



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
**MAESTRÍA Y DOCTORADO EN ARQUITECTURA**  
**CAMPO DE CONOCIMIENTO: TECNOLOGÍAS**

**EPIDERMIS ARQUITECTÓNICA.**  
**RECUBRIMIENTOS DE TIERRA ESTABILIZADA APLICADOS A LA VIVIENDA**  
**SOSTENIBLE**

**TESIS**

Que para optar por el grado de:  
**MAESTRA EN ARQUITECTURA**

PRESENTA:

**ARQ. ESMERALDA AVILA BOYAS**

**DIRECTOR DE TESIS**

Dr. Luis Fernando Guerrero Baca  
Posgrado en Arquitectura, UNAM

**COMITÉ TUTOR**

Dr. en Ing. Daniel Aldama Ávalos  
Posgrado, FES Aragón  
Dr. en Arq. Tarsicio Pastrana Salcedo  
Posgrado en Arquitectura, UNAM  
Dra. en Arq. Geneviève Lucet Lagriffoul  
Instituto de Investigaciones Estéticas  
Mtro. en C. Sergio Alfonso Martínez  
Posgrado, FES Aragón



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

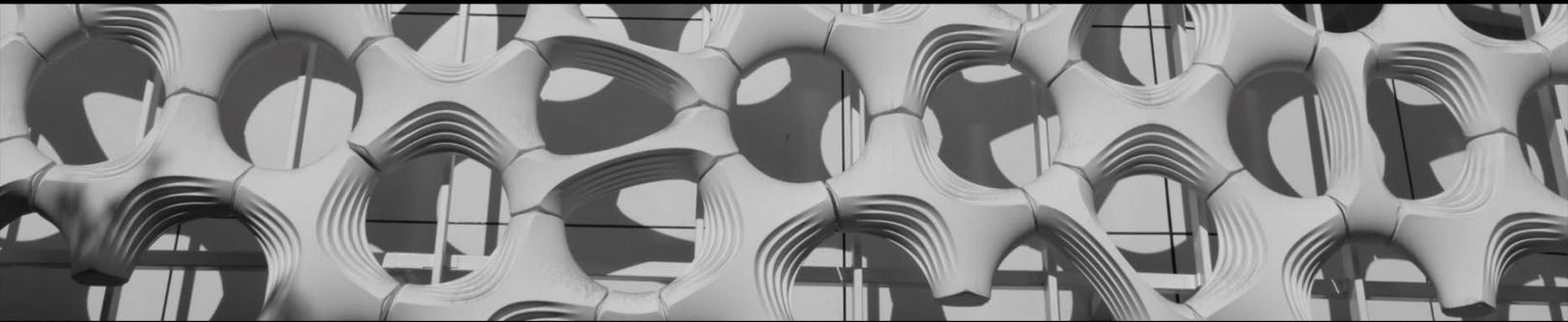
Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



E P I D E R M I S A R Q U I T E C T O N I C A





RECUBRIMIENTOS DE TIERRA ESTABILIZADA APLICADOS A LA VIVIENDA SOSTENIBLE

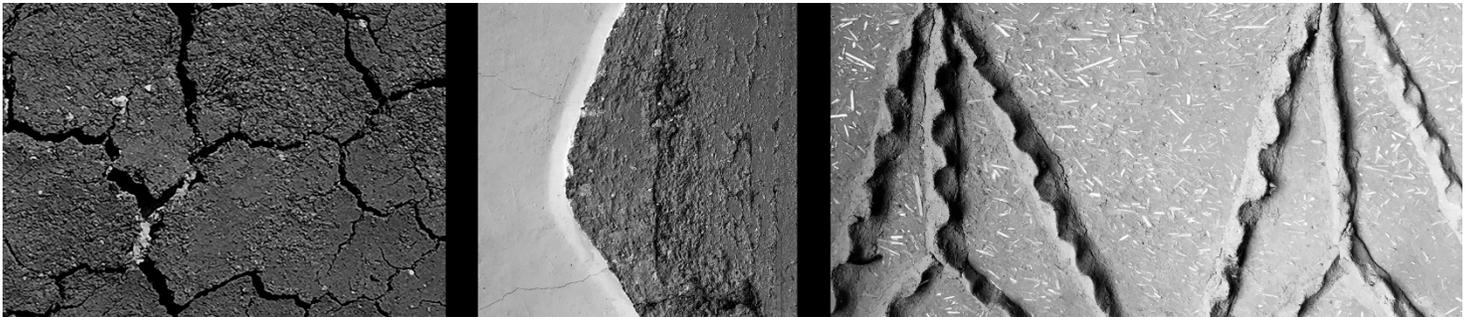
**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**



**PROGRAMA DE MAESTRÍA Y  
DOCTORADO EN ARQUITECTURA**

**UNAM  
POSGRADO**

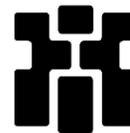
**EPIDERMIS ARQUITECTÓNICA.  
RECUBRIMIENTOS DE TIERRA ESTABILIZADA APLICADOS A LA  
VIVIENDA SOSTENIBLE**



PRESENTA:

**Arq. ESMERALDA AVILA BOYAS**

DIRECTOR DE TESIS: Dr. Luis Fernando Guerrero Baca



## JURADO

Dr. Luis Fernando Guerrero Baca  
**DIRECTOR DE TESIS**

Dr. en Ing. Daniel Aldama Ávalos  
Dr. en Arq. Tarsicio Pastrana Salcedo  
Dra. en Arq. Geneviève Lucet Lagriffoul  
Mtro. en C. Sergio Alfonso Martínez  
**SINODALES**

## AGRADECIMIENTOS

En memoria de mi padre José Jorge Avila Gómez quien me impulso a continuar mis estudios de posgrado y que lamentablemente no pudo acompañarme durante este camino.

A mi madre María Eugenia Boyas, por ser mi amazona, mi musa, mi fortaleza. Agradezco su apoyo, amor y paciencia, pero sobre todo agradezco por convertirse en la persona más importante de mi vida desde el primer momento que yo llegue a este mundo.

A mi hermana Karina Avila Boyas, por ser mi segunda madre, por ser mi amiga, mi hermana y mi cómplice, por su cariño, por sus regaños y por apoyarme todo el tiempo en mi vida académica.

A Blas Tepale, por ser mi compañero de vida, por recorrer a mi lado este camino, por su apoyo, cariño y sobre todo por el amor incondicional que me ha dado durante estos años.

A mi tutor el Dr. Luis Fernando Guerrero Baca, a quien le debo mil y un gracias por el enorme apoyo que me brindo en todo momento, por su disposición, amabilidad y sus conocimientos.

A mis cotutores y sinodales por el apoyo que me brindaron, por el interés que siempre mostraron hacia mi tema de investigación y sobre todo por compartir sus conocimientos.

Al Dr. Fernando Figueroa por ayudarme en las situaciones más difíciles, por sus consejos y por el enorme bagaje cultural que posee.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología CONACYT, a la Facultad de Estudios Superiores Aragón por ser mi casa de estudios desde mi formación como arquitecta, a la Arquitectura de Tierra que me hizo entrar en ese mundo y conocer personas maravillosas. Y finalmente a mi alma mater la Universidad Nacional Autónoma de México, porque ser UNAM es un orgullo.

## Resumen

Dentro de los sistemas constructivos tradicionales que existen en la arquitectura de tierra los recubrimientos son una parte fundamental e importante, pues funcionan como elementos de protección al igual que la piel al cuerpo humano. Estos cumplen diversas funciones, entre las que destacan la protección de estructuras, la posibilidad del intercambio de vapor de agua, así como, la regularización de las superficies para hacerlas más higiénicas. La presente investigación muestra el análisis y resultados de una serie de experimentos que buscan el mejoramiento de los recubrimientos de tierra a partir de la recuperación de las técnicas constructivas ancestrales derivadas del uso del mucílago de opuntia, así como, del hidróxido de calcio. El objetivo de este trabajo fue proponer recubrimientos más estables, resistentes, económicos y ecológicamente amigables, que no sólo se apliquen sobre superficies de tierra sino para cualquier superficie, en especial aquellas superficies dirigidas a la vivienda.

Palabras clave: *recubrimiento, aglutinante, arquitectura de tierra, tradición, sostenibilidad, vivienda*

## Abstract

Around the traditional construction systems that exist in the earth architecture, coatings are a fundamental and important part, since they function as protective elements just like the skin to the human body. These fulfill various functions, including the protection of structures, the possibility of water vapor exchange, as well as the regularization of surfaces to make them more hygienic. The present investigation shows the analysis and results of a series of experiments that seek the improvement of the earth coverings from the recovery of the ancestral construction techniques derived from the use of the opuntia mucilage, as well as, of the calcium hydroxide. The objective of this work was to propose more stable, resistant, economical and ecologically friendly coatings, which are not only applied on land surfaces but for any surface, especially those surfaces directed to the housing.

Keywords: *coating, bonded, earthen architecture, tradition, sustainability, housing.*

|   |     |
|---|-----|
| <b>INTRODUCCIÓN</b> .....   | 1   |
| <b>CAPÍTULO 1. EPIDERMIS ARQUITECTÓNICAS.</b> .....   | 5   |
| 1.1 Biomímesis, inspiración en la naturaleza.....   | 5   |
| 1.2. La biomímesis en la arquitectura.....  | 9   |
| 1.3. Epidermis, función, conceptualización y su réplica en la arquitectura.....                                 | 15  |
| 1.4. Epidermis como acabado arquitectónico en muros.....  | 20  |
| 1.4.1. Importancia de los recubrimientos.....   | 21  |
| 1.4.2. Tipo de recubrimientos.....  | 28  |
| 1.5. Patologías en los recubrimientos.....  | 34  |
| 1.6. Los acabados en la vivienda popular de México.....   | 38  |
| <b>CAPÍTULO 2. EPIDERMIS DE TIERRA</b> .....  | 44  |
| 2.1. La tierra como un material para acabados arquitectónicos en muros.....                                     | 47  |
| 2.2. Recubrimientos con materiales naturales alrededor del mundo.....   | 51  |
| 2.2.1. Estuco veneciano, Italia.....  | 54  |
| 2.2.2. Tadelakt, Marruecos.....   | 56  |
| 2.2.3. Litema, Sudáfrica.....   | 60  |
| 2.2.4. Shikkui y Arakabe, Japón.....  | 63  |
| 2.2.5. Relieves policromados, Huacas de Moche, Perú.....  | 67  |
| 2.3. Recubrimientos ancestrales en México.....  | 71  |
| 2.4. La pintura mural en Mesoamérica.....   | 73  |
| 2.4.1. Pigmentos, aglutinantes y conglomerantes en la pintura mural mesoamericana....                           | 75  |
| 2.4.2. Teotihuacán, la ciudad pintada.....  | 87  |
| 2.5. Mestizaje constructivo, los acabados en muros tras la conquista de México.....                             | 91  |
| 2.6 Ventajas y limitaciones del uso de la tierra como material en recubrimientos<br>arquitectónicos.....        | 101 |
| 2.7 Tierra y sostenibilidad.....  | 106 |
| <b>CAPÍTULO 3. ESTRUCTURA Y CARACTERIZACIÓN DE UNA EPIDERMIS DE<br/>TIERRA</b> .....                            | 110 |
| 3.1. Naturaleza de las arcillas.....  | 111 |
| 3.2. Composición del suelo y clasificación según el SUCS (Sistema Unificado de<br>Clasificación de Suelos)..... | 114 |
| 3.2.1. Composición granulométrica.....  | 116 |
| 3.2.2. Plasticidad y límites de consistencia (Límites de Atterberg).....  | 117 |
| 3.2.3. Ensayos previos para determinar la consistencia de la tierra.....  | 119 |

|   |            |
|---|------------|
| 3.2.4. Selección y determinación del tipo de suelo, para la fase experimental.....            | 122        |
| 3.3. Procesos de compensación y estabilización .....  | 124        |
| 3.3.1 Compensación .....  | 125        |
| 3.3.2 Estabilización .....  | 128        |
| 3.4. El mucílago de <i>Opuntia Ficus</i> como estabilizante en recubrimientos de tierra ..... | 130        |
| 3.5. El Hidróxido de calcio como estabilizante en recubrimientos de tierra .....              | 136        |
| 3.6. Efecto del mucílago de <i>Opuntia</i> en combinación con la cal.....                     | 140        |
| 3.7. Recubrimientos de tierra.....  | 142        |
| 3.8. Determinación de mezclas para aplanados .....  | 145        |
| <b>CAPÍTULO 4. ANÁLISIS Y COMPORTAMIENTO DE LAS MEZCLAS PARA</b>                              |            |
| <b>RECUBRIMIENTOS DE TIERRA .....</b>   | <b>148</b> |
| 4.1. Revoques de tierra, propiedades y consideraciones previas a los ensayos.....             | 150        |
| 4.2. Elaboración de probetas. ....  | 151        |
| 4.2.1. Probetas de revoque.....   | 151        |
| 4.2.2. Probetas cúbicas.....  | 152        |
| 4.2.3. Probetas de tableta. ....  | 155        |
| 4.3. Caracterización experimental. ....   | 156        |
| 4.3.1. Retracción volumétrica .....   | 157        |
| 4.3.2. Ensayo a compresión. ....  | 161        |
| 4.3.3 Absorción capilar .....   | 163        |
| 4.3.4 Conductividad térmica .....   | 165        |
| 4.3.5 Absorción y liberación de humedad mediante tubo de Karsten.....                         | 168        |
| 4.4 Recubrimientos al exterior y evaluación sobre diferentes superficies .....                | 175        |
| <b>Logros, conclusiones y consideraciones finales. ....</b>                                   | <b>182</b> |
| <b>Índice de figuras .....</b>  | <b>187</b> |
| <b>Índice de tablas.....</b>  | <b>192</b> |
| <b>Bibliografía .....</b>   | <b>193</b> |

## INTRODUCCIÓN

En la arquitectura, es muy común escuchar la palabra “concepto”, pues desde la gestación académica de un estudiante de arquitectura, es una de las primeras palabras con las que un futuro arquitecto comienza a familiarizarse. Hablar del “concepto arquitectónico”, puede sonar como uno de los temas más trillados dentro del ámbito arquitectónico, pero siempre como arquitectos nos vemos en la necesidad de conceptualizar y abstraer ideas para comprender y explicar un proyecto.

Es así como, esta investigación parte de una conceptualización, haciendo una analogía entre el término *epidermis* y la aplicación de éste a la arquitectura. En términos generales una epidermis aparte de ser uno de los componentes de la piel, es una capa externa formada por un epitelio estratificado o escamoso, el cual contiene cuatro tipos de células organizadas en estratos.

La piel forma parte del sistema tegumentario; constituido por la piel propiamente dicha y sus derivados o anexos: el pelo, las uñas y las glándulas subcutáneas. La piel también es un órgano formado por diferentes tejidos unidos para realizar actividades y funciones específicas. Entre las diversas funciones de la piel destaca su función protectora, pues protege al organismo de lesiones, infecciones, deshidratación y rayos ultravioleta. Más importante aún, la piel actúa como termorregulador, es decir, ayuda a la homeostasis de la temperatura corporal.

Para poder traducir el término epidermis para fines arquitectónicos, es necesario estudiar su parte medular, lo cual implica conocer y familiarizarse en cómo funciona y los elementos que la componen. Es decir, se organiza de lo general a lo particular, siendo modelo para esta investigación; ya que parte desde lo conceptual, abstracto y análogo, hasta culminar la parte experimental en un objetivo nodal al que va encaminado este proyecto.

Retomando, la parte conceptual del término epidermis, se toma su función protectora y termorreguladora para homologarla a la arquitectura, específicamente a la parte conclusiva de una etapa constructiva y quizás la más interactiva: la parte de los acabados arquitectónicos; como popularmente se dice, la parte “final” de una obra arquitectónica. No es raro asociar el término envolvente, piel, membrana o epidermis al revestimiento, fachada o recubrimiento de un edificio, y no es raro tampoco encontrar un concepto como estos dentro del diseño arquitectónico.

De este modo, la parte conceptual va dirigida hacia la protección superficial de las estructuras, dicho lo cual, la presente investigación va enfocada específicamente a los recubrimientos arquitectónicos, retomando conceptos como: sostenibilidad, revoques, estabilización, compensación, tradición, innovación, y cultura, que dan estructura a los cuatro capítulos que componen este trabajo.

Se parte de dos problemáticas existentes en la actualidad; la primera relacionada con los elevados costos en materiales para recubrimiento, lo que hace casi imposible que sectores como la autoconstrucción y la vivienda popular lleguen a la etapa de acabados, por tanto, dejan sin ninguna protección las superficies murales de sus hogares, quedando totalmente expuestas a factores atmosféricos y agentes antrópicos. La segunda problemática se relaciona con la importancia de los recubrimientos, su función, su materialidad, su aplicación, y lo más importante su compatibilidad con otros materiales y superficies. Pues, con la llegada de los materiales industriales, no sólo se incrementaron los costos en los acabados, sino también surgieron problemas de incompatibilidad trayendo como consecuencia la pérdida masiva de los sistemas constructivos y materiales tradicionales.

Ante los problemas detectados, se buscó rescatar todos aquellos saberes que dejaron como legado las culturas constructivas de la antigua Mesoamérica, proponiendo un componente constructivo económico, ecológico y estético, como lo es la tierra; un material de naturaleza noble, con propiedades térmicas, aislantes y sostenibles, y que es viable para su aplicación como recubrimiento arquitectónico.

Continuando con la propuesta de los recubrimientos de tierra, fue importante conocer las ventajas y limitaciones del material, pues, derivado de eso se buscó mejorar las cualidades de la tierra haciendo uso de materiales estabilizantes, ya sea de origen vegetal, animal o mineral. Para ello, se tomó como referencia el uso de diferentes mucílagos y minerales que fueron utilizados como aglutinantes para la mejora de mezclas en enlucidos y revoques de las culturas Maya, Teotihuacana, Mexica y Olmeca-xicallanca.

Para documentar de manera más precisa aquellos saberes ancestrales se llevó a cabo una fase científico-técnica, siendo ésta la parte cumbre de todo el proyecto, pues corresponde a la experimentación y análisis de los materiales propuestos dentro de la investigación. En esta fase se estudió la naturaleza de la tierra, su composición, así como, sus procesos de estabilización y compensación. Para el análisis, se llevó a cabo una serie de ensayos sobre diferentes muestras, que permitió la obtención de una mezcla definitiva para culminar y pasar a la parte final, el objetivo de este proyecto: formulación de una mezcla idónea con las proporciones adecuadas y previamente estudiadas, para ser aplicada sobre diferentes superficies.

La finalidad y objetivo de esta investigación no es desarrollar a un producto final para lanzarlo a su comercialización, sino todo lo contrario, es documentar y transmitir datos más precisos, que avalen y prueben la efectividad del material; rescatar y traducir el conocimiento empírico de las técnicas tradicionales constructivas, y dejar los parámetros más las consideraciones necesarias para la elección de un material relegado de las edificaciones contemporáneas sin mayor miramiento, cuando es históricamente el inicio de toda la arquitectura y urbanismo humano, la tierra.



CAPÍTULO 1

# EPIDERMIS ARQUITECTÓNICAS

E P I T E L I O

## CAPÍTULO 1. EPIDERMIS ARQUITECTÓNICAS.

### 1.1 Biomímesis, inspiración en la naturaleza.

La palabra “naturaleza” tiene sus raíces del latín *natura*, que en la era clásica significaba “nacimiento” o “procrear”. “Naturaleza” es también conceptualmente cercana a la palabra griega *physis*, que se refiere a un sistema material que existe y crece. En consecuencia, la naturaleza no es estática, sino que se regenera y transforma constantemente (Mazzoleni, 2013, pág. 3).

Entre los sistemas naturales y la tierra existe una interconexión que sostiene la vida, ésta evoluciona a velocidades y escalas que escapan a la comprensión humana. Hoy en día inspirarse en la naturaleza nos remite a la magia de descubrir más allá de un ambiente cotidiano inmediato, y a la búsqueda de las fuentes de sabiduría que han existido durante millones de años, las cuales se encuentran en los rincones de las células, en la interacción de ecosistemas o bien en aquella morfología que constituye un animal, planta, hongo o bacteria.

Una de las ciencias que estudia esa interconexión entre la naturaleza y la vida es la biomímesis<sup>1</sup> o también conocida como biomimética, esta ciencia va de la mano con una metodología definida como, la integración de las soluciones de la naturaleza con la resolución de problemas innovadores para entornos creados por el hombre. Es decir, consiste en aprender y luego adaptar las “mejores ideas” de la naturaleza, ofreciendo soluciones sostenibles para los problemas humanos.

Esta ciencia ha tenido un auge importante en los últimos años del siglo XX, producto de una preocupación por los recursos naturales que con el paso de las décadas se van haciendo más escasos. Estos recursos naturales de la Tierra son finitos y el planeta es cada vez más vulnerable a las actividades humanas. El proceso de evolución y las adaptaciones resultantes han permitido que la vida se mantenga durante milenios. Pero el aumento en el ritmo y escala de las actividades humanas ha traído graves consecuencias para el planeta Tierra (Mazzoleni, 2013, pág. 4).

---

<sup>1</sup> Biomímesis, del vocablo *Bio* (vida), *mimesis* (imitar), es un proceso complejo que combina el diseño y pensamiento sistemático, con los principios de la vida (sostenibilidad), métodos de dibujo propios del diseño y la ingeniería. El pensamiento biomimético fomenta la creatividad mientras combina ideas de las artes, la sociedad y el mundo. A través de la observación, la comprensión y la integración de las estrategias del mundo natural construyendo una plataforma sólida para la innovación. Recuperado de Instituto Biomimicry Iberia: [www.biomimicryiberia.com/biomimesis](http://www.biomimicryiberia.com/biomimesis). Consultado el 12 de mayo del 2018.

No obstante, hay experiencias en sentido inverso por ejemplo la adaptación biomimética aplicada a la arquitectura lograda en Etiopía con la torre warka en el año 2014. Este proyecto consiste en una torre de 10 metros de altura, fabricada a mano a partir de materiales naturales, que tiene la capacidad de recoger hasta 100 litros de agua potable desde el aire en las zonas rurales de los países en desarrollo. Este proyecto fue diseñado por la firma Architecture and Vision.<sup>2</sup>

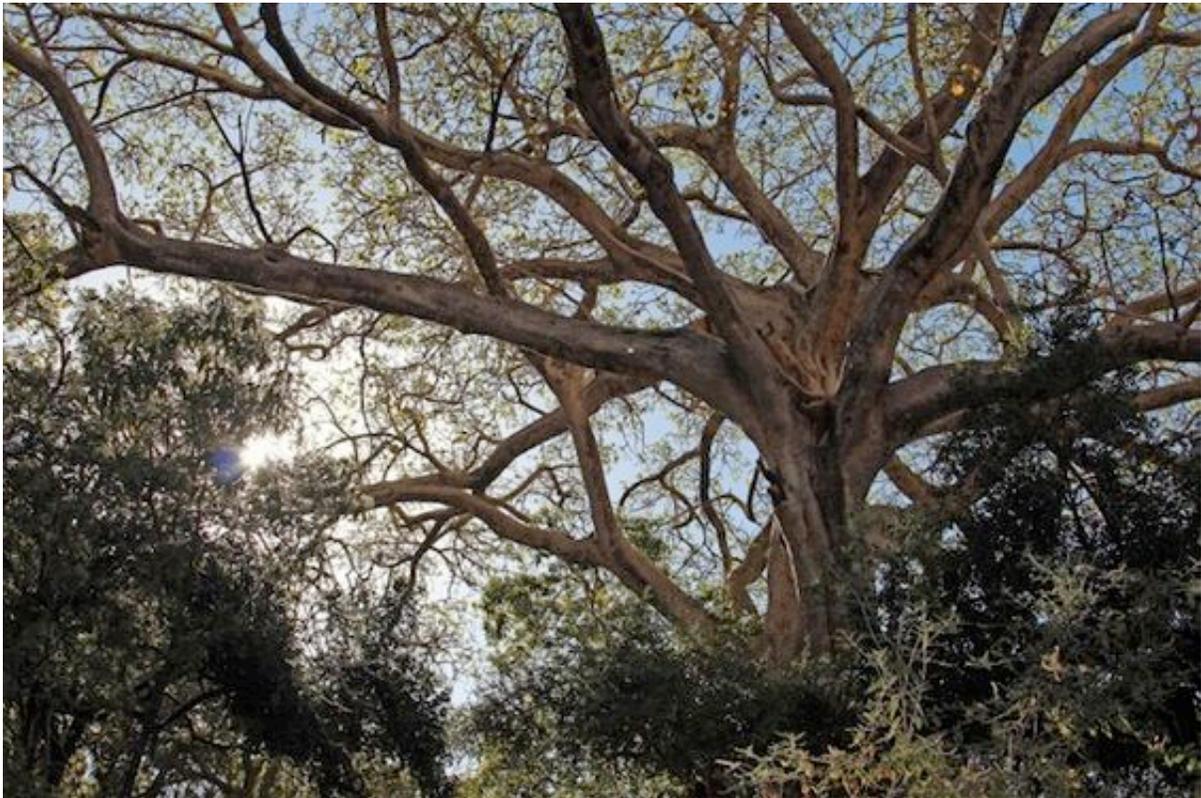


*Figura 1.* Torre warka. Fuente: warkawater.org

El proyecto tomó como patrón de inspiración al árbol warka, esta especie de árboles es un reservorio de agua, sombra protectora y ventilación natural que constituye un papel fundamental dentro del ecosistema y la cultura de Etiopía. En ella, el árbol warka es una verdadera institución, su sombra convoca a reuniones públicas y tradicionales, su sola presencia es un hito cultural por sí mismo, referencia inequívoca de seguridad, pertenencia y cobijo. El proyecto que le replica es un claro ejemplo de la integración de la naturaleza a soluciones que fomentan la sostenibilidad y permiten la adaptación al medio ambiente sin afectarlo.

---

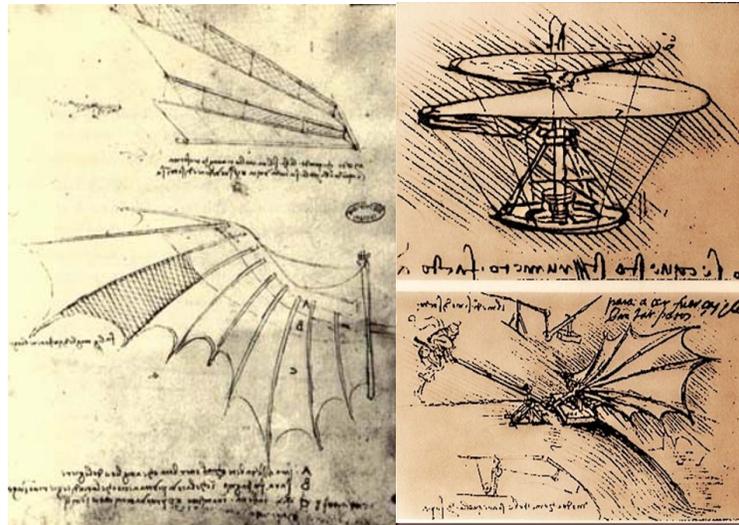
<sup>2</sup> Recuperado de: <http://www.warkawater.org> el 3 de febrero del 2018.



**Figura 2.** Árbol Warka. Fuente: [inhabitat.com/nature-inspired-warkawater-towers-use-condensation-to-collect-drinking-water-in-ethiopia](http://inhabitat.com/nature-inspired-warkawater-towers-use-condensation-to-collect-drinking-water-in-ethiopia).

No es necesario insistir en que la inspiración por la naturaleza ha existido desde los orígenes de la historia humana, pero es prudente recordad y puntualizar ciertos eventos. Platón, Aristóteles y Demócrito, discutían sobre la mimesis, relacionando aspectos relativos a la apariencia estética de las cosas. Demócrito escribió: “imitamos la naturaleza, cuando tejemos imitamos a la araña, cuando edificamos, a la golondrina, cuando cantamos al cisne y al ruiseñor...” (Wladyslaw, 1987, pág. 302).

Algunos predecesores como Leonardo Da Vinci<sup>3</sup>, Ernst Haeckel<sup>4</sup> y Fibonacci, observaban los fenómenos encontrados en la naturaleza. Mediante sus contribuciones en secuencias de números<sup>5</sup> o construcción de máquinas voladoras, se puede encontrar que siempre se ha buscado esa rememoración de querer trascender en la innovación de las construcciones y artefactos e incluso que ha influido en el diseño y trazo de patrones de ciudades.



**Figura 3.** Croquis que utilizó Leonardo Da Vinci, inspirado por las alas de algunas aves y mamíferos como el murciélago, los inventos que realizó fueron muy adelantados para su época, pero en tiempos posteriores ayudaron a muchos ingenieros y matemáticos al desarrollar estas ideas. Fuente: [ingaeronautica.wordpress.com/2010/10/28/las-maquinas-voladoras-de-leonardo-da-vinci](http://ingaeronautica.wordpress.com/2010/10/28/las-maquinas-voladoras-de-leonardo-da-vinci).

<sup>3</sup> Leonardo da Vinci (1452-1519) incursionó en campos tan variados como la aerodinámica, la hidráulica, la anatomía, la botánica, la pintura, la escultura y la arquitectura, entre otros. Sus investigaciones científicas fueron, en gran medida, olvidadas y minusvaloradas por sus contemporáneos; su producción pictórica, en cambio, fue de inmediato reconocida como la de un maestro capaz de materializar el ideal de belleza en obras de perturbadora sugestión y delicada poesía. Recuperado de: <https://www.biografiasyvidas.com/biografia/l/leonardo.htm>. Consultado el 8 de mayo del 2018.

<sup>4</sup> Biólogo alemán (1834-1919). Estudió medicina en las universidades de Berlín, Wurzburg y Viena, tras lo cual se incorporó, en calidad de asistente de zoología, a la Universidad de Jena, de la que sería catedrático (1865-1909). Recuperado de: <https://www.biografiasyvidas.com/biografia/h/haeckel.htm>. Consultado el 8 de mayo del 2018.

<sup>5</sup> La espiral, serie de Fibonacci o secuencia áurea es muy conocida en el mundo matemático. Esta secuencia fue inventada a finales del s. XII, por el matemático italiano Leonardo de Pisa (1170-1240), quien era más conocido por Fibonacci. Recuperado de: <http://tradeandroll.com/todo-sobre-retroceso-de-fibonacci/>. Consultado el 8 de mayo del 2018.

En la actualidad la ciencia y metodología de la biomímesis, permite traducir la inspiración que brinda la naturaleza por doquier, teniendo expresiones enriquecedoras en el campo del diseño y la arquitectura, pues no sólo se inspira de las formas de la naturaleza sino que explora y traduce la eficiencia, funcionamiento y estructura de cualquier organismo vivo.

La biomimética puede ayudar a cambiar la percepción del ser humano, mirando a la naturaleza como una fuente de soluciones funcionales y estéticas en lugar de obstáculos a superar. Los desarrollos tecnológicos han nacido de la mentalidad de que la naturaleza puede ser aprovechada para satisfacer las necesidades humanas (Agkathidis, 2017, pág. 10).

## 1.2. La biomímesis en la arquitectura.

El diseño arquitectónico ha surgido de la necesidad de refugio y expresión estética, hoy los arquitectos tienen la capacidad de diseñar e implementar edificios con tecnologías y estrategias que brindan altos niveles de comodidad en cualquier clima. A pesar de que la tecnología ha tenido mucho éxito en facilitar la supervivencia de la humanidad, tiene un ángulo oscuro pues también ha ido incrementando el agotamiento de los recursos, la contaminación y el cambio climático.

La aplicación de las ciencias de la vida en el diseño de edificios se ha limitado hasta ahora a la imitación de formas orgánicas. Un ejemplo de ello se puede observar en la biomórfica<sup>6</sup>, en particular dentro de la arquitectura este término se utiliza con frecuencia para describir formas y patrones inspirados en la naturaleza (Agkathidis, 2017, pág. 8). Los biólogos y ecologistas han estudiado las influencias ambientales sobre la fisiología y el comportamiento animal y vegetal, pero la traducción de estas observaciones y el análisis a la arquitectura ha sido poco explorada en el ámbito humano y social.

La resistencia de las especies en un hábitat particular puede proporcionar lecciones valiosas para el diseño. Así como los animales tienen comunicación sensorial, también los edificios

---

<sup>6</sup> El concepto de biomorfismo originalmente viene de Goethe, aunque el término lo introdujo por primera vez el poeta y escritor británico Geoffrey Grigson en 1935, en referencia a la obra del escultor Henry Moore. Este término significa, carácter de una obra de arte que evoca formas orgánicas, describe una síntesis que tiende un puente entre el surrealismo y el arte abstracto, y desde entonces se ha asociado con formas fluidas y orgánicas, tanto en el arte como en la arquitectura. (Agkathidis Asteorios, Arquitectura Biomórfica diseño orgánico y construcción, China: Prompress, 2017, pág 8)

tienen sistemas de estructura, circulación, protección, uso de energía, agua, comunicación y regulación térmica. Visto como una red de sistemas internos que interactúan con su entorno, que a su vez forman parte de una red global de sistemas más grande, el edificio puede tener sistemas, tales como esquelético, circulatorio, inmune, digestivo, inspiración de las interacciones de un animal con su reino ecológico (Mazzoleni, 2013, pág. 4).

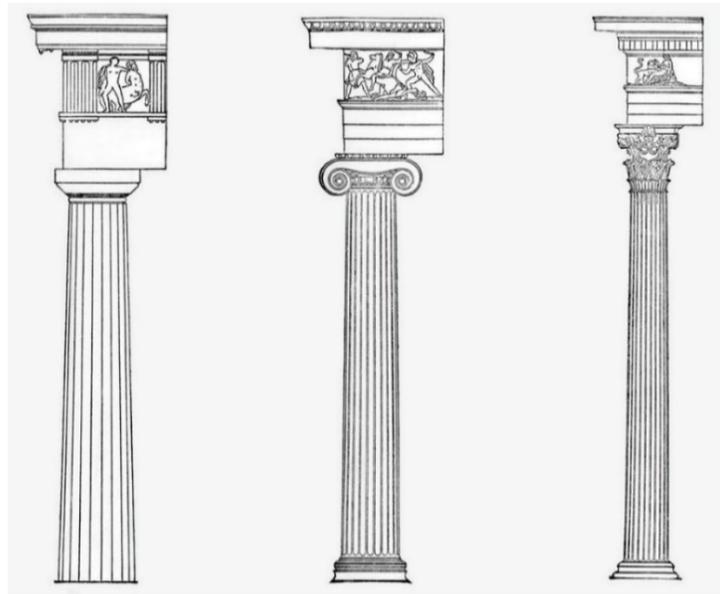
No obstante, la arquitectura biomimética, no sólo abarca los aspectos de la imitación relacionados con la forma, sino también las cualidades inherentes de la construcción. Existen otras categorías diversas de la arquitectura que conectan también con la naturaleza, como ejemplo están: la arquitectura orgánica, la arquitectura vernácula, y la arquitectura del paisaje.

Según la opinión de Álvaro Siza<sup>7</sup> con la relación a la conexión entre la naturaleza y la arquitectura dice: “Lo que es hecho por el hombre es natural. Cada vez más se piensa que debe haber una cierta distancia entre lo natural y lo artificial. Pero también debe existir un diálogo entre ambos. La arquitectura proviene de las formas de la naturaleza, pero también transforma la naturaleza... (Finsterwalder, 2011, pág. 35)”.

Históricamente, la forma ha sido la principal fuente de inspiración de la naturaleza, desde simples influencias formales hasta la traducción más simbólica al lenguaje arquitectónico. Un ejemplo de ello se vio con los antiguos griegos quienes formaron la ornamentación de sus columnas y templos en la vida vegetal local para simbolizar la naturaleza (Benyus, 2002).

---

<sup>7</sup> Álvaro Joaquim Melo Siza Vieira nació en Matosinhos, Oporto, en 1933. Desde 1949 hasta 1955 estudió en la Escuela de Arquitectura de la Universidad de Oporto. Su primer proyecto construido fue terminado en 1954. Desde 1955 hasta 1958 fue colaborador del Arch. Fernando Távora. Fue profesor en la Escuela de Arquitectura (ESBAP) a partir de 1966-69 y fue nombrado profesor de "Construcción" en 1976. Recuperado de: [www.metalocus.es/es/noticias/alvaro-siza](http://www.metalocus.es/es/noticias/alvaro-siza).



**Figura 4.** Dórico, jónico y corintio, los tres órdenes de la arquitectura clásica griega, donde la naturaleza fue la principal inspiración para el diseño de éstas. Fuente: [www.nationalgeographic.com.es/historia/grandes-reportajes/dorico-jonico-y-corintio-tres-ordenes-griegos\\_12757](http://www.nationalgeographic.com.es/historia/grandes-reportajes/dorico-jonico-y-corintio-tres-ordenes-griegos_12757).

La biomímesis, o imitación empática de los modelos de la naturaleza, para el caso de la arquitectura, supone también recuperar conceptos ya empleados en la edificación tradicional de culturas como la mediterránea. No se trata sólo de aplicar avances tecnológicos despreciando los de antaño, sino recuperar los mejores sistemas, aunque hayan sido usados durante siglos o milenios, usando métodos ancestrales de aislamiento térmico, orientación, emplazamiento, aprovechamiento de materiales, etc.

El conocimiento de la naturaleza debe utilizarse fundamentalmente como un recurso para el diseño sostenible, y la realización de proyectos arquitectónicos cada vez más eficientes. Imitar la naturaleza supone crear modelos de movilidad y urbanidad no sólo que reduzcan su impacto negativo, sino que aporten beneficios al sistema, del mismo modo que un árbol produce sombra, frutos, cobijo, fertiliza el suelo y subsuelo y crea interdependencias con el resto de los animales y plantas de su alrededor, además de alimentarse de dióxido de carbono y emitir oxígeno.<sup>8</sup>

<sup>8</sup> Biomimesis: aprender arquitectura de las termitas- Nicolas Boullosa. (2015) Recuperado de: <http://apuntesdearquitecturadigital.blogspot.com/2014/10/biomimesis-aprender-arquitectura-de-las.html>

Existen una gran cantidad de proyectos arquitectónicos que retoman algún elemento de la naturaleza como inspiración, algunos de ellos imitan tal cual la forma y otros proyectos toman la parte funcional y sistémica de la naturaleza. Uno de los pioneros del siglo XIX que se inspiró en la naturaleza para el diseño de sus obras fue el arquitecto catalán Antonio Gaudí<sup>9</sup>.



**Figura 5.** Detalle de los balcones de la casa Batlló en Barcelona España, la arquitectura de Gaudí era una inspiración de la naturaleza. Fuente: Archivo propio de la autora.

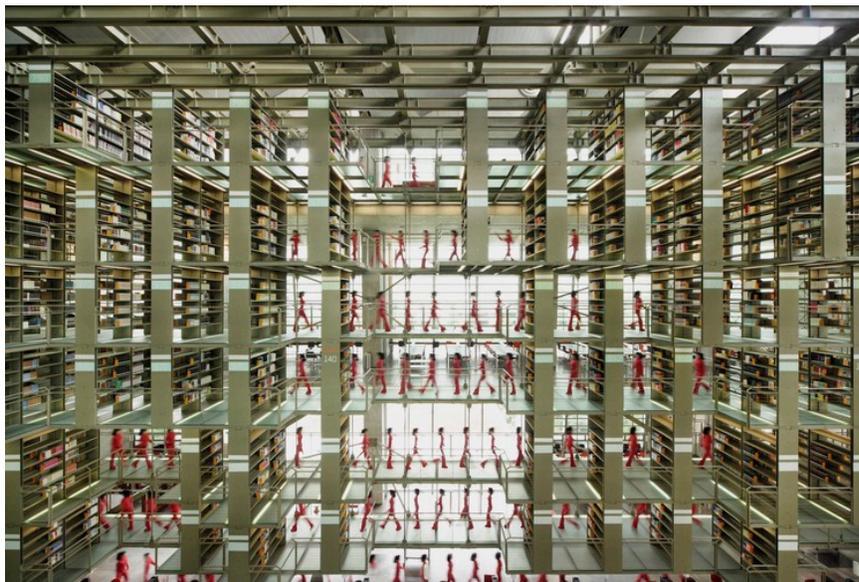


**Figura 6.** Interior de la Sagrada Familia, en Barcelona España. Fuente: barcelonasecreta.com

<sup>9</sup> Antoni Gaudí i Cornet fue un arquitecto catalán que ha sido reconocido internacionalmente como uno de los expertos más prodigiosos de su disciplina, además de uno de los máximos exponentes del modernismo. Su genialidad excepcionalmente rompedora fue artífice de un lenguaje arquitectónico único, personal e incomparable difícil de etiquetar. Recuperado de: <https://www.casabatllo.es/antoni-gaudi>. Consultado el 2 de mayo del 2018.

En su obra maestra póstuma, el templo expiatorio de la sagrada familia, Gaudí, imaginó, exploró y probó una variedad de elementos tomados de la idoneidad de las soluciones naturales; su inspiración principal fueron los bosques de coníferas, los prismas basálticos y los acantilados, mareas y el oleaje. Esta síntesis se puede observar en el interior de dicho recinto, pues está lleno de elementos que asemejan a un patrón fractal. La mayor parte de la arquitectura de Gaudí se inspira en las formas únicas de la naturaleza, adelantan paso al futuro, pues hoy en día la arquitectura biomórfica apenas se descubre.

Para el caso de México, un ejemplo de la síntesis entre la naturaleza y la arquitectