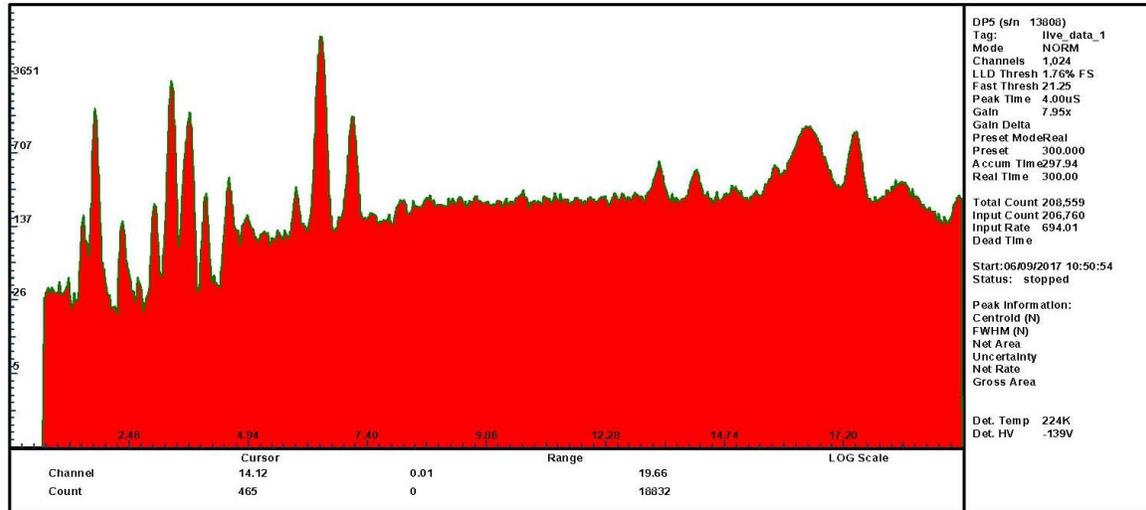


Fig. 50. Difractograma de una muestra de ignimbrita.
Fuente Aldo Zamudio Pérez, 2017.

La metodología de investigación del presente capítulo se llevó a cabo mediante el análisis de ignimbritas extraídas directamente de las unidades de análisis, es decir de inmuebles de la zona de estudio, así como a muestras de cantería sana de los bancos de Arindeo, Barreno, Coitzio y Tejocote.

Dentro del capítulo aparecen diversas técnicas como: el registro fotográfico de las muestras, a través de microscopía óptica y del análisis de la fluorescencia de Rayos X (XRF) y Difracción de Rayos X (ADIS).

IV.1.a Desarrollo experimental

La caracterización micro-estructural de la ignimbrita como material natural ampliamente integrado dentro del patrimonio histórico edificado ubicado dentro de lo que comprende la zona de monumentos de Morelia involucra diversas técnicas experimentales, las cuales metodológicamente comprendieron dos fases (Fig. 51).

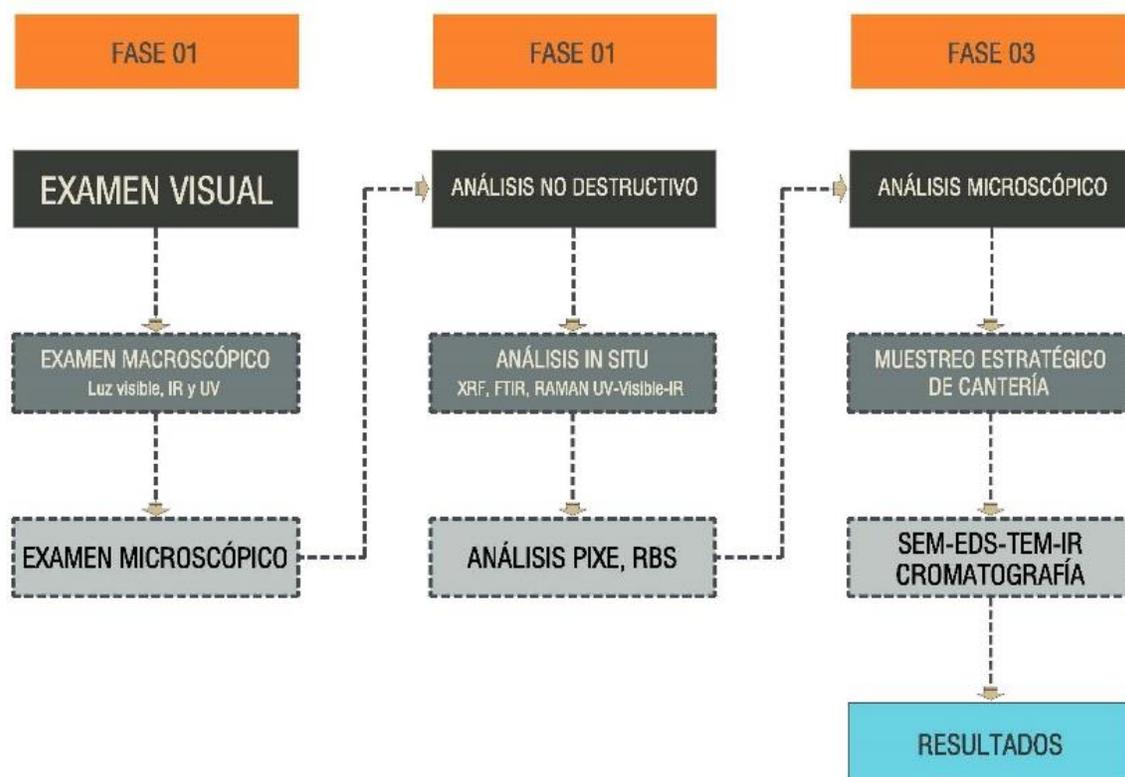


Fig. 51. Esquema metodológico de análisis (evaluación del deterioro de la ignimbrita). Fuente José Luis Ruvalcaba Sil, Edición Aldo Zamudio Pérez, 2017.

La primera fase consistió en realizar la toma de fotografías a las muestras deterioradas y sanas de ignimbrita, el objetivo fue tener la prospección general del material analizado en sus distintas caras y elementos. Una de las garantías de la fase fue la identificación de los rasgos generales del material, es decir la observación de los diferentes elementos de la estructura del material pétreo.

Se logró determinar la heterogeneidad del material a través de la microscopia con base en la prospección de las distintas muestras de ignimbrita; tanto sanas como alteradas, para luego seleccionar las zonas que se analizarían a mayor detalle y profundidad bajo la aplicación de técnicas instrumentales correspondientes a la siguiente fase de investigación.

La segunda etapa de análisis consistió en la implementación de técnicas instrumentales de las áreas selectas (deterioradas y sanas) de la ignimbrita, situación por la cual, se estableció la aplicación de la técnica espectroscopia de fluorescencia de rayos X (XRF) y difracción de rayos X (ADIS).⁶

Entender que ocurre con el fenómeno por el cual se originan los mecanismos de deterioro de la ignimbrita en la zona de monumentos históricos de Morelia llevo todo un proceso de análisis, comprensión, estudio, entre otros. En los capítulos anteriores se encuentra la relación del estado de conservación de la ignimbrita de la zona de estudio, así como el resultado de la exposición del material pétreo dentro de las construcciones históricas patrimoniales así como las propiedades físicas y mecánicas que presenta el material pétreo de la región urbana de Morelia.

Una vez determinado el estado de conservación del material pétreo del área de estudio y realizada la evaluación de las propiedades físico-mecánicas de la ignimbrita sana toco el turno se observar la caracterización química del material.

Con el objetivo de realizar la caracterización química y realizar el análisis micro-estructural de la ignimbrita se dio inicio a través del examen visual de las áreas de estudio a las muestras de ignimbrita (Fig. 52), se obtuvieron 14 esquirlas directamente de inmuebles patrimoniales de la zona de monumentos históricos de Morelia (Tabla 10) y cuatro cubos de cantería sana, las cuales fueron extraídas de los bancos de cantería de la región urbana de Morelia (Tabla 11), en total 18 muestras para análisis.

⁶ Metodología elaborada por José Luis Ruvalcaba Sil, Director del proyecto análisis no destructivo para el estudio In Situ del Arte, la Arqueología y la Historia (ANDREAH), del Instituto de Física de la Universidad Nacional Autónoma de México.



Fig. 52. Área de selección de la toma de esquirla para análisis.
Fuente Aldo Zamudio Pérez, 2017.

Una vez que las muestras fueron extraídas se molieron manualmente en un mortero de ágata de acuerdo con las recomendaciones para su futuro análisis bajo el objetivo de evitar la contaminación entre una muestra y otra (Fig. 53-54). El moler la ignimbrita tanto de muestras deterioradas como sanas fue con el objetivo de tener cristales finos orientados al azar, los cuales se utilizaron para el análisis de fluorescencia de rayos X (XRF) y difracción de rayos X (ADIS).⁷

⁷ El objetivo era obtener polvo de partículas menores a 0.0030 pulgadas y este ser analizado por el difractómetro, los cristales deben pasar por la malla número 200.

TABLA 10. Muestras representativas deterioradas para análisis
Edición. Aldo Zamudio Pérez 2017

Calle o Inmueble	Elemento	Clave
Juan José de Lejarza	Esquirla de mampostería	01-JJL
Manuel Navarrete	Esquirla de mampostería	02-MN
Belisario Domínguez	Esquirla de mampostería	03-BD
Morelos	Esquirla de mampostería	04-M
Melchor Ocampo (A)	Esquirla de mampostería	05-MO-A
Melchor Ocampo (B)	Esquirla de mampostería	05-MO-B
Guillermo Prieto	Esquirla de mampostería	07-GP
Galeana	Esquirla de mampostería	08-G
Ex-Convento del Carmen	Esquirla de Gárgola	09-GC
Centro Cultural Clavijero	Esquirla de Pináculo	10-PC
Catedral	Esquirla de Torre	11-TC
Parroquia de San José	Esquirla de Torre	12-TSJ
Ex-Convento de San Agustín	Esquirla de Torre	13-TSA
Colegio de San Nicolás (Prepa 1)	Esquirla de Columna Interior	14-CSN

TABLA 11. Muestras representativas sanas para análisis
Edición. Aldo Zamudio Pérez 2017

Banco	Clave
Arindeo	15-A-S
Barreno	16-B-S
Cointzio	17-C-S
Tejocote	18-T-S

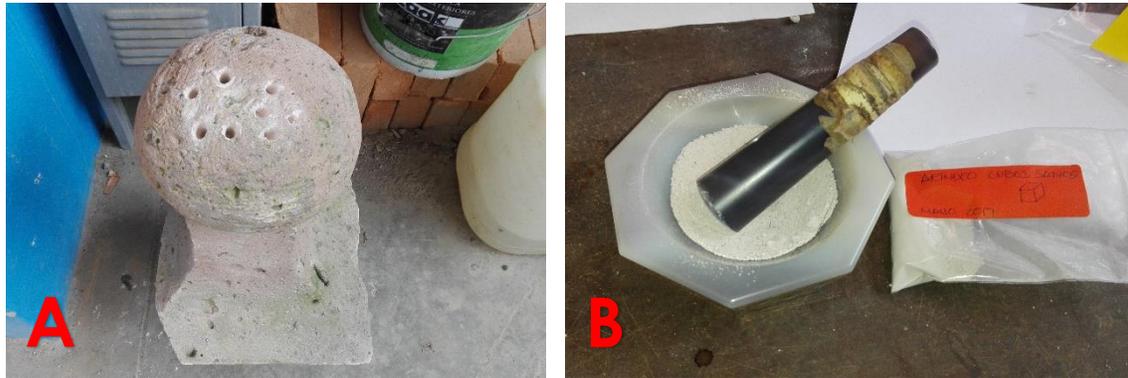


Fig. 53. Proceso de preparación de muestras para análisis de Rayos X en ignimbrita representativa del Pináculo del Centro Cultural de Clavijero. **(A)** Área de selección para toma de polvo. **(B)** Molienda de esquirla en mortero de ágata. Fuente Aldo Zamudio Pérez, 2017.



Fig. 54. Proceso de preparación de muestras para análisis de Rayos X en ignimbrita representativa del Pináculo del Centro Cultural de Clavijero. **(C)** Mallas para la criba del material pétreo molido **(D)** Tamiz vibratorio. Fuente Aldo Zamudio Pérez, 2017.

Para realizar los diferentes análisis de acuerdo con las fases previstas en el esquema metodológico (Fig. 51) se eligieron las zonas de estudio tanto en las superficies deterioradas como en las áreas sanas, la selección se realizó a las 18 muestras en total (Fig. 55).

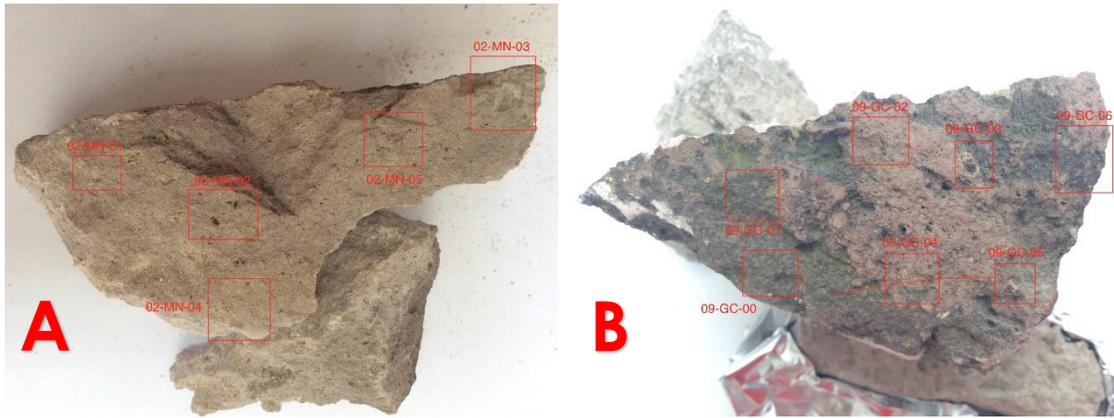


Fig. 55. Puntos de selección para análisis de la composición elemental de la ignimbrita sana y deteriorada. (A) Muestra 02-MN con superficie deteriorada (B) Muestra 09-GC superficie deteriorada. Fuente Aldo Zamudio Pérez, 2017.

Una vez que se tuvieron las imágenes de las áreas selectas fueron observadas bajo la técnica de microscopía óptica. Al realizar la técnica de análisis de la ignimbrita se obtuvo información sobre los distintos materiales que conforman la estructura del material pétreo, así como los cambios en su textura y superficie (Fig. 56).

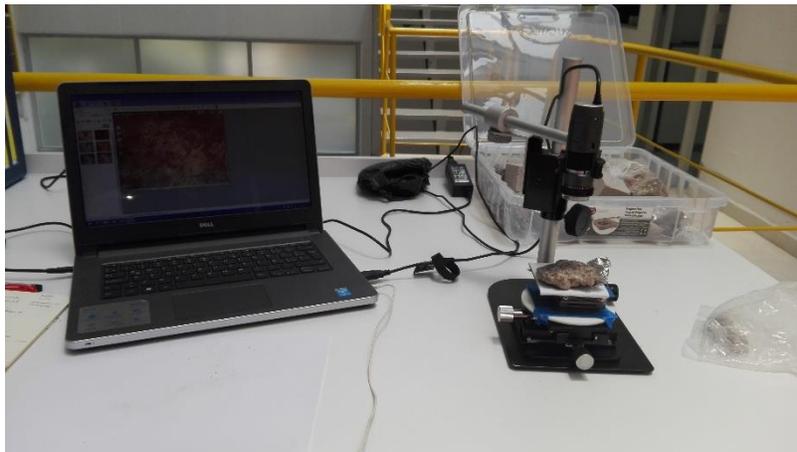


Fig. 56. Microscopía óptica a muestras de ignimbrita. Fuente Aldo Zamudio Pérez, 2017.

Una vez terminado el análisis de microscopía óptica de la ignimbrita de las muestras deterioradas y sanas se identificaron algunos rasgos distintivos del material.

En las muestras sanas se observó la heterogeneidad del material y como los distintos elementos que componen su estructura se encuentran dispersos entre todo el cuerpo. En cuanto a las muestras deterioradas o intemperizadas se observó la forma en la que el material sufre se altera y transforma su superficie a consecuencia de los distintos mecanismos de deterioro (Fig. 57).



Fig. 57. (A) Heterogeneidad de la ignimbrita de Morelia, muestra de cantería sana del banco del Tejocote. (B) Muestra deteriorada de unidad de análisis calle Morelos 04-M. Fuente Aldo Zamudio Pérez, 2017.

Aunado a lo anterior a través del análisis bajo la técnica de microscopía óptica a las muestras sanas se observaron algunas de las características físicas del material pétreo tales como: texturas y colores (Fig. 58). En cuanto a las muestras deterioradas se observó la presencia de sales minerales, manchas, costras, estructura alterada en general y los cambios de texturas y colores originados por el deterioro del material pétreo (Fig. 59).

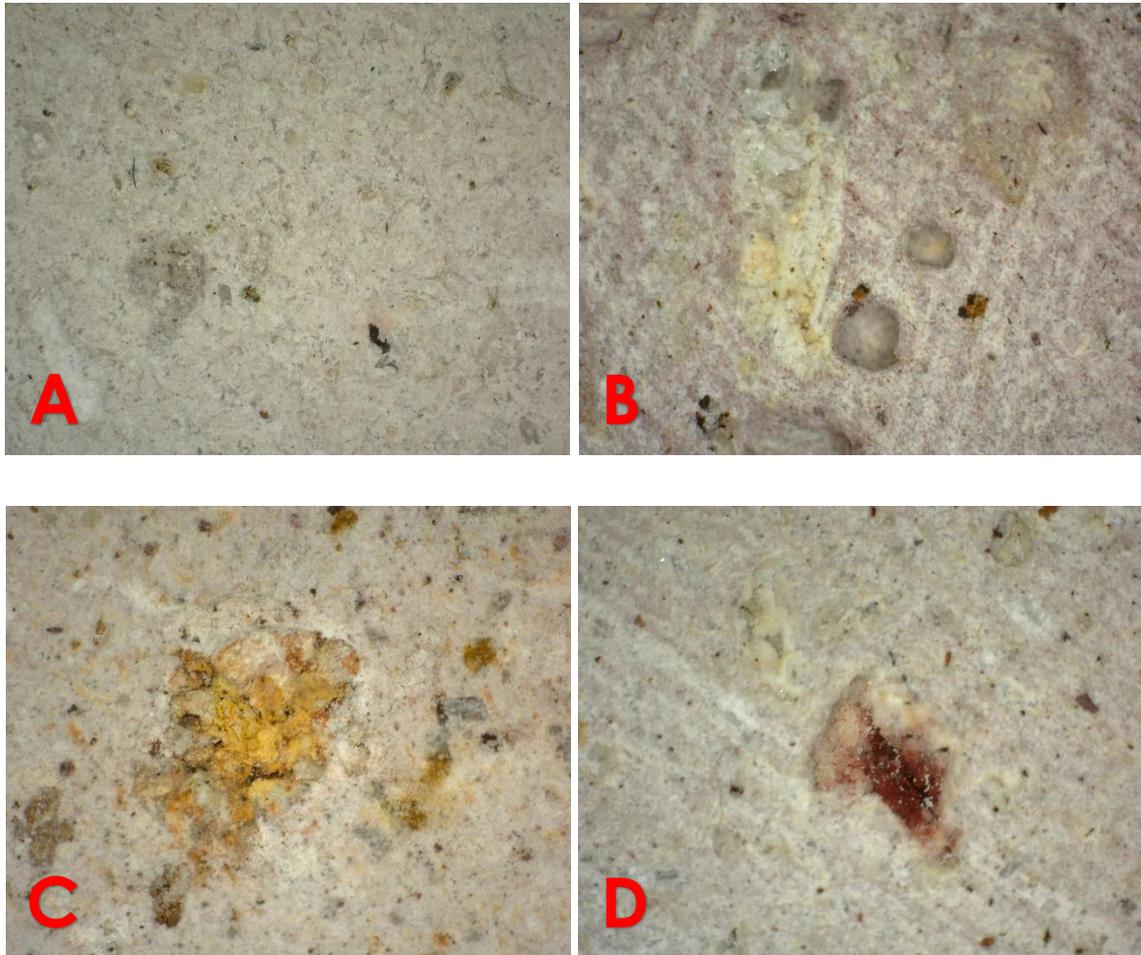


Fig. 58. Colores y texturas de la ignimbrita de Morelia. (A) Cantera de Arindeo. (B) Cantera del Barreno. (C) Cantera de Cointzio. (D) Cantera del Tejocote.
Fuente Aldo Zamudio Pérez, 2017.

A manera de resumen se puede mencionar que gracias a la técnica de microscopía óptica se observó en general el deterioro de la ignimbrita, se localizaron los puntos de alteración de su apariencia debido a la presencia de:

- Costras negras
- Biodeterioro
- Cristalización de sales
- Cambios en la estructura

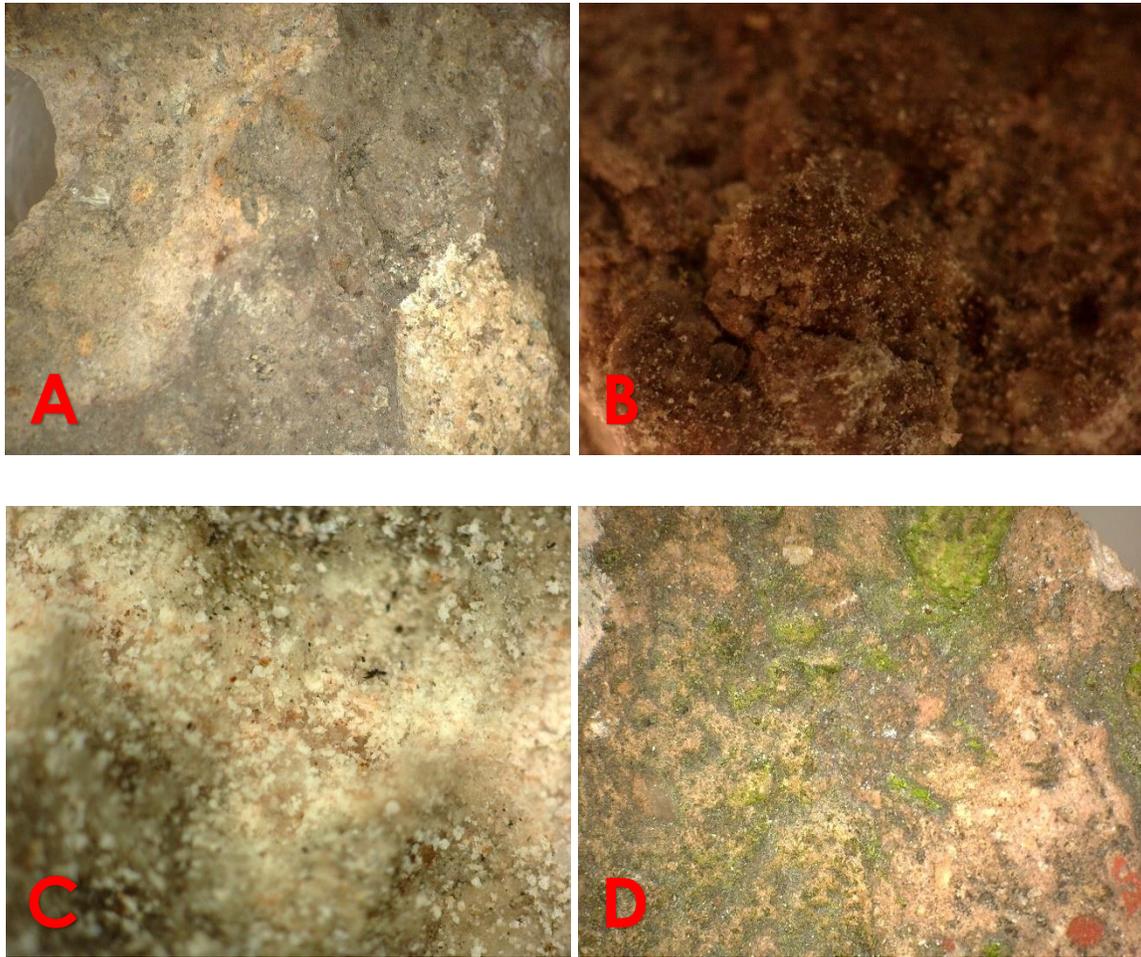


Fig. 59. Deterioro de ignimbritas extraídas de unidades de análisis. (A) Calle Juan José de Lejarza. (B) Calle Melchor Ocampo. (C) Calle Galeana. (D) Gárgola del Carmen. Fuente Aldo Zamudio Pérez, 2017.

Por otra parte, se observó la composición y distribución de los materiales naturales que componen la estructura de la ignimbrita, los cuales difícilmente a simple vista son perceptibles, tales como la cantidad de cristales en el interior del material pétreo así como las micro-fisuras y su porosidad (Fig. 60).

El análisis de Microscopía Óptica brindó un acercamiento general de la forma en la cual el material pétreo se comporta frente a los mecanismos de deterioro por el efecto del intemperismo y la falta de elementos de

protección, por consiguiente, se presentan los cambios observados en su apariencia, superficie y estructura.

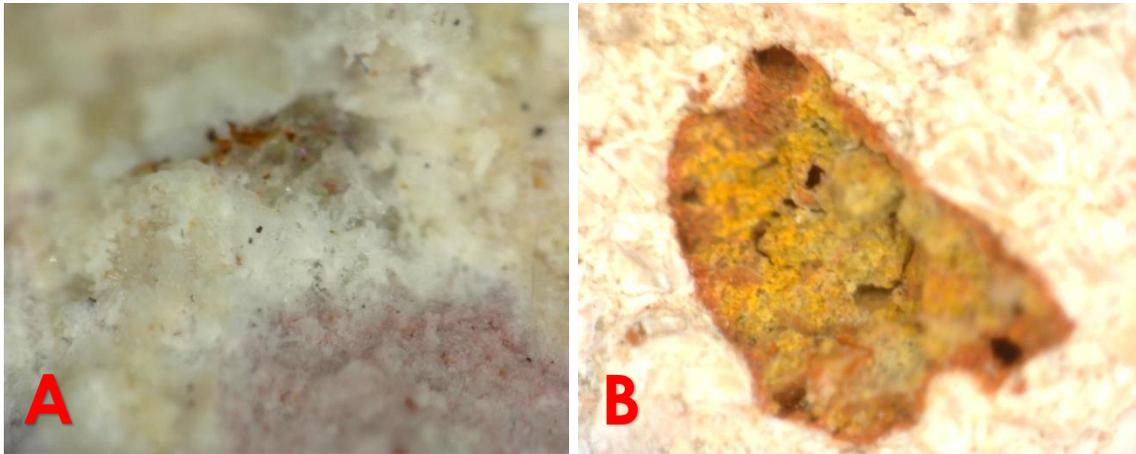


Fig. 60. Estructura interna de Ignimbritas extraída de unidades de análisis. (A) Pináculo de Catedral. (B) Pináculo del Centro Cultural Clavijero.
Fuente Aldo Zamudio Pérez, 2017.

Con el objetivo de identificar a fondo las partículas encontradas y con el propósito de tener el diagnóstico con mayor profundidad se recurrió a realizar técnicas que son expuestas en los siguientes apartados.

IV.2 INSTRUMENTOS Y TÉCNICAS ANALÍTICAS DE APLICACIÓN

Dentro del presente capítulo se localiza la metodología de análisis correspondiente a la micro-caracterización aplicada a las diferentes muestras de ignimbrita deteriorada y sana de la zona de estudio, de forma general la metodología se observa en la (Fig. 51).

La metodología empleada dentro del presente capítulo en general es retomada de la propuesta de Ruvalcaba Sil,⁸ cabe señalar que el método propuesto por el autor antes escrito es utilizado para el análisis de metales, sin embargo, se retoma por contener aspectos similares, mismos que son aplicados al estudio de materiales pétreos.

La metodología de Ruvalcaba fue retomada en el presente trabajo por el interés que muestra el método con relación a presentar el diagnóstico del estado de conservación de los materiales, procesos de restauración y su implementación dentro de las estrategias analíticas para la conservación de los materiales patrimoniales.

Por otra parte, cabe señalar la aplicación de la metodología tiene como pretensión precisamente la comparación de una mismo espécimen entre lo que es la cara o superficie de la ignimbrita deteriorada en contraste con los valores arrojados de la parte o estructura sana del mismo material.

La propuesta de trabajo abordada en el presente capítulo se divide en tres fases de investigación, la primera es la prospección de la ignimbrita, es decir, a través de diferentes herramientas se realizó la captura de imágenes tanto de áreas deterioradas como a áreas sanas del material pétreo.

Una vez que fueron seleccionadas las áreas propuestas para análisis se realizó la toma ilimitada de muestras para su examinación a mayor detenimiento y profundidad bajo la aplicación de la técnica visual con Microscopio Óptico (MO). El objetivo fue tener resultados de la conformación y distribución estratigráfica de la ignimbrita.

⁸ José Luis Ruvalcaba Sil, "Estudio no destructivo de metales: técnicas basadas en Rayos X característicos (XRF, EDX y PIXE)" en *Notas Corrosivas. Memoria del 3er Congreso Latinoamericano de Restauración de Metales*, Ciudad de México, septiembre 2009, p. 05.

Una vez que fueron analizadas las muestras y que se tuvieron resultados de acuerdo con la necesidad del capítulo y del estudio del deterioro de la ignimbrita se seleccionaron técnicas analíticas de mayor profundidad, las cuales comprenden la segunda fase. Cabe señalar que, dentro de este proceso se aplicaron técnicas instrumentales no destructivas.

En la segunda fase de la metodología empleada se analizaron puntos específicos detectados en las muestras de ignimbrita, las zonas analizadas fueron selectas en las muestras de ignimbrita extraída de elementos de cantería de inmuebles históricos de la zona de estudio, las áreas de análisis fueron superficies deterioradas por el efecto del intemperismo, así como superficies sanas de las mismas muestras y superficies de muestras sanas extraídas de bancos de cantería.

Dentro de la segunda fase se seleccionaron técnicas analíticas con el objetivo de obtener datos acerca de la estructura y composición de la ignimbrita, la técnica aplicada fue la Fluorescencia de Rayos X (FRX).

Finalmente, la tercera etapa comprendió el análisis de la información determinada bajo la aplicación de las diferentes técnicas analíticas. A continuación, se aborda de forma general que implica cada una de las diferentes técnicas de análisis aplicadas al diagnóstico y evaluación del deterioro de la ignimbrita.

IV.2.a Técnica de Fluorescencia de Rayos X portátil XRF (sistema SANDRA)

Fluorescencia de Rayos X portátil XRF (SANDRA)

Esta técnica se basa en la detección de rayos X característicos de los elementos químicos que componen a los materiales, es ideal para realizar análisis a pigmentos, tintas, metales y minerales. El resultado de la técnica es

la determinación de concentraciones de elementos de mayores, menores y trazas.⁹

El sistema utilizado en el presente apartado es Fluorescencia de Rayos X (XRF) para análisis in situ: Sistema de Análisis No Destructivo por Rayos X (SANDRA), desarrollado en el Instituto de Física de la Universidad Nacional Autónoma de México (IFUNAM), el cual consta de tubos de Molibdeno (Mo), Rodio (Rh) y Wolframio (W) de 75 W que se pueden combinar con detectores Si- PIN y Cd-Te para analizar regiones de 0.5 a 4 mm de diámetro (Fig. 61).¹⁰

Respecto al análisis de difracción de rayos X Navarro Gascón comenta que el uso de la técnica ha tenido cierta evolución a través del tiempo y de su aplicación, en un principio la herramienta era utilizada con el fin de determinar los parámetros que definen la estructura cristalina de los elementos analizados.¹¹

En la actualidad el uso del análisis puede operar en sentido inverso a como se venía utilizando, se puede identificar y comprobar la sustancia mediante la comparación de los parámetros en referencia de los parámetros cristalinos que se encuentran en las bases de datos de los sistemas de difracción de rayos X.¹²

Para iniciar con el proceso de Fluorescencia de Rayos X portátil XRF (SANDRA) son utilizadas las muestras cantería correspondientes a la (Tabla 10 y 11). Las piezas de ignimbrita son colocadas sobre un soporte ajustable

⁹ José Vicente Navarro Gascón, "Aplicaciones de la difracción de rayos X al estudio de los Bienes Culturales", en *La Ciencia y el Arte. Ciencias experimentales y conservación del Patrimonio Histórico*, vol. 01, 2008, pp. 134-139.

¹⁰ José Luis Ruvalcaba Sil, *et al*, "SANDRA: a portable XRF system for the study of Mexican cultural heritage" en *X-RAY SPECTROMETRY*, vol. 39, September/October, 2010, pp. 338-345.

¹¹ José Vicente Navarro Gascón, "Aplicaciones de la difracción de rayos X al estudio de los Bienes Culturales", en *La Ciencia y el Arte. Ciencias experimentales y conservación del Patrimonio Histórico*, vol. 01, 2008, p. 136.

¹² *Ídem*

en altura para ser detectada el área selecta como unidad de análisis previamente.

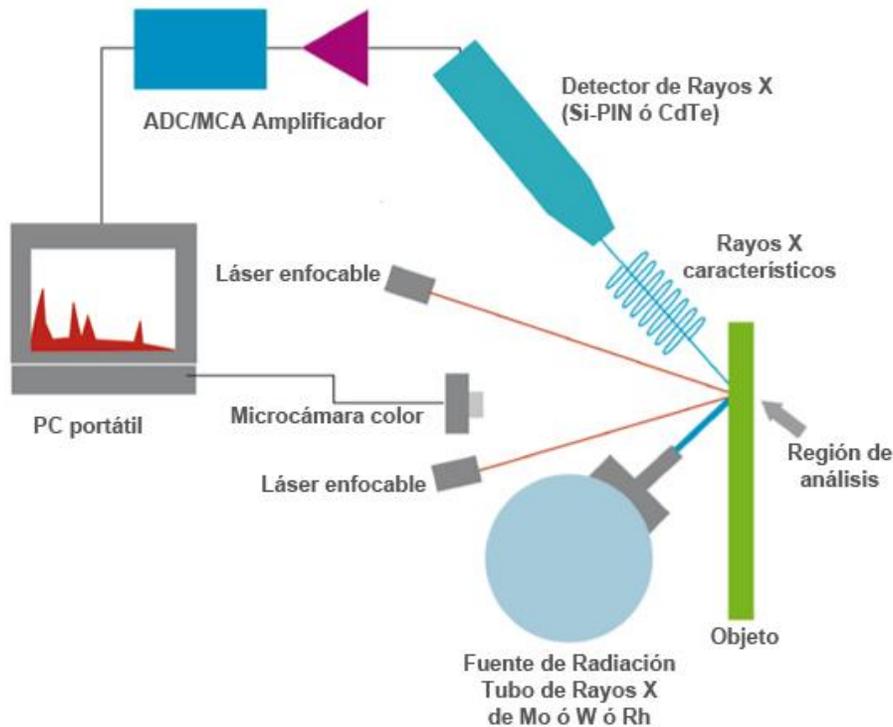


Fig. 61. Fluorescencia de Rayos X portátil XRF (sistema SANDRA)
Fuente José Luis Ruvalcaba Sil y Dulce M. Aguilar Téllez, 2017.

Se recomienda la superficie de estudio del material quede lo más horizontal posible con el fin de que sea examinado a través de la incidencia de un haz de Rayos X sin afectar el ángulo de reflexión. La información del análisis se lee a través de un software de identificación de los diferentes elementos contenidos.

En el caso del presente análisis fueron examinadas las esquirlas a través de sus dos caras: superficies deterioradas y sanas (Fig. 62), así como el análisis a las muestras de cantería sana extraídas de bancos de ignimbrita de la región urbana de Morelia.

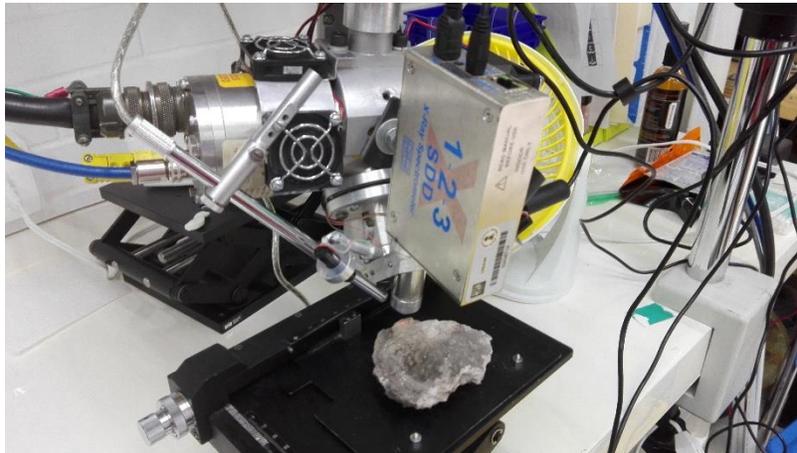


Fig. 62. Muestra de ignimbrita analizada. Fuente Aldo Zamudio Pérez, 2017.

El resultado del análisis de Fluorescencia de Rayos X portátil XRF (SANDRA) es la determinación de los elementos que componen a la estructura del material (para el caso de las muestras sanas), en el caso del estudio a las muestras deterioradas se observan los elementos adheridos a las superficies analizadas, así como el cambio de los elementos presentes en las superficies sanas (Fig. 63).

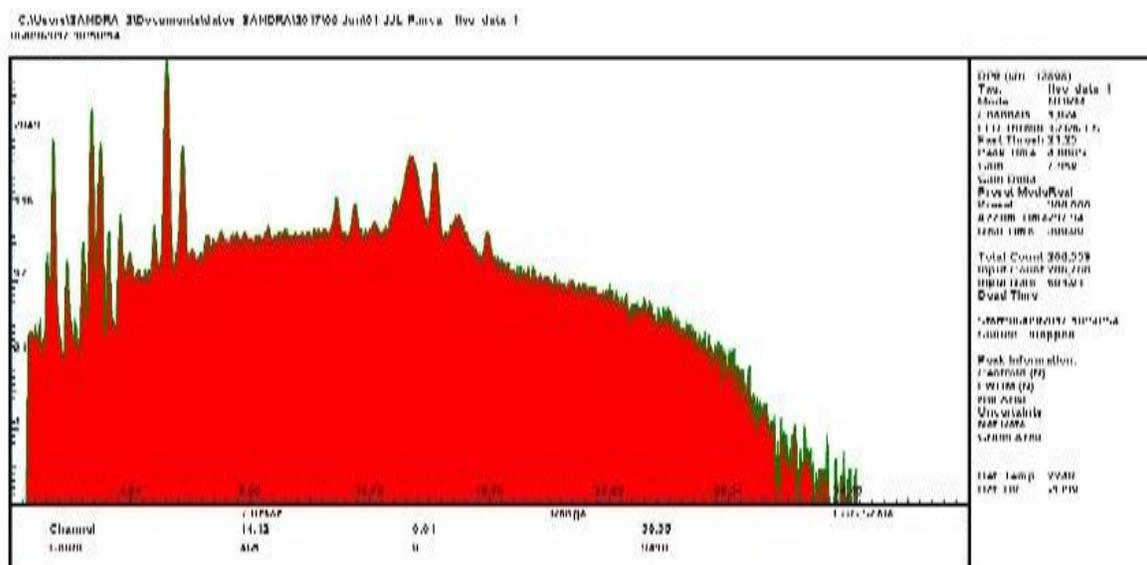


Fig. 63. Diffractograma de análisis de una muestra de ignimbrita. Fuente Aldo Zamudio Pérez, 2017.

Gracias al análisis de la ignimbrita mediante la técnica de Fluorescencia de Rayos X portátil XRF (SANDRA) se logró determinar la proporción de los elementos que componen a las diferentes muestras analizadas, así como la diversidad y porcentaje de los componentes adheridos a las muestras con determinado deterioro producto del intemperismo.

La lectura del resultado mediante el difractograma se basó en el análisis de la intensidad de los picos de difracción, los cuales corresponden a determinado elemento químico, sin embargo, se recomienda tener determinado control al momento de la reflexión ya que diversos factores pueden repercutir en el análisis y modificar los resultados.

Ejemplo de lo anterior es la lectura del difractograma con clave 19-JJL-P-01 el cual representa el análisis del polvo convertido en pastilla (Fig. 63) de la esquirla extraída de la unidad de análisis 01 correspondiente a la calle Juan José de Lejarza. La lectura del espectro de la pastilla dio como resultado valores altos de potasio (K) y hierro (Fe), seguido de Silicio (Si), Calcio (Ca) y Molibdeno (Mo), así como de elementos es menor cantidad como Aluminio (Al), Azufre (S), Titanio (Ti), Cobre (Cu), Zinc (Zn) y Bario (Ba).

En el caso anterior algunos elementos corresponden a los contenidos propiamente en la ignimbrita, sin embargo, el Molibdeno (Mo) es uno de los materiales que se encuentran en el tubo de rayos X o en la fuente de radiación (Fig. 64), el cual para este caso preciso ocupa el presente material Molibdeno (Mo).

De acuerdo a los resultados (Fig. 65) de la unidad de análisis 01 correspondiente a la calle Juan José de Lejarza, se observa la tendencia con mayor proporción de contenido el Hierro (Fe), Potasio (K) y Calcio (Ca), sin embargo, la presencia de Azufre (S) y Cloro (Cl) son elementos que

hablan acerca de la presencia del deterioro del material pétreo por cloruros y sulfatos.

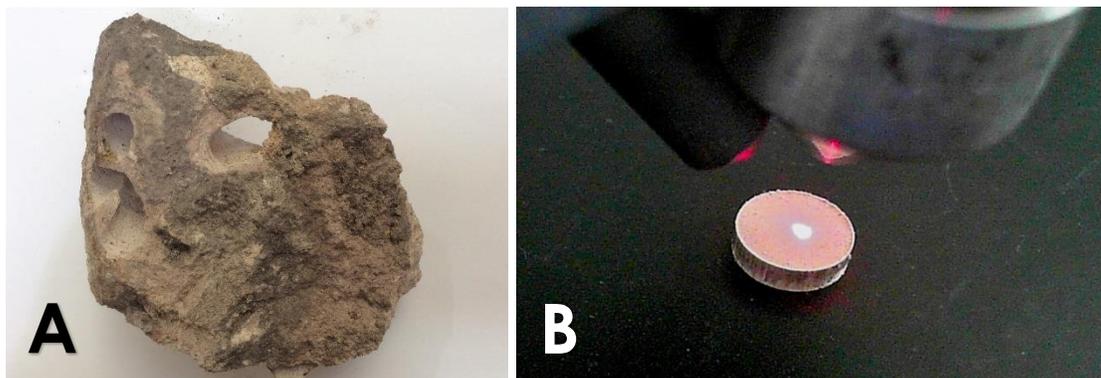


Fig. 64. (A) Esquirla de análisis de la calle Juan José de Lejarza. (B) Pastilla constituida por el polvo de ignimbrita de la misma esquirla de análisis de la calle Juan José de Lejarza. Fuente Aldo Zamudio Pérez, 2017.

Con el fin de continuar con la búsqueda y análisis de los factores que favorecen a los procesos de deterioro de la ignimbrita de Morelia se continuó realizando análisis entablado promedios de las áreas sanas en contraste con los resultados de las áreas deterioradas.

En el caso de los resultados de la (Fig. 66), mismos de la unidad de análisis planteada en los párrafos anteriores, se observó la tendencia y contraste entre los valores de los elementos de las áreas deterioradas y las sanas. En el preciso ejemplo se tiene que, la presencia de Calcio (Ca) es mayor, así como el Azufre (S) y el Cloro (Cl).

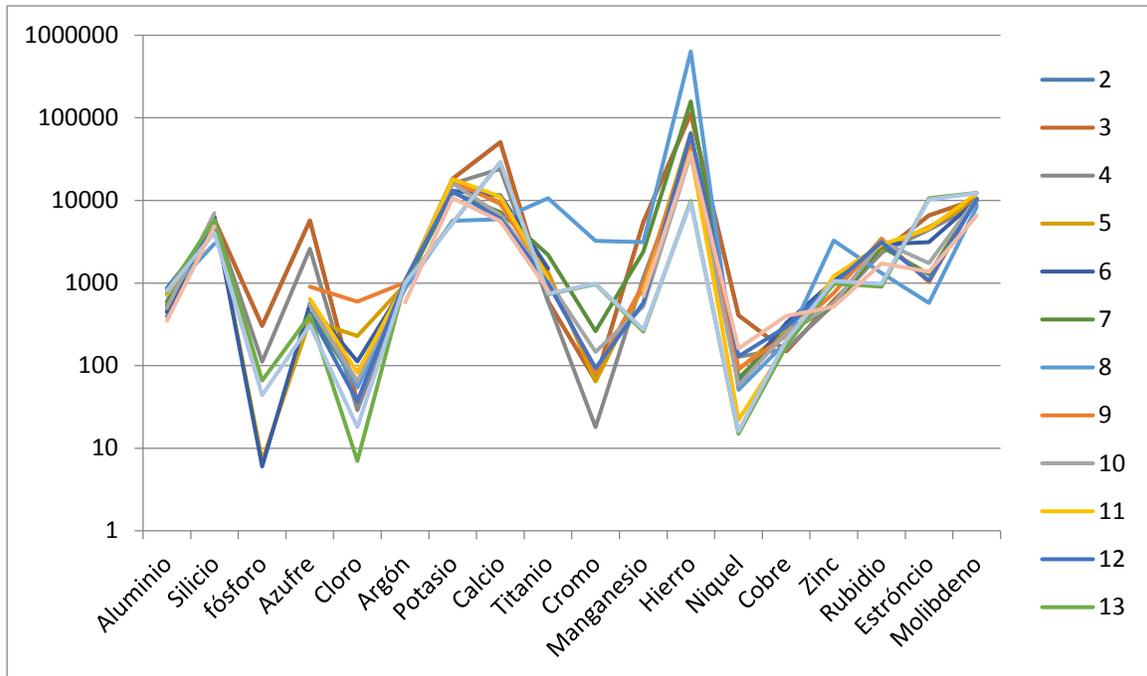


Fig. 65. Contenido elemental de unidad de análisis 01, calle Juan José de Lejarza.
Fuente Aldo Zamudio Pérez, 2017.

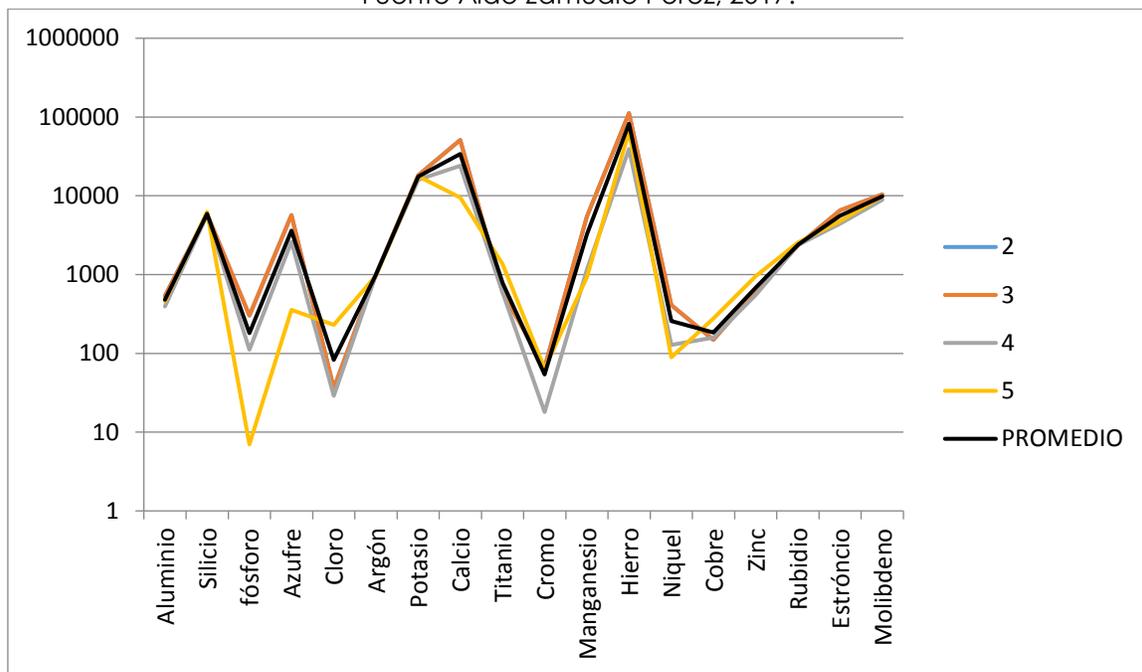


Fig. 66. Contenido elemental de unidad de análisis 01, calle Juan José de Lejarza.
Fuente Aldo Zamudio Pérez, 2017.

En el caso de los análisis establecidos con un enfoque hacia el campo de la restauración y conservación del patrimonio material el estudio de difracción de rayos X representa una garantía, lo anterior en relación con tener

determinado control de la calidad del material pétreo a integrarse, así como el monitoreo del material pétreo en sitio.

Por tanto, a través de la presente técnica en acuerdo con Sebastián Pardo¹³, la evaluación de la ignimbrita tanto en canteras aún, así como la encontrada directamente en inmuebles con valor patrimonial representa una garantía para la conservación del material.

IV.2.b Análisis por Difracción y Fluorescencia de Rayos X in situ (ADIS)

El sistema de difracción y Fluorescencia de Rayos X denomina ADIS por sus siglas *Análisis por difracción y fluorescencia de rayos X in situ*, fue desarrollada en el Instituto de Física de la UNAM por José Luis Ruvalcaba Sil para el Laboratorio Nacional de Ciencias para la Investigación y la Conservación del Patrimonio Cultural (Fig. 67).

El equipo fue diseñado para realizar trabajos en laboratorio, analizar elementos de mayor peso que el Silicio (Si) en piezas pequeñas y muestras pulverizadas, tiene la ventaja de poder realizar el análisis en poco tiempo. El equipo cuenta con un tubo de rayos X de Cobre (Cu), el detector para difracción es un detector de posición lineal (CPS) *curve position curve*, el detector para fluorescencia es un (SSD) *silicon drift*, el análisis fue realizado bajo las condiciones de 36 kV y 0.8 mA.

La técnica de difracción y fluorescencia de Rayos X se basa en la emisión de rayos X de los elementos que componen al material analizado a partir de

¹³ Eduardo Sebastián Pardo, "Interés de la difracción de Rayos X (DRX) en la conservación del patrimonio cultural", en Eduardo Sebastián Pardo (Dir.), *Cuadernos técnicos, Técnicas de diagnóstico aplicadas a la conservación de los materiales de construcción en los edificios históricos*, Sevilla, Junta de Andalucía, Consejería de Cultura, Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico, pp. 8-13.

su irradiación con un tubo de rayos X. El equipo es de alta sensibilidad (ppm), no se recomienda el estudio a mediciones de elementos ligeros.¹⁴

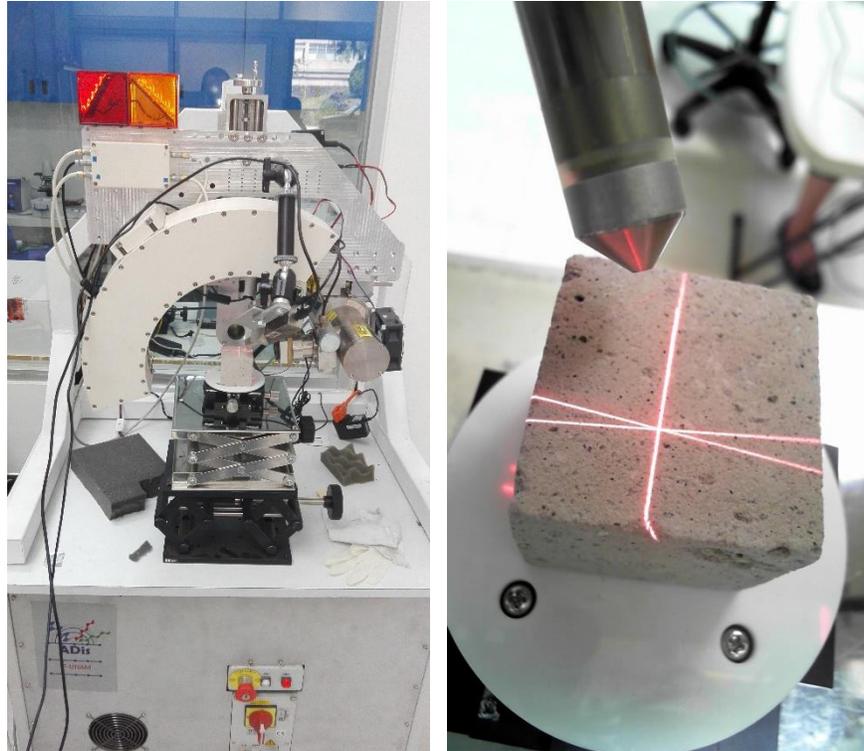


Fig. 67. Sistema de difracción y fluorescencia de Rayos X (ADIS).
Fuente Aldo Zamudio Pérez, 2017.

Para iniciar con el proceso referente a la técnica de difracción y fluorescencia de Rayos X (ADIS), se utiliza el polvo de las muestras de la (Tabla 10 y 11) el cual es colocado en porta-cristales (Fig. 68), se recomienda la superficie del material sea uniforme para que sea examinado a través de la incidencia de un haz de Rayos X con diferentes ángulos, por lo cual el

¹⁴ José Luis Ruvalcaba Sil, “El sistema de Fluorescencia de Rayos X (XIPE)” José Luis Ruvalcaba Sil (coord.) Laboratorio Nacional de Ciencias para la Investigación y Conservación del Patrimonio Cultural (LANCIC) Instituto de Física de la (Universidad Nacional Autónoma de México), [28 de mayo del 2017] <<http://www.fundacionunam.org.mx/pumarte/emplea-unam-ondas-electromagneticas-para-estudiar-pinturas/>>.

átomo se verá reflejado en todos sus planos presentes en el cristal de los minerales contenidos en el polvo.¹⁵

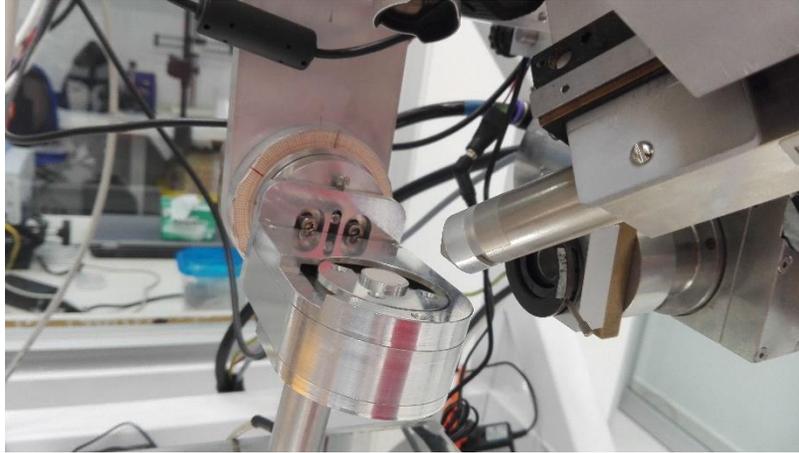


Fig. 68. Muestra de ignimbrita analizada.
Fuente Aldo Zamudio Pérez, 2017.

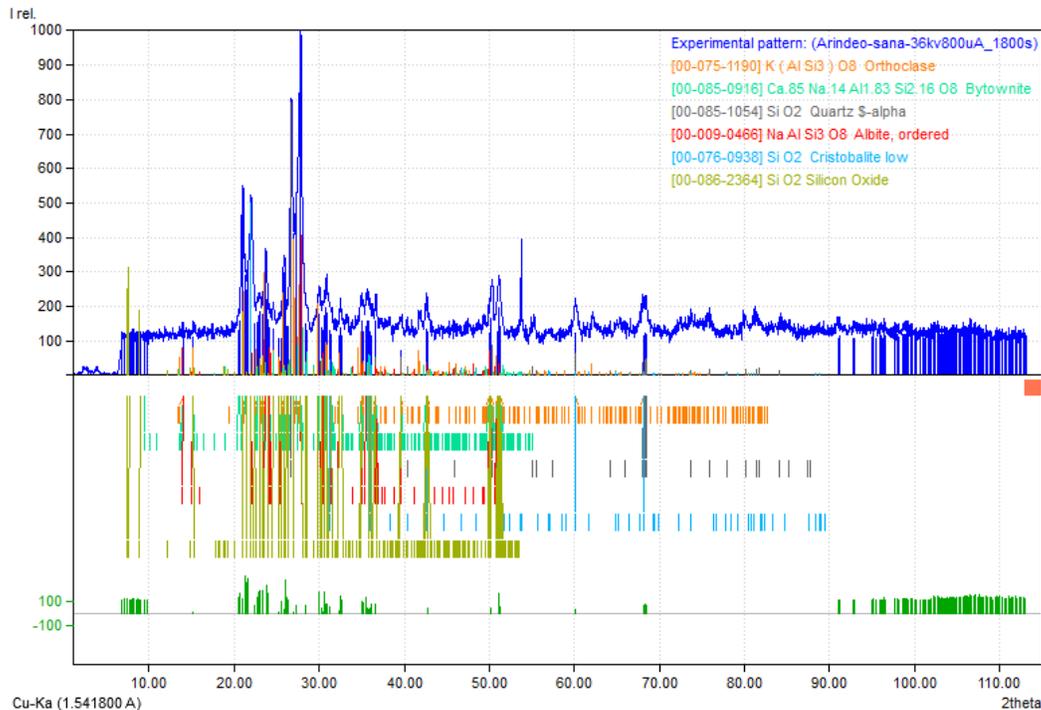
Los resultados del son evaluados mediante un difractograma, el cual es un gráfico compuesto por diversos planos en los cuales aparecen las sustancias que componen al material analizado. El identificar dichas sustancias puede partir de un software de cómputo mediante la búsqueda de similares, sin embargo, dicha tarea pasa a tener mayor grado de dificultad al analizar la ignimbrita, situación de acuerdo a la presencia de sales solubles y arcillas.

Los resultados de acuerdo a la aplicación de la técnica de difracción y fluorescencia de Rayos X (ADIS) en la muestra de la cantera de Arindeo sana muestran que en un 40.0% del total se encuentran presentes Orthoclase,¹⁶

¹⁵ Elia Mercedes Alonso Guzmán, *Propiedades físicas y mecánicas de ignimbritas del Municipio de Morelia*, Tesis de Maestría en Metalurgia y Ciencias de los Materiales, Morelia, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, 1998, p. 56.

¹⁶ Ortoclase. La ortoclase se forma durante la cristalización de las rocas ígneas; por acciones neumatolíticas e hidrotermales en vetas pegmatíticas y en drusas en las rocas, y más rara vez por cristalización de soluciones acuosas a bajas temperaturas en vetas. Es un constituyente muy común de las rocas ígneas, encontrándose con frecuencia en las rocas plutónicas más silíceas, pero también se encuentra en muchas rocas eruptivas y metamórficas. La ortoclase es tal vez el más común de todos los silicatos. Su uso se encuentra en la manufactura de porcelana, tanto en el cuerpo de la loza

con un 24.1% se encuentra la Bytownite,¹⁷ con un 17.8% se encuentra el Quartz,¹⁸ con un 13.3% se encuentra la Albite¹⁹ y con menor porcentaje 4.8% se encuentra la Cristobalite (Fig. 69).



como en el vidriado de su superficie. Fuente: Edward Salisbury Dana y William E Ford, Tratado de mineralogía, México, CECSA, 1986, pp. 584-588.

¹⁷ La Bitownita es un feldespato plagiocalaso intermedio. La Bitownita es poco común, ocurre raras veces en ciertas rocas básicas plutónicas y volcánicas. Se usa como material de ornato por los tonos de su color. Fuente: *Ibíd.*, pp. 596-597.

¹⁸ El cuarzo es un componente esencial de ciertas rocas ígneas, como el granito, granito-pórfido, cuarzo-pórfido, y riolita en el grupo del granito; en esas rocas esta comúnmente como granos sin forma o masas que llenan los intersiticios entre el feldespato, como el último producto de cristalización. Además, es un constituyente esencial en la diorita cuarzosa, la diorita de cuarzo pórfido y las dacitas en el grupo de la diorita; en los pórfidos con frecuencia en cristales precisos. Ocurre también como un accesorio en otras rocas ígneas feldespáticas, como la sienita y la traquita. Su uso se presenta en varias formas como material de ornato de acuerdo con el color del material. Fuente: *Ibíd.*, pp. 514-519.

¹⁹ La albite es un constituyente de muchas rocas ígneas, especialmente las de tipo alcalino, como granito, sienita, diorita, etc., también en las correspondientes lavas feldespáticas. Se encuentra frecuentemente en las rocas de tipo más ácido. Se utiliza igual que la ortoclasa pero no tan comúnmente empleada; algunas variedades que muestran un juego de colores opalescentes cuando se pulen forman parte del material de ornato conocido como piedra de luna. Fuente: *Ibíd.*, pp. 594-596.

Fig. 69. Difractograma de la cantera de Arindeo.
Fuente Aldo Zamudio Pérez, 2017.

IV.3 RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DEL DETERIORO EN LA IGNIMBRITA

El objetivo del presente capítulo fue determinar la micro-caracterización de la ignimbrita de la zona de urbana de Morelia mediante la aplicación de técnicas de análisis experimentales no destructivas aplicadas al material pétreo como parte del patrimonio material cultural e histórico de Morelia.

El propósito general de las técnicas fue evaluar el nivel de deterioro de la ignimbrita en relación con el diagnóstico efectuado mediante la comparación entre las muestras sanas y las deterioradas. Con base en lo anterior se observa lo siguiente.

En relación a la técnica de Microscopia Óptica aplicada a las muestras deterioradas se observó la modificación en su estructura en general, predomina la cristalización de las sales y se mantienen las costras negras en su superficie, la porosidad del material aumento, existe el predominio de micro-fisuras en la superficie, así como el aumento de cristales en la superficie.

Respecto a la técnica de Fluorescencia de Rayos X portátil XRF (SANDRA) aplicada a las muestras deterioradas y sanas se determinó la presencia de aluminio (Al), silicio (Si), fósforo (P), azufre (S), cloro (Cl), argón (Ar), potasio (K), calcio (Ca), titanio (Ti), cromo (Cr), vanadio (V), manganeso (Mn), hierro (Fe), cobre (Cu), zinc (Zn), rubidio (Rb), estroncio (Sr), niobio (Nb) y molibdeno (Mo).

Al comparar las diferentes muestras de ignimbrita en cuanto a la presencia de elementos que componen a la estructura se observó la presencia de nuevos, así como cambios en los presentes. Por otra parte, se identificó en las muestras deterioradas que el azufre (S) generalmente es el material que

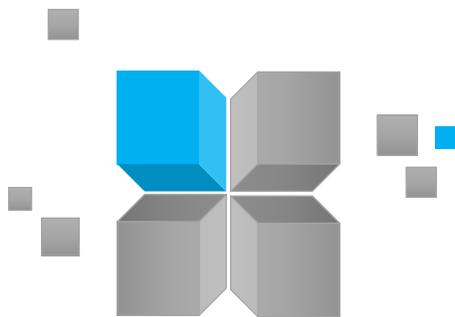


aumenta en grado de presencia, así como el aumento de aluminio (Al), silicio (Si) y potasio (K).

En el caso de las muestras de ignimbrita sanas extraídas de bancos de cantería se observaron los niveles de los diferentes elementos que aparecen en las muestras deterioradas, en resumen, se puede decir que el nivel de calcio (Ca) y titanio (Ti) aparecen con mayor índice.

De acuerdo con lo anterior se puede diagnosticar que, una vez que la ignimbrita se integra en los inmuebles, sin ningún elemento de protección que contrarresten a los mecanismos de deterioro por el efecto del intemperismo, comienzan a presentarse ciclos de pérdida de calcio (Ca) y titanio (Ti), situación que desfavorece a la ignimbrita pasando a ser vulnerable.

Conclusiones



CONCLUSIONES

A menudo el patrimonio edificado presenta diversos problemas que afectan la calidad de los materiales [...]. Esta situación se debe a la acción de diversos agentes que erosionan tanto la superficie como el interior de las estructuras, provocando lo que comúnmente se conoce como “patologías en la construcción”.¹

Fernando López

¹ Fernando López, “Patologías en la construcción. Claves para enfrentar el deterioro de los materiales”, en *Revista EMB Construcción*, Diciembre 2003, p. 01-04.

CONCLUSIONES

En la actualidad gracias a investigaciones pasadas, se tiene el diagnóstico acerca del detrimento de la calidad de los materiales naturales presentes en edificaciones de carácter histórico patrimonial, lo anterior de acuerdo con la presencia de diversos agentes de deterioro ambientales, así como por la influencia que genera la sociedad y sus actividades cotidianas de manera directa e indirectamente.

El resultado y efecto observado sobre los materiales pétreos producto de la suma entre los efectos de deterioro tanto naturales como por el efecto antropogénico provoca a consecuencia determinada vulnerabilidad del material, sin embargo, no se debe generalizar la problemática, de acuerdo con las características observadas en la ignimbrita; no toda se deteriora de igual forma.

A raíz de observar y analizar el deterioro del material pétreo comúnmente integrado en los inmuebles patrimoniales de Morelia se abordó en los capítulos la forma en la cual se activa y desarrolla el deterioro que actualmente aqueja al material.

La finalidad de la presente investigación en una primera etapa fue realizar el diagnóstico de las causas que producen el estado de conservación que hoy en día se observa en la ignimbrita; principalmente en la zona zoclo de las fachadas principales.

En una segunda etapa se realizó el análisis del proceso de deterioro activo en el material. Ambas etapas contribuyeron con la construcción del discurso en relación con el cambio de las propiedades tanto físicas, como mecánicas y químicas de la ignimbrita.

Dentro de la fábrica del conjunto de inmuebles catalogados de la zona de monumentos históricos de Morelia, así como en los procesos de restauración,

conservación e intervención de inmuebles de carácter histórico, tienen en común la integración de cantería (ignimbrita), la cual tuvo gran influencia de uso por encontrarse dentro de la zona urbana de la ciudad. Cabe señalar que dicha actividad en la actualidad ha permanecido dentro de la construcción de edificaciones contemporáneas.

Sin embargo, cabe hacer mención que en muchos de los casos la integración del material pétreo se realiza sin el conocimiento de las propiedades (físicas y mecánicas) que ofrece el mismo, comúnmente la selección del material se lleva a cabo en relación a la estética en cuanto a su apariencia (color).

Conocer las características que ofrece la ignimbrita extraída de la zona urbana de Morelia a través de la metodología abordada en el presente trabajo contribuye con la divulgación de las ventajas y las posibles garantías del material pétreo a futuro. Una establecida la selección del material de acuerdo con diagnóstico presente en el capítulo tres y cuatro se puede contribuir a la visión de mayor durabilidad y menor mantenimiento del material.

El análisis de los resultados a través de la información contenida en los anteriores capítulos dentro de la presente investigación, se apega a la teoría de la conservación del patrimonio edificado a través de la preservación de sus materiales de fábrica. Parte del interés del tema y su desarrollo se presentó por comprender los mecanismos que afectan al patrimonio edificado en cuanto a sus materiales de fábrica.

Por otra parte la investigación arrojó información para el desarrollo de procesos de conservación, lo anterior con la perspectiva del frene o retardo de dichos procesos de deterioro. Parte de los investigadores internacionales

así como locales recomiendan no perder de vista que los materiales pétreos contienen determinada estructura heterogénea.

Al entender que la estructura de los materiales pétreos es diversa en su composición se debe observar que su selección, comportamiento, deterioro y procesos de conservación implican el análisis y estudio detallado por individual, es decir, su estabilidad dependerá de la solución de acuerdo a cada caso propio, y no verse de forma general o aplicar soluciones improvisadas.

Además de la búsqueda y análisis de mecanismos de deterioro de la ignimbrita de Morelia, así como la repercusión en el estado de conservación de la misma, la cantería fue analizada de forma individual y grupal a través de diferentes técnicas con el objetivo de observar su comportamiento y alteración. Lo anterior de acuerdo a recomendaciones por parte de investigadores internacionales y locales.

El análisis de la ignimbrita de Morelia se llevó a cabo mediante dos fases de investigación en laboratorio, por una parte, fueron selectas cuatro canteras de la zona urbana de Morelia, mismas que fueron bancos utilizados para la fabricación de inmuebles históricos de la zona.

Por otra parte, dos de los cuatro bancos seleccionados actualmente se mantienen activos (Arindeo y Cointzio), seleccionando ignimbrita para obras de restauración y conservación como de fábrica actual. Los otros dos bancos seleccionados (Barreno y Tejocote) actualmente se encuentran cerrados, es decir, no extraen material de estos por su ubicación, ya que hoy en día son canteras ubicadas dentro del casco histórico de la ciudad.

Con el objetivo de comprobar los mecanismos de deterioro de la ignimbrita, a través del diagnóstico de técnicas micro-estructurales elementales aplicadas en laboratorio, se extrajeron muestras representativas de

ignimbrita deteriorada (esquirlas), estas mismas fueron obtenidas directamente de las unidades de análisis, así como de inmuebles históricos catalogados representativos de Morelia.

Una vez que los ensayos y técnicas de investigación en laboratorio fueron aplicados a canterías sanas y deterioradas se logró identificar:

- El comportamiento de la cantería sana.
- Las ventajas que representa cada banco de cantería, para su integración en proyectos de restauración u obras nuevas.
- La vulnerabilidad que cada tipo de cantería presenta de acuerdo a eventos naturales de alteración como: saturación de agua, absorción de agua, presencia de sales, etc.
- El comportamiento físico y mecánico de los bancos de cantería.
- La pérdida de elementos de su conjunto, lo cual origina la amplificación o frene a mecanismos de deterioro en la ignimbrita.
- La heterogeneidad de los bancos de análisis de ignimbrita de Morelia.

Indudablemente el empleo de ignimbritas en Morelia específicamente en la zona de monumentos históricos de la ciudad, es una actividad que permanecerá, ello mientras que el material permita su extracción y comercialización. Lo anterior desde el punto de vista de políticas y planes de restauración y conservación del patrimonio, mientras que por otro lado existe socialmente el agrado por integrar el material natural, lo anterior de acuerdo a la idea de mantener a la ciudad de Morelia como ciudad de cantera rosa.

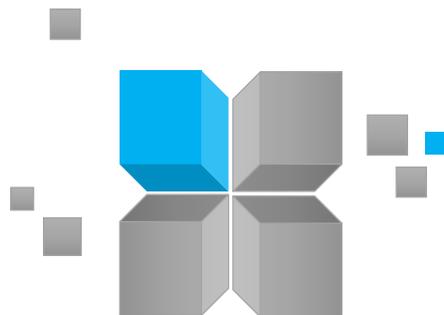
Gracias a los procesos de experimentación y evaluación de la ignimbrita efectuados en la presente investigación se logró determinar las garantías y debilidades del material, así como entender la forma en la cual el material transforma sus propiedades, para llegar a presentar cambios en su composición.

Al realizar la prospección del área de estudio se logró observar el deterioro de la ignimbrita con mayor presencia en la parte baja de las fachadas principales, comúnmente conocida como zoclo o base. Lo anterior originado de acuerdo con la exposición de la ignimbrita totalmente a los efectos de la intemperie, situación por la cual el material transforma sus propias características ya sea de forma natural, así como por las consecuencias que dejan a su paso el conjunto de elementos urbanos, la carga de los factores ambientales y la contaminación ambiental a causa del tránsito vial.

Por otra parte, se observó que el comportamiento de la ignimbrita surge de forma distinta, ello depende en gran parte de las propiedades que presenta cada banco, situación por la cual el estado de conservación de las fachadas hoy en día contiene diferentes deterioros dentro del material, no es igual la alteración entre una piedra que en otra, así como en un área que en otra, a pesar de ubicarse en la misma fachada.

Determinar la vulnerabilidad de la ignimbrita depositada en su totalidad en cada una de las fachadas de los inmuebles es una de las cuestiones a realizarse con el fin de obtener un dato total de deterioro, situación por la cual el análisis del deterioro de la ignimbrita en sitio requiere de la aplicación de una metodología que implique menor tiempo de aplicación.

Bibliografía



BIBLIOGRAFÍA

Abarca Rodríguez, Allan, "Las políticas públicas como perspectiva de análisis", en *Ciencias Sociales*, Vol. III, No. 97, 2002.

Alonso Guzmán, Elia Mercedes (coord.), *Conservación de materiales de interés histórico y artístico*, Morelia, Red temática PROMEP para la conservación de materiales de interés histórico y artístico, 2013.

Alonso Guzman, Elia Mercedes y L. Martinez, "The role of environmental sulfur on degradation of ignimbrites of the Cathedral in Morelia, Mexico", en *Building and Environment*, No. 38, 2003.

Alonso Guzmán, Elia Mercedes, *et al*, "Calidad del aire en cuatro ciudades de Michoacán, México: su efecto sobre materiales de construcción", en *Revista de la Construcción*, Vol. 6, No. 2, 2007.

Alonso Guzmán, Elia Mercedes, *Propiedades físicas y mecánicas de ignimbritas del Municipio de Morelia*, Tesis de Maestría en Metalurgia y Ciencias de los Materiales, Morelia, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, 1998.

Alonso, Francisco J, Alonso, L. y Vázquez, Patricia, "Propiedades hídricas y anisotropía en rocas sedimentarias porosas", en *Geotemas*, Vol. 13, 2012.

Alonso, Francisco Javier, *et al*, "Análisis del deterioro en los materiales pétreos de edificación", en *RECOPAR*, No. 3, septiembre 2006.

Alonso, Francisco, Alonso, J. y Vázquez, Patricia, "Propiedades hídricas y anisotropía en rocas sedimentarias porosas", en *Geotemas*, Vol. 13, 2012, p. 01.

Álvarez de Buergo, Mónica, "Casos prácticos de la petrología aplicada a la conservación de materiales pétreos del patrimonio", en *Actas de las III jornadas técnicas durabilidad y conservación de materiales tradicionales naturales del patrimonio arquitectónico*, Cáceres, abril de 2008.

Arnal Simón, Luis y Betancourt Suárez, Max, *Reglamento de construcciones para el Distrito Federal*, México, Editorial Trillas, 2005.

Arreola Cortes, Raúl, *Morelia*, Morelia, México, Morevallado Editores, 1991.

Askeland, Donald R., *Ciencia e ingeniería de los materiales*, México, International Thomson Editores, 1998.

Benavente García, David, *Modelización y estimación de la durabilidad de materiales pétreos porosos frente a la cristalización de sales*, Tesis de Doctorado en Ciencias, España, Universidad de Alicante, Departamento de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente, Facultad de ciencias, 2002.

Benavente García, David, "Propiedades físicas y utilización de rocas ornamentales", en M^a Ángeles García del Cura y Juan Carlos Cañaveras (coord.), *Utilización de rocas y minerales industriales*, Alicante España, Universidad de Alicante, 2006.

Benavente García, David, *et al*, "Salt damage and microclimate in the Postumius Tomb, Roman Necropolis of Carmona, Spain" en *Environmental Earth Sciences*, vol. 63, no. 7-8, 2011.

Bigioggero, Biagio, *et al*, "La "piedra de cantera" de Morelia desarrollo entre la tradición y la cultura: un acercamiento geológico y una alternativa" en Víctor Hugo Garduño Monroy

(ed.), *Contribuciones a la geología e impacto ambiental de Morelia*, Morelia, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Instituto de Investigaciones Metalúrgicas, 2004.

Chávez Vega, Juan Antonio y Álvarez Rodríguez, Odalys, *Patología, diagnóstico y rehabilitación de edificaciones*, Morelia, México, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, 2008.

Coscollano Rodríguez, José, *Restauración y Rehabilitación de Edificios*, España, Editorial THOMSON PARANINFO, 2003.

Coscollano Rodríguez, José, *Tratamiento de las humedades en los Edificios*, España, Editorial THOMSON PARANINFO, 2001.

Cultrone, Giuseppe y Sebastian, Eduardo, "Laboratoy simulation showing the influence of salt efflorescence on the weathering of composite building materials" en *Environmental Geology*, No. 56, 2008.

De la Torre López, María José, "Propiedades hídricas de los materiales lapídeos. Ensayos" en Eduardo, Sebastián Pardo (Dir.), *Cuadernos técnicos, Técnicas de diagnóstico aplicadas a la conservación de los materiales de construcción en los edificios históricos*, Sevilla, Junta de Andalucía, Consejería de Cultura, Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico.

De Sahagún, Bernardino, *Libro decimo de los vicios y virtudes de la gente indiana y de los miembros de todo el cuerpo interiores y exteriores y de las enfermedades y medicinas contrarias y de las naciones que a esta tierra han venido a poblar, 1499-1590*, Biblioteca Digital Mundial, Historia general de las cosas de Nueva España por el fray Bernardino de Sahagún: el Códice Florentino, p. 20. Consulta [29 de Abril 2017], <<https://www.wdl.org/es/item/10621/view/1/1/>>.

Díaz-Berrio Salvador y Orive B. Olga, "Terminología general en materia de conservación del patrimonio cultural prehispánico", en *Cuadernos de arquitectura mesoamericana*, División de estudios de posgrado, Facultad de Arquitectura UNAM, No. 3, Diciembre 1984.

Ebert Alumany Rosa María, "Criterios de intervención en materiales pétreos", en *España, Criterios de intervención en materiales pétreos*, No. 2, 2002.

Ebert Alumany, Rosa María, "La petrofísica en la interpretación del deterioro y la conservación de la piedra de edificación", en *Trabajos de Geología*, No 28, Universidad de Oviedo, 2008.

Etfinger Mc Enulty, Catherine Rose y García Espinosa, Salvador (coord.), *Michoacán: Arquitectura y Urbanismo. Patrimonio en Transformación, Morelia Michoacán*, División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Arquitectura, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, 2008.

Eftinger Mc Enulty, Catherine Rose, *et al*, *Visita guiada a la arquitectura del siglo XX en Morelia*, Morelia, CONACULTA, UMNSH, Ayuntamiento de Morelia y Gobierno del Estado de Michoacán, 2014.

Fitzner, Bernd y Heinrichs, Kurt, "Diagnóstico de daños en monumentos pétreos: documentación, mapeo y registro" en Eduardo, Sebastián Pardo (Dir.), *Cuadernos técnicos, Técnicas de diagnóstico aplicadas a la conservación de los materiales de construcción en los edificios históricos*, Sevilla, Junta de Andalucía, Consejería de Cultura, Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico.

Flores Alés, Vicente, (Ed. Lit.), *Construcción y medio ambiente*, Sevilla, Fundación Aparejadores, 2001.

Fort González, Rafael, "El Programa Geomateriales: objetivos y logros" en Fort González, Rafael y Pérez-Monserrat, Elena M., (coords.), *Reunión Científica del Programa Geomateriales. Durabilidad y conservación de Geomateriales del patrimonio edificado*, Programa de Geomateriales e Instituto de Geociencias IGEO (CSIC, UCM), Conferencia llevada a cabo en Madrid, España, marzo 2014.

Fort González, Rafael, "La contaminación atmosférica en el deterioro del patrimonio monumental: medidas de prevención" en *Ciencia, Tecnología y Sociedad para una conservación sostenible del patrimonio pétreo*, San Sebastián de los Reyes, España, Universidad Popular José Hierro y Delegación de Cultura del Ayuntamiento de San Sebastián de los Reyes, 2007.

Fort González, Rafael, "La piedra natural y su presencia en el Patrimonio Histórico", en *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, Vol. 18, No. 03, 2010, p. 265.

Fort González, Rafael, *et al*, "Influencia de la anisotropía en la durabilidad de las dolomías Cretácicas de la Comunidad de Madrid frente a la cristalización de sales", en *Materiales de Construcción*, Vol. 58, No. 58, enero-junio 2008.

Fuentes Farías, Francisco Javier, "Constructores y paisajes de una ciudad histórica" en *Revista Contexto*, Vol. 11, No. 10, 2015.

García Fernández, Estrellita, Vaca, Agustín y Azevedo Salomao, Eugenia María, (Coord.), *Espacios habitables, memoria y construcción del patrimonio*, Zapopan Jalisco, El Colegio de Jalisco, 2013.

Gómez Heras, Miguel y Fort, Rafael, "Patterns of halite (NaCl) crystallisation in building stone conditioned by laboratory heating regimes" en *Environmental Geology*, No. 52, 2007.

Gómez Heras, Miguel, *Procesos y formas de deterioro térmico en piedra natural del patrimonio arquitectónico*, Tesis de Doctorado en Petrología y Geoquímica, Madrid España, Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Ciencias Geológicas, 2005.

Gómez Orea, Domingo y Gómez Villarino, Ma. Teresa, *Evaluación de impacto ambiental*, Madrid, Ediciones Mundiprensa, 2013.

González Durand, Berenice, "Lo que la lluvia ácida se llevó", Diario EL UNIVERSAL, 06 de julio de 2015, [enero 2017], <<http://www.eluniversal.com.mx/articulo/ciencia-y-salud/ciencia/2015/07/6/lo-que-la-lluvia-acida-se-llevo>>.

González Galván, Manuel, "Morelia; autenticidades y ocultamientos" en *Morelia 460*, cuatrimestral Mayo-Agosto, No. 2, 2001.

Hermosin Campos, Bernardo, *Efectos de la contaminación atmosférica sobre el patrimonio histórico, deposición de compuestos orgánicos y formación de costras negras sulfatadas*, Tesis de Doctorado en Ciencias Químicas, España, Universidad de Sevilla, Facultad de Química, 1995.

Hernández Orejel, F. F., Barba Covarrubias, J. M., Dávalos Chávez, Martínez Ruiz, G. y Rojas Rojas, R., "*Propiedades dinámicas experimentales para edificios históricos de la ciudad de Morelia*", en Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica, XIX Congreso Nacional De Ingeniería Sísmica, Aguascalientes, Aguascalientes, 2011.

Hernández Orejel, Francisco Filogonio, *et al.*, "Propiedades dinámicas experimentales para edificios históricos de la ciudad de Morelia", en Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica, XIX Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, 2011, Aguascalientes, Aguascalientes.

Hiriart Pardo, Carlos Alberto (Coord.), *Patrimonio edificado, turismo y gestión de poblaciones históricas ante el siglo XXI. Estudios sobre la protección, conservación, restauración y gestión turística del patrimonio urbano, arquitectónico y religioso*, Morelia, Michoacán, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, 2009.

Ibarra Sevilla, Benjamín, *El arte de la cantería Mixteca*, México, Universidad Nacional Autónoma de México, 2014.

Javier Alonso, Francisco, *et al.*, "Análisis del deterioro en los materiales pétreos de edificación", en *RECOPAR*, No. 03, Septiembre 2006.

Kobal, Edel, "Patrimonio ambiental y desarrollo sostenible" en Centro de Investigaciones y Estudios Turísticos, CIET Argentina, 2002.

Laborde Marqueza, Ana (coord.), *Proyecto COREMANS: Criterios de intervención en materiales pétreos*, España, 2013.

Leff, Enrique, "Pensamiento Ambiental Latinoamericano", VI Congreso Iberoamericano de Educación Ambiental, San Clemente de Tuyú, Argentina, 19 de Septiembre de 2009.

Lima Paúl, Gabriela, Patrimonio cultural regional: estudio comparativo sobre la legislación protectora en las 32 entidades Federativas Mexicanas, en *Derecho y Cultura*, No. 9, marzo-agosto de 2003.

López Jaén, Juan, "Rehabilitación: concepción y metodología", en EL PROYECTO, Curso de Rehabilitación, COAM, Madrid, 1985.

Maguregue, Maite, *et al*, "Analytical diagnosis methodology to evaluate nitrate impact on historical building materials" en *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, No. 391, 2008.

Maletta, Héctor, *Epistemología aplicada: Metodología y técnicas de la producción científica*, Lima, CIESCEPES-Universidad del Pacífico, 2009.

Maravelaki-Kalaitzaki, Pagona-Noni, "Black crusts and patinas on Pentelic marble from the Parthenon and Erechtheum (Acropolis, Athens): characterization and origin", en *Analytica chimica acta*, Vol. 532, No. 2, 2005.

Maravelaki-Kalaitzaki, Pagona-Noni, *et al*, "Optical inspection for quantification of decay on stone surfaces", en *NDT & E International*, Vol. 40, No. 1, 2007.

Marqueza, Ana Laborde, *et al*, "Criterios de intervención en materiales pétreos", en Ana Laborde Marqueza (coord.), *Proyecto COREMANS: Criterios de intervención en materiales pétreos*, España, 2013.

Martinez Molina, Wilfrido, *et al*, "Damaged and healthy Ignimbrites from the surroundings of Morelia, Mexico; use form restoration of the colonial inheritance", en *Advanced Materials Reserch*, Vol. 889-890, 2014.

Memoria del primer foro internacional, *La piedra de cantera en Morelia. Retrospectiva y Perspectivas*.

Mercado López, Eugenio, "Conservación del patrimonio edificado y políticas públicas: del concepto a la práctica en el estado de Michoacán, México", en *Palapa*, Vol. V, No. II, Julio-Diciembre 2010.

Mercado López, Eugenio, "Conservación del patrimonio edificado y políticas públicas: del concepto a la práctica en el estado de Michoacán, México", en *Palapa*, Vol. V, No. II, julio-diciembre 2010.

Mercado López, Eugenio, *Ideología, Legislación y Patrimonio Cultural, Legislación local para la conservación del patrimonio urbano-arquitectónico en Morelia, 1985-2001*, Morelia, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, 2013.

Montoto San Miguel, Modesto, "Técnicas no destructivas aplicadas a la conservación del patrimonio histórico", en *Cuadernos Técnicos*, No. 02, Consejería de Cultura, Junta de Andalucía, España.

N., Aira, *et al.* "Gas chromatography applied to cultural heritage: Analysis of dark patinas on granite surfaces", en *Journal of Chromatography A*, Vol. 1147, No. 01, 2007.

Navarrete Seras, Marco Antonio, *et al.*, "Caracterización de propiedades físico-mecánicas de rocas ígneas utilizadas en obras de infraestructura" en *Revista de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción*, Vol. 03, No. 02, mayo-agosto 2013.

Navarro Gascón, José Vicente, "Aplicaciones de la difracción de rayos X al estudio de los Bienes Culturales", en *La Ciencia y el Arte. Ciencias experimentales y conservación del Patrimonio Histórico*, Vol. 01, 2008.

Navarro Sánchez, Luis Manuel, *Análisis de materiales*, Morelia, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, primera edición 2000.

Nesamani, K. S., *et al.*, "Estimation of vehicular emissions by capturing traffic variations", en *Atmospheric Environment*, No. 41, 2007.

Noelle, Louise, (ed.), *La Ciudad: Problema integral de preservación patrimonial*, México, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Estéticas, 2004.

Orea Magaña, Haydeé y Palacios Uribe, Jimena, "Análisis del deterioro de los elementos labrados del Edificio 33 de Yachilán, Chiapas: un estudio representativo del intemperismo de las rocas calizas de la región del Usumacinta" en *Revista Intervención*, No. 07, Año 04, enero-julio 2013.

Orea Magaña, Haydeé y Palacios Uribe, Jimena, "Análisis del deterioro de los elementos labrados del Edificio 33 de Yachilán, Chiapas: un estudio representativo del intemperismo de las rocas calizas de la región del Usumacinta" en *Revista Intervención*, No. 7, Año 4, enero-julio 2013.

Ortega Calvo, J. J., *et al.*, "Factors affecting the weathering and colonization of monument by phototrophic microorganisms" en *Science of the Total Environment*, vol. 167, no. 01, 1995.

Ortega Huertas, M. y de la Torre López, M. J., "La microscopía electrónica de barrido. Aplicaciones en el estudio y conservación del patrimonio histórico" en Eduardo, Sebastián Pardo (Dir.), *Cuadernos técnicos, Técnicas de diagnóstico aplicadas a la conservación de los materiales de construcción en los edificios históricos*, Sevilla, Junta de Andalucía, Consejería de Cultura, Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico.

Ostroumov M., *et al.*, "Mineralogía y geoquímica de los procesos de degradación en Monumentos históricos: primer acercamiento a un caso mexicano (Morelia, Michoacán)", en *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, Vol. 20, No. 3, 2003.

Palomar Sanz, Teresa, *et al.*, "Patologías y estudio analítico de materiales procedentes de mosaicos de Carmona Itálica" en *Materiales de Construcción*, vol. 61, no. 304, octubre-diciembre 2011.

Peña Chacón, Mario, "Daño ambiental y prescripción" en *Revista Judicial*, No. 109, Septiembre 2013.

Prieto-Taboada, Nagore, *et al*, "Spectroscopic evaluation of the environmental impact on black crusted modern mortars in urban-industrial areas" en *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, No. 399, 2011.

Prikryl Richard y Akos Török, "Natural stones for monuments: their availability for restoration and evaluation", en *Geological Society, London, Special Publications*, Vol. 333, No. 1, 2010.

Prikryl Richard, *et al*, "Pravcice rock arch (Bohemian Switzerland National Park, Czech Republic) deterioration due to natural and anthropogenic weathering", en *Environmental Earth Sciences*, Vol. 63, No. 7-8, 2011.

Ramírez Montes, Mina, *La escuadra y el cincel*, México, Universidad Nacional Autónoma de México, 1987.

Ramírez Romero, Esperanza, "*Catálogo de construcciones artísticas, civiles y religiosas de Morelia*", Morelia Michoacán, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, 1981.

Rendón Guillén, Alberto, "Morelia y su desarrollo urbano a través del tiempo", en *Morelia 460*, no. 2, mayo-agosto 2001.

Ruvalcaba Sil, José Luis, "El sistema de Fluorescencia de Rayos X (XIPE)" José Luis Ruvalcaba Sil (coord.) Laboratorio Nacional de Ciencias para la Investigación y Conservación del Patrimonio Cultural (LANCIC) Instituto de Física de la (Universidad Nacional Autónoma de México), [28 de mayo del 2017] <<http://www.fundacionunam.org.mx/pumarte/emplea-unam-ondas-electromagneticas-para-estudiar-pinturas/>>.

Ruvalcaba Sil, José Luis, "Estudio no destructivo de metales: técnicas basadas en Rayos X característicos (XRF, EDX y PIXE)" en *Notas Corrosivas. Memoria del 3er Congreso Latinoamericano de Restauración de Metales*, Ciudad de México, Septiembre 2009.

Ruvalcaba Sil, José Luis, *et al*, "SANDRA: a portable XRF system for the study of Mexican cultural heritage" en *X-RAY SPECTROMETRY*, Vol. 39, September/October, 2010.

Sánchez Martínez, Manuel y Álvarez Gasca, Dolores Elena, "El papel de la Química en la restauración de monumentos", en *Acta Universitaria*, Vol. 21, No. 4, septiembre 2011.

Salisbury Dana, Edward y Ford, William E., *Tratado de mineralogía*, México, CECSA, 1986.

Sánchez Moral, S., *et al*, "Deterioration of building materials in Roman catacombs: The influence of visitor" en *Science of The Total Environment*, vol. 349, October 2005.

Sebastián Pardo, Eduardo, (Dir.), Cuadernos técnicos, Técnicas de diagnóstico aplicadas a la conservación de los materiales de construcción en los edificios históricos, Sevilla, Junta de Andalucía, Consejería de Cultura, Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico.

Shalabi Faisal, I., Edward J. Cording, Omar H. Al-Hattamleh, "Estimation of rock engineering properties using hardness test", en *Engineering Geology*, No. 90, 2007.

Siegemund, Siegfried, "Building Stones", en Siegfried Siegemund y Rolf Snethlage (eds), *Stone in Architecture. Properties & Durability*, London, Library of Congress, 2014.

Siegemund, Siegfried, "Building Stones", en Siegfried Siegemund y Rolf Snethlage (eds), *Stone in architecture. Properties & durability*, London, Library of Congress, 2014.

Siegemund, Siegfried, *et al*, "The effect of air pollution on stone decay: The decay of the Drachenfels trachyte in industrial, urban, and rural environments, a case study of the Cologne, Altenberg and Xanten cathedrals", en *Environmental earth sciences*, Vol. 69, No. 4, 2013.

Siegesmund, Siegfried, Weiss, Thomas y Vollbrecht, Axel, "Natural stone, weathering phenomena, conservation strategies and case studies: introduction" en *The Geological Society of London*, No. 205, 2002.

Silva Ruelas, Luis, *Los materiales de construcción en la antigua Valladolid*, Morelia, Gobierno del estado de Michoacán, Secretaria de Comunicaciones y Obras Públicas, 1990.

Silva, Benita, *et al*, "Chemical composition and origin of black patinas on granite", en *Science of the Total Environment*, Vol. 408, No. 1, 2009.

Silva, Ruelas, Luis, *Los acabados en los muros de la antigua Valladolid*, Morelia, México, Gobierno del Estado de Michoacán, Secretaria de Comunicaciones y Obras Publicas, 1991.

Snethlage, Rolf, "Stone Conservation", en Siegfried Siegemund y Rolf Snethlage (eds), *Stone in Architecture. Properties & Durability*, London, Library of Congress, 2014.

Snethlage, Rolf, *Leitfaden Steinkonservierung: Planung von Untersuchungen und Maßnahmen zur Erhaltung von Denkmälern aus Naturstein*, Fraunhofer-IRB-Verlag, 2013.

Sotelo Navalpotro, José A., "Problemas ecológicos de la conservación del patrimonio y del medio ambiente" en *Anales de la Geografía de la Universidad Complutense*, Vol. 20, 2000.

Tamayo y Tamayo, Mario, *El proceso de la investigación científica: incluye evaluación y administración de proyectos de investigación*, 4ª. Ed., México, Editorial LIMUSA, 2004.

Tétreault, Jean, *Contaminantes*, Canadian Conservation Institute, ICCROM, 2009.

Török Ákos, "Deterioration-related changes in physical properties and mineralogy of limestone monuments", en *The Geological Society of London*, No. 297, 2006.

Török Ákos, "Surface strength and mineralogy of weathering crusts on limestone buildings in Budapest", en *Building and Environment*, No. 38, 2003.

Torraca Giorgio, "General philosophy of stone conservation", en *The deterioration and conservation of stone: notes from the International Venetian Courses on Stone Restoration*, UNESCO, Paris, 1988.

Tortolero Alejandro, "El agua y la historia medioambiental: revisión historiográfica y estudios de caso", en *Iztapalapa*, revista semestral publicada por la División de Ciencias Sociales y Humanidades de la Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa, No. 50, enero-junio 2001.

Vandevoorde, Delphine, *et al*, "Validación of in situ applicable measuring techniques for analysis of the water adsorption by stone" en *Procedia Chemistry*, No. 8, 2013.

Varas Muriel, Ma. José, *et al*, "Canteras y monumentos históricos: un recurso didáctico", en *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, Vol. 18, No. 3, 2010.

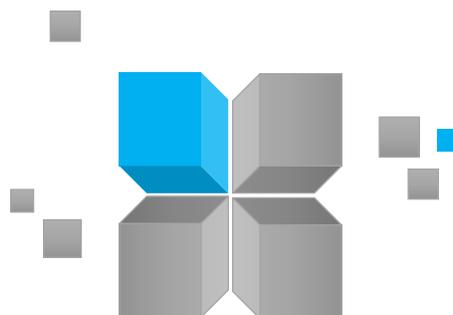
Vázquez, Monika, (adaptación), *La UNESCO y el Patrimonio Mundial*, 2004, Basado en la obra *Háblame del Patrimonio Mundial, UNESCO, 2002*, consultado el día 18 de diciembre de 2016 en: <http://kaipachanews.blogspot.mx/2016/12/la-unesco-y-el-patrimonio-mundial.html>

Vázquez, Patricia, *et al*, "Surface changes on crystalline stones due to salt crystallisation" en *Environmental Geology*, No. 69, 2013.

Yáñez Salazar, Alberto, *Análisis metodológico de los monumentos*, México, Consejo Consultivo Internacional Para la Preservación del Patrimonio de la Arquitectura, 1988.

Zavala Cornejo, M., Alejo Guerra, L. E. y Martínez Ruiz, G., "Comportamiento sísmico de edificios de tipo religioso de los siglos XVI-XVIII en el centro histórico de la ciudad de Morelia, Michoacán", en *Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica*, XIX Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, 6-9 de Noviembre 2013, Boca del Río Veracruz.

Glosario



GLOSARIO

Patología. Parte de la medicina que estudia las enfermedades. Conjunto de síntomas de una enfermedad.

Ornamental. Perteneciente o relativo a la ornamentación o adorno.

Mecanismo. Proceso (Sucesión de fases).

Deterioro. Acción y efecto de deteriorar o deteriorarse. Deteriorar es hacer que algo pase a un peor estado o condición.

Degradación. Acción y efecto de degradar. *Quím.* Transformación de una sustancia compleja en otra de estructura más sencilla.

Pétreo. De piedra, roca o peñasco. Pedregoso, cubierto de muchas piedras. De la calidad de piedra.

Patrimonio. Conjunto de bienes pertenecientes a una persona natural o jurídica, o afectos a fin, susceptibles de estimación económica. Suma de valores asignados, para un momento de tiempo, a los recursos disponibles de un país, que se utilizan para la vida económica.

Multidisciplinario. Que abarca o afecta varias disciplinas.

Monumento. Construcción que posee valor artístico, arqueológico, histórico, etc. Objeto o documento de utilidad para la historia, o para la averiguación de cualquier hecho. Obra artística o edificio que toma bajo su protección el Estado.

Conservación. Mantener algo o cuidar de su permanencia. Continuar con la práctica de costumbres, virtudes y cosas semejantes. Conservar es mantener o cuidar de la permanencia o integridad de algo.

Restauración. Repara una pintura, escultura, edificio, etc., del deterioro que ha sufrido.

Preservación. Proteger, resguardar anticipadamente a una persona, animal o cosa, de algún daño o peligro.

PROPIEDADES FÍSICAS:

Absorción: Es el porcentaje de agua que una roca es capaz de retener, en ciertas condiciones de ensayo, respecto al peso de la roca previo al ensayo.

Capilaridad: Propiedad que tiene el agua de subir o bajar por tubos muy estrechos (capilares) debido a la tensión superficial.

Compacidad: Es el valor resultante de la relación entre el volumen real de una piedra y su volumen aparente. La compacidad está íntimamente ligada con la porosidad, de tal manera, que cuanto más poroso es un material, menos compacto es.

Densidad: Influye los minerales integrantes, así como el % del volumen de huecos.

Dureza: Es la resistencia que oponen pequeñas partículas de un material (átomos) a ser desplazados localmente. Es la oposición a ser rayado.

Helicidad: Es la pérdida de las propiedades físicas y mecánicas que experimentan las rocas después de estar sometidas a cambios bruscos de temperatura.

Higroscopicidad: Es la propiedad de un material de absorber el vapor de agua existente en el medio ambiente, mediante fenómenos de origen capilar. A medida que aumenta la presión de vapor, crece también la capacidad de succión.

Permeabilidad: Constituye la propiedad que ofrecen los materiales, de dejarse atravesar por líquidos, cuando existe una diferencia de presión entre sus caras. Se mide mediante un aparato llamado permeabilímetro.

Porosidad: Es el cociente entre el volumen de los poros y el volumen aparente.

PROPIEDADES MECÁNICAS:

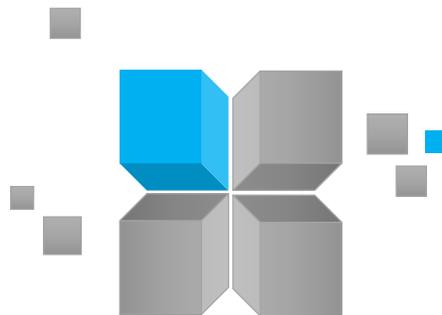
Resistencia a compresión: Es lo que experimenta un material se ejerce determinada fuerza perpendicular sobre una sección del mismo por lo cual se observa determinada resistencia del material.

Resistencia a flexión: Es la resistencia que ofrecen los materiales al actuar esfuerzos puntuales y centrados sobre probetas biapoyadas.

Resistencia al desgaste: Es la pérdida de peso, expresada en %, que experimenta un material después de estar sometido al ensayo de abrasión.

ÍNDICE DE FIGURAS

Índice de figuras



Capítulo	Número de figura-Descripción- Fuente	Página
Introducción	Figura A. Construcción del marco teórico conceptual Edición: Aldo Zamudio Pérez.	33
	Figura 01. Edificio del Real Colegio de San Nicolás Obispo de Valladolid de Michoacán a fines del siglo XVIII. Fuente: Raúl Arreola Cortes, <i>Morelia</i> , Morelia, México, Morevallado Editores, 1991, p. 41.	52
Cap. I	Figura 02. Calle nacional 1945 Morelia, Mich. Fuente: Morelia en México en fotos, [marco 2016]. http://www.mexicoenfotos.com/antiguas/michoacan/morelia/calle-nacional-MX14231987268720/Z .	53

	Figura 03. Aviso Municipal. Fuente: Manuel González Galván, "Morelia: Autenticidades y Ocultamientos" en Louise Noelle (ed.), <i>La Ciudad: Problema integral de preservación patrimonial</i> , México, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Estéticas, 2004, p. 86.	55
Cap. I	Figura 04. Liberación de aplanados en fachadas de calle Corregidora de poniente a oriente. Fuente: Manuel González Galván, "Morelia: Autenticidades y Ocultamientos" en Louise Noelle (ed.), <i>La Ciudad: Problema integral de preservación patrimonial</i> , México, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Estéticas, 2004, p. 95.	57
	Figura 05. Perímetro de la declaratoria de Zona de Monumentos Históricos de la ciudad de Morelia. Fuente: UNESCO.ORG http://whc.unesco.org/en/list/585/multiple=1&unique_number=692	58
	Figura 06. Deterioro de ignimbrita en fachada principal de inmueble ubicado en calle Guillermo Prieto, Colonia Centro, Morelia, Michoacán, Mx. Fotografía Aldo Zamudio Pérez, 2016.	63
	Figura 07. Deterioro de ignimbrita en fachada principal de inmueble ubicado en calle Galeana, Colonia Centro, Morelia, Michoacán, Mx. Fotografía Aldo Zamudio Pérez, 2016.	66
	Figura 08. Deterioro de la ignimbrita en fachada principal de inmueble ubicado en calle Galeana, Colonia Centro, Morelia, Michoacán, Mx. Fotografía Aldo Zamudio Pérez, 2015.	67
	Figura 09. Alteración de la superficie pétreo por contaminación antrópica. Imagen izquierda con deterioro, imagen a la derecha después del proceso de restauración. Fuente: Enrique Salgado, Restauración del Palacio Real de Madrid, [28 de marzo de 2017], http://www.esalgado.es/restauracion-del-palacio-real-de-madrid .	69
	Figura 10. Plan de emergencia Chan Chan 2006-2007. Fuente: [enero 2017] http://chanchan.gob.pe/chan-chan/conservacion/	81
	Figura 11. Estado actual de la ignimbrita en fachada principal de inmueble ubicado en la calle Fray Manuel Navarrete, Colonia Centro, Morelia, Michoacán, México. Fuente: Aldo Zamudio Pérez, 2015.	83
Cap. II	Figura 12. Estado actual de la ignimbrita en fachada principal de inmueble ubicado en la Av. Morelos Norte, Colonia Centro, Morelia, Michoacán, México. Fuente: Aldo Zamudio Pérez, 2015.	83
	Figura 13. Estado actual de la ignimbrita en fachada principal de inmueble ubicado en la calle Guillermo Prieto, Colonia Centro, Morelia, Michoacán, México. Fuente: Aldo Zamudio Pérez, 2015.	84



	Figura 14. Estado actual de la ignimbrita en fachada principal de inmueble ubicado en la calle Galeana, Colonia Centro, Morelia, Michoacán, México. Fuente: Aldo Zamudio Pérez, 2015.	84
	Figura 15. Estado actual de la ignimbrita en fachada principal de inmueble ubicado en la calle Allende, Colonia Centro, Morelia, Michoacán, México. Fuente: Aldo Zamudio Pérez, 2015.	84
	Figura 16. Humedad constante de la ignimbrita en fachada principal de inmueble ubicado en calle Allende, Colonia Centro, Morelia, Michoacán, México. Fuente: Aldo Zamudio Pérez, 2015.	86
	Figura 17. Humedad constante de la ignimbrita en fachada principal de inmueble ubicado en calle Allende, Colonia Centro, Morelia, Michoacán, México. Fuente Aldo Zamudio Pérez, 2015.	86
	Figura 18. Disgregación sacaroidea en ignimbrita de inmueble ubicado en Av. Morelos Norte, Morelia, Michoacán, México. Fuente: Aldo Zamudio Pérez, 2017.	87
	Figura 19. Exfoliación en la ignimbrita de inmueble ubicado en calle Abasolo, Morelia, Michoacán, México. Fuente: Aldo Zamudio Pérez, 2017.	87
	Figura 20. Disyunción de películas, disgregación y descamación en la ignimbrita de inmueble ubicado en calle Galeana, Morelia, Michoacán, México. Fuente: Aldo Zamudio Pérez, 2017.	88
Cap. II	Figura 21. Deslaminación en la ignimbrita de inmueble ubicado en calle Álvaro Obregón, Morelia, Michoacán, México. Fuente: Aldo Zamudio Pérez, 2017.	88
	Figura 22. Cristalización de sales en jamba de ignimbrita, inmueble ubicado en calle Galeana, Morelia, Michoacán, México. Fuente: Aldo Zamudio Pérez, 2017.	92
	Figura 23. Cristalización de sales en ignimbrita, inmueble ubicado en calle Galeana, Morelia, Michoacán, México. Fuente: Aldo Zamudio Pérez, 2015.	93
	Figura 24. Proceso de cristalización en la ignimbrita. Edición: Aldo Zamudio Pérez.	94
	Figura 25. Fotografía de inmueble ubicado en la actual calle Morelos Sur #323, Colonia Centro de Morelia. Fuente: [enero 2017] http://www.mexicoenfotos.com/antiguas/michoacan/morelia/casa-en-que-vivio-morelos-MX14831051490297/1	96
	Figura 26. Fotografía de inmueble ubicado en la actual calle Morelos Sur #323, Colonia Centro de Morelia, sin recubrimientos en sus muros de fachada. Fuente: [enero 2017]	96

<http://www.mexicoenfotos.com/antiguas/michoacan/morelia/casa-de-morelos-MX14172106956024/12>

	Figura 27. Materiales pétreos son el material principal con el que están edificadas las principales zonas históricas. Fuente: [enero 2017] http://www.eluniversal.com.mx/articulo/ciencia-y-salud/ciencia/2015/07/6/lo-que-la-lluvia-acida-se-llevo Edición: Aldo Zamudio Pérez.	104
Cap. II	Figura 28. Zócalo con presencia de costra negra, calle: Álvaro Obregón, col. Centro, Morelia, Michoacán, México. Fuente: Aldo Zamudio Pérez, 2015.	107
	Figura 29. Mapa 02, Orografía del Municipio de Morelia. Consultado en INEGI, Orografía, mapa 2, conjunto de datos geográficos de la carta topográfica, 2004.	109
	Figura 30. Crecimiento territorial de la Ciudad de Morelia. Consultado en Plan de gran visión, Morelia NExT 2041.	110
	Figura 31. Monitoreo vehicular por la zona de monumentos históricos de Morelia, Edición: Aldo Zamudio Pérez, 2017.	111
	Figura 32. Monitoreo de la calidad del Aire de Morelia. Izquierda: calificación de la calidad del aire y monitoreo ambiental. Derecha: ubicación de monitores y calificación de acuerdo a la zona. Fuente: http://sinaica.inecc.gob.mx/ .	112
	Figura 33. Humedad por capilaridad en mamposterías de calle Bartolomé de las Casas en Morelia Michoacán. Fuente Aldo Zamudio Pérez, 2017.	121
	Figura 34. Plano general de la ciudad de Morelia para 1884 donde aparece parte de una cantera ubicada al norte de la ciudad (área sombreada).	123
Cap. III	Figura 35. Imagen de ubicación de ignimbrita de la zona urbana de Morelia. Edición. Aldo Zamudio Pérez retomado de carta geológica de Bigioggero.	124
	Figura 36. Imagen de lo que fue la cantera del Barreno, hoy en día es la calle García Pueblita de Morelia. Fuente. Google Earth, 2017.	126
	Figura 37. Imagen de lo que fue la cantera de San Juan o Salesiano, hoy son las calles Canteros y Cecilio García de Morelia. Fuente. Google Earth, 2017.	126
	Figura 38. Proceso del análisis de la densidad por medio del picnómetro. Fuente. Aldo Zamudio Pérez, 2017.	129



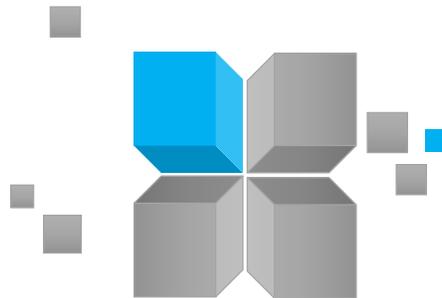
Figura 39. Proceso del análisis de la densidad aparente (gravedad específica). Fuente. Aldo Zamudio Pérez, 2017.	132
Figura 40. Fachada de inmueble orientado al sur, calle Santiago Tapia, Morelia Michoacán. Fuente Aldo Zamudio Pérez, 2017.	134
Figura 41. Proceso del análisis del porcentaje de humedad actual. Fuente. Aldo Zamudio Pérez, 2017.	135
Figura 42. Proceso del análisis de absorción de la ignimbrita. Fuente. Aldo Zamudio Pérez, 2017.	137
Figura 43. Proceso del análisis sometiendo la ignimbrita a carga puntual. Fuente. Aldo Zamudio Pérez, 2017.	138
Figura 44. Proceso del análisis de velocidad de pulso de la ignimbrita. Fuente. Aldo Zamudio Pérez, 2017.	141
Figura 45. Muestra ignimbrita del banco de Arindeo en mamposterías de calle Galeana en Morelia Michoacán. Fuente Aldo Zamudio Pérez, 2017.	144
Figura 46. Proceso del análisis del módulo de elasticidad de la ignimbrita. Fuente. Aldo Zamudio Pérez, 2017.	144
Figura 47. Proceso del análisis de la resistividad de la ignimbrita. Fuente. Aldo Zamudio Pérez, 2017.	145
Figura 48. Proceso del análisis de flexión de la ignimbrita. Fuente. Aldo Zamudio Pérez, 2017.	147
Figura 49. Canteros labrando piedra. Fuente Bernardino de Sahagún, 1499-1590.	149
<hr style="border: 2px solid #00AEEF;"/>	
Figura 50. Difractograma de una muestra de ignimbrita. Fuente Aldo Zamudio Pérez, 2017.	155
Figura 51. Esquema metodológico de análisis (evaluación del deterioro de la ignimbrita). Fuente José Luis Ruvalcaba Sil, Edición Aldo Zamudio Pérez, 2017.	156
Figura 52. Área de selección de la toma de esquirla para análisis. Fuente Aldo Zamudio Pérez, 2017.	158
Figura 53. Proceso de preparación de muestras para análisis de Rayos X en ignimbrita representativa del Pináculo del Centro Cultural de Clavijero. (A) Área de selección para toma de polvo. (B) Molienda de esquirla en mortero de ágata. Fuente Aldo Zamudio Pérez, 2017.	160
Figura 54. Proceso de preparación de muestras para análisis de Rayos X en ignimbrita representativa del Pináculo del Centro Cultural de Clavijero. (C) Mallas para la criba del material pétreo molido (D) Tamiz vibratorio. Fuente Aldo Zamudio Pérez, 2017.	160

Cap. IV

Figura 55. Puntos de selección para análisis de la composición elemental de la ignimbrita sana y deteriorada. (A) Muestra 02-MN con superficie deteriorada (B) Muestra 09-GC superficie deteriorada. Fuente Aldo Zamudio Pérez, 2017.	161
Figura 56. (A) Microscopía óptica a muestras de ignimbrita. Fuente Aldo Zamudio Pérez, 2017.	161
Figura 57. (A) Heterogeneidad de la ignimbrita de Morelia, muestra de cantería sana del banco del Tejocote. (B) Muestra deteriorada de unidad de análisis calle Morelos 04-M. Fuente Aldo Zamudio Pérez, 2017.	162
Figura 58. Colores y texturas de la ignimbrita de Morelia. (A) Cantera de Arindeo. (B) Cantera del Barreno. (C) Cantera de Cointzio. (D) Cantera del Tejocote. Fuente Aldo Zamudio Pérez, 2017.	163
Figura 59. Deterioro de ignimbritas extraídas de unidades de análisis. (A) Calle Juan José de Lejarza. (B) Calle Melchor Ocampo. (C) Calle Galeana. (D) Gárgola del Carmen. Fuente Aldo Zamudio Pérez, 2017.	164
Figura 60. Estructura interna de Ignimbritas extraída de unidades de análisis. (A) Pináculo de Catedral. (B) Pináculo del Centro Cultural Clavijero. Fuente Aldo Zamudio Pérez, 2017.	165
Figura 61. Fluorescencia de Rayos X portátil XRF (sistema SANDRA) Fuente José Luis Ruvalcaba Sil y Dulce M. Aguilar Téllez, 2017.	169
Figura 62. Muestra de ignimbrita analizada. Fuente Aldo Zamudio Pérez, 2017.	170
Figura 63. Difractograma de análisis de una muestra de ignimbrita. Fuente Aldo Zamudio Pérez, 2017.	170
Figura 64. (A) Esquirla de análisis de la calle Juan José de Lejarza. (B) Pastilla constituida por el polvo de ignimbrita de la misma esquirla de análisis de la calle Juan José de Lejarza. Fuente Aldo Zamudio Pérez, 2017.	172
Figura 65. Contenido elemental de unidad de análisis 01, calle Juan José de Lejarza. Fuente Aldo Zamudio Pérez, 2017.	173
Fig. 66. Contenido elemental de unidad de análisis 01, calle Juan José de Lejarza. Fuente Aldo Zamudio Pérez, 2017.	173
Figura 67. Sistema de difracción y fluorescencia de Rayos X (ADIS). Fuente Aldo Zamudio Pérez, 2017.	175
Fig. 68. Muestra de ignimbrita analizada. Fuente Aldo Zamudio Pérez, 2017.	176
Fig. 69. Muestra de ignimbrita analizada. Fuente Aldo Zamudio Pérez, 2017.	177

ÍNDICE DE TABLAS

Índice de tablas



Índice de tablas

Capítulo	Número de tabla-Descripción- Fuente	Página
Introducción	Tabla A. Caracterización física de la ignimbrita. Edición. Aldo Zamudio Pérez 2017	45
	Tabla B. Caracterización micro-estructural de la ignimbrita. Edición. Aldo Zamudio Pérez 2017	46
Cap. III	Tabla 01. Densidad por medio del picnómetro. Edición. Aldo Zamudio Pérez 2017	129

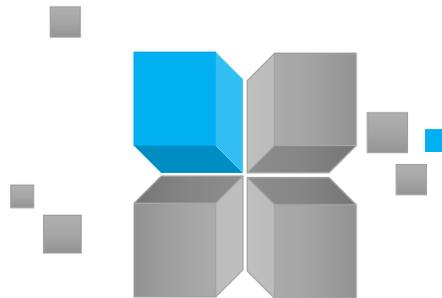
Tabla 02. Densidad aparente (gravedad específica).Edición. Aldo Zamudio Pérez 2017	131
Tabla 03. Porcentaje de humedad actual. Edición. Aldo Zamudio Pérez 2017	133
Tabla 04. Porcentaje de absorción. Edición. Aldo Zamudio Pérez 2017	136
Tabla 05. Porcentaje de carga puntual de la ignimbrita. Edición. Aldo Zamudio Pérez 2017	137
Tabla 06. Velocidad de pulso de la ignimbrita. Edición. Aldo Zamudio Pérez 2017	140
Tabla 07. Módulo de elasticidad dinámico de la ignimbrita. Edición. Aldo Zamudio Pérez 2017	142
Tabla 08. Resistividad eléctrica de la ignimbrita. Edición. Aldo Zamudio Pérez 2017.	145
Tabla 09. Flexión estática de la ignimbrita. Edición. Aldo Zamudio Pérez 2017	146

Cap. IV

Tabla 10. Muestras representativas deterioradas para análisis. Aldo Zamudio Pérez, 2017.	159
Tabla 11. Muestras representativas sanas para análisis. Aldo Zamudio Pérez, 2017.	159



Monitoreo unidades de análisis



Al recorrer las diferentes calles de la traza urbana histórica de Morelia se distingue el uso de ignimbrita (cantera) integrado dentro de las construcciones históricas y contemporáneas.

Una de las características observadas dentro de un gran número de inmuebles de la Zona de Monumentos Históricos es observar como el

material de construcción de apoyos aislados (columnas) y corridos (muros) a través de los años ha quedado expuesto a los efectos del intemperie.

Lo anterior ha ocasionado el actual estado de conservación de la ignimbrita; desde cambios de apariencia, hasta la pérdida lenta y paulatina del propio material. El área con mayor presencia de deterioro es percibida en la parte baja de las fachadas, comúnmente denominada zoclo.

El tema en relación de la selección del material pétreo para la integración dentro de la construcción no precisa determinada preocupación de actual interés para el ejercicio de la construcción. Vitruvio Polion por su parte abordaría el tema de la selección en los elementos pétreos como uno de los principales rasgos constructivos dentro de las manifestaciones históricas espaciales, lo anterior por la variedad que presentan en sus propiedades.

Según Vitruvio uno de los problemas del estado de conservación y deterioro del material pétreo surge en torno del efecto que causa la exposición a la intemperie del material, situación por la cual el material llega a presentar fenómenos de desintegración, por lo anterior realizaría la recomendación respecto al análisis del material previo a su integración dentro de la obra.

El análisis de los materiales pétreos previo a su integración en cualquier área de influencia resulta ser una de las posibles garantías, además de ofertar determinado escenario de actuación, y por supuesto sin dejar de lado la opción de ser óptimo o no para determinada aplicación.

Como se mencionaba anteriormente la Zona de Monumentos de Morelia al igual que otros cascos históricos, se caracteriza constructivamente por el uso de materiales pétreos en sus edificaciones, para el caso de las construcciones locales se utilizó la ignimbrita, mejor conocida como "cantera", la cual, a través de décadas se ha encontrado en procesos que han dado pie al intemperismo de la ignimbrita.

El proceso de deterioro producto de la exposición del material ha ocasionado un acelerado proceso de deterioro, lo anterior por distintos agentes tanto físicos como químicos, desarrollando problemas en primera instancia físicos (cambio de apariencia) y alteraciones en su comportamiento mecánico (cambio de resistencia), al ser afectados por altos índices de humedad constante, la influencia o carga de la contaminación ambiental (emisiones vehiculares) y el efecto que deja a su paso la cristalización de sales dentro del material.

El deterioro de la ignimbrita de los inmuebles de la Zona de Monumentos Históricos de Morelia es detonado por la suma entre los factores ambientales (viento, radiación solar, temperatura, humedad, orientación, precipitación pluvial) y elementos urbanos (dimensiones de fachadas, vialidades, flujos vehiculares), situación que reúne características suficientes para que las propiedades físico-mecánicas en la ignimbrita sean alteradas.

El propósito de llevar a cabo la investigación tuvo como fin el comprobar a través del conocimiento de las propiedades físico-mecánicas y del análisis del emplazamiento que vulnerabilidades puede presentar la ignimbrita, para con ello tener un índice en cuanto a la propuesta de selección o integración del material pétreo en obras de restauración, conservación y de obra nueva.

El proceso de investigación involucró en un primer paso la prospección de la Zona de Monumentos Históricos de Morelia con el objetivo de seleccionar las unidades de análisis respecto al estado de conservación de la ignimbrita depositada en las fachadas principales.

La segunda etapa fue realizar la recolección de datos de los factores ambientales dentro de la zona de estudio, así como del monitoreo y análisis los elementos urbanos que involucran en las unidades de análisis.

Al realizar la prospección por la zona de estudio se identificó que existe determinado proceso de deterioro en la ignimbrita, se observan notables cambios en su estado físico. El proceso de alteración del material se localiza tanto en inmuebles de carácter religioso, público o privados con mayor presencia en la parte baja o zoclo de las fachadas ubicadas en el tejido urbano de la zona de monumentos históricos de Morelia. Por lo cual las unidades de análisis no enfatizaron estilos ni usos.

Para realizar la selección de unidades de análisis se optó por identificar ignimbritas deterioradas en zoclos de acuerdo a su estado de conservación, además de realizar la selección considerando aspectos urbanos y factores ambientales que inciden en su deterioro, tales como: humedad, orientación y altura de fachadas, flujo vehicular, dimensión y materiales en arroyos vehiculares, velocidad de vientos, horas de asoleamiento sobre las fachadas, temperatura y precipitación pluvial.

Los aspectos anteriormente señalados se monitorearon con el objetivo de realizar la reflexión de lo que sucede en los diversos escenarios bajo los cuales se encuentra inmerso el material pétreo a pesar de estar ubicados dentro de la misma zona. Las fachadas seleccionadas como unidades de análisis se encuentran ubicadas en la figura 1 y 2.

Recolección de datos ambientales

Velocidad del viento: el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático Morelia tiene en promedio vientos de 6 m/s que cruzan a través de la Ciudad. De acuerdo al monitoreo realizado en la vialidad de las unidades de análisis se tiene lo siguiente: las corrientes de viento obtenidas con anemómetro digital, marca CEM, modelo DT-618 a una altura escala humana (1.80 m.sn.p.t.) sobre las unidades de análisis en calles con sentido

norte-sur en promedio presentan 4.50 m/s, mientras que el promedio de las calles con sentido oriente-poniente en promedio es de 4.00 m/s (Figura 3).



Figura 2: Zona de Monumentos Históricos de Morelia, ubicación de las unidades de análisis. Edición Aldo Zamudio Pérez, 2017.

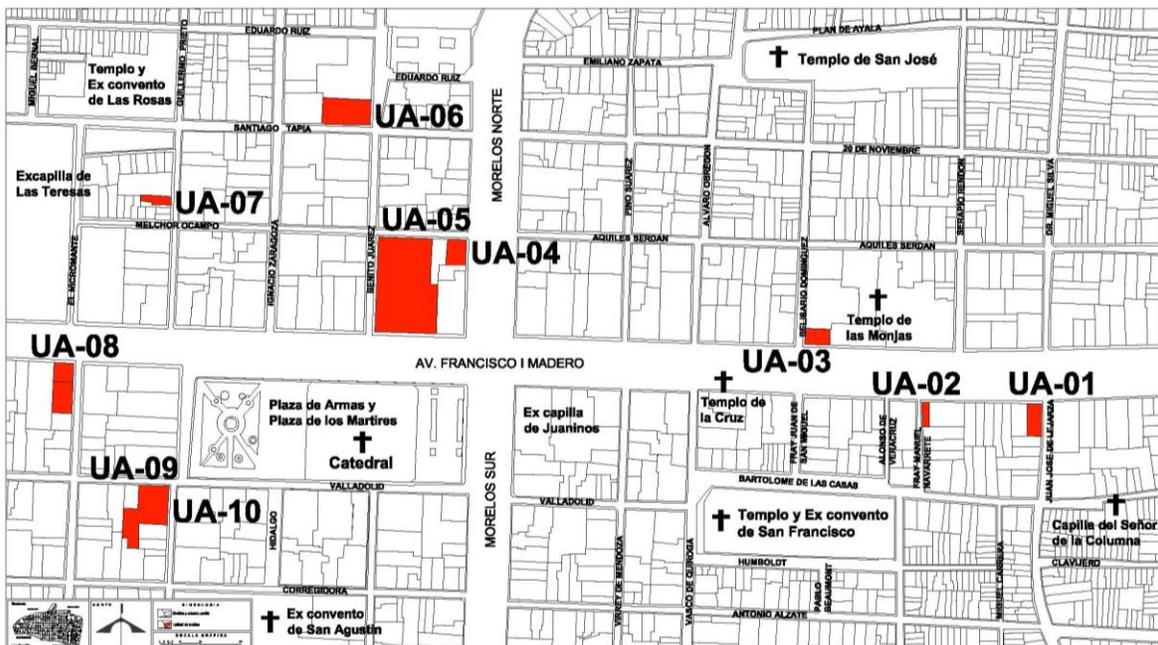


Figura 3: Microlocalización de la ubicación de las unidades de análisis. Edición Aldo Zamudio Pérez, 2017.

Asoleamiento: de acuerdo al monitoreo realizado en las unidades de análisis se determinó lo siguiente: el asoleamiento efectivo en el zoclo de las fachadas en promedio es de 3 horas al día (Figuras 5-8), en el caso de la unidad de análisis de la calle Santiago Tapia es de 6 horas al día en promedio.

Temperatura ambiente y precipitación pluvial: De acuerdo a las características fisiográficas presentadas en el Plan de gran visión Morelia NEXt 2041, la ciudad presenta un clima templado subhúmedo, con temperaturas anuales que oscilan entre los 14.2 °C y 31 °C, la temperatura media anual es 17.1 °C (Figura 4), La precipitación pluvial se concentra en los meses de junio a septiembre.

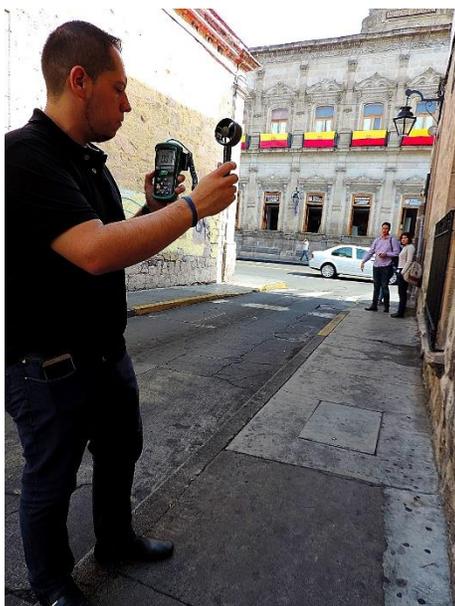


Figura 3: Monitoreo de vientos dominantes en calle Belisario Domínguez, Morelia, Michoacán, México. Fuente Aldo Zamudio Pérez, 2017.



Figura 4: Monitoreo de temperatura ambiente en calle Juan José de Lejarza, Morelia, Michoacán, México. Fuente Aldo Zamudio Pérez, 2017.



Figura 5-8: Asoleamiento en fachadas principales, calle Abasolo, Morelia, Michoacán, México. Fuente Aldo Zamudio Pérez, 2015.

Elementos urbanos

Altura de humedad: de acuerdo al monitoreo realizado en las unidades de análisis se tiene lo siguiente: la altura de la humedad en las fachadas principales en calles con sentido norte-sur en promedio es de 2.50 m y de 3.5 m, mientras que el promedio de las calles con sentido oriente-poniente en promedio es de 4.00 m (Figura 9-10).

Orientación de fachadas: la orientación de las fachadas principales en combinación con otros factores como el asoleamiento, la precipitación pluvial y los vientos dominantes son algunos de los elementos que intervienen para que se presenten procesos acelerados de deterioro de la ignimbrita.

Dado es el caso de las fachadas con orientación al poniente donde la incidencia solar es menor que las orientadas al sur.



Figura 12: Altura de humedad en inmueble de calle Galeana, Morelia, Michoacán, México. Fuente Aldo Zamudio Pérez, 2017.



Figura 13: Altura de humedad en inmueble de calle Allende, Morelia, Michoacán, México. Fuente Aldo Zamudio Pérez, 2017.

Flujo vehicular: la acumulación vehicular, así como la aceleración y desaceleración de los automotores sobre las arterias viales son un medio para la concentración de contaminantes dentro del tejido urbano de la ciudad.

Dimensiones de calle y fachada: la dimensión de las vialidades y la altura de las fachadas principales en combinación con otros factores anteriormente abordados son algunos de los elementos que intervienen para que se presenten procesos acelerados de deterioro de la ignimbrita de la zona urbana.

Materiales en pavimentos: el material utilizado en los pavimentos es otro de los factores urbanos que puede influir para que se presente la acumulación de humedades en las fachadas principales de acuerdo al porcentaje de absorción de humedad de la ignimbrita. Dado es el caso de las fachadas donde se presentan pavimentos con pórfido en las cuales la humedad por capilaridad puede llegar a presentar mayores índices en la ignimbrita.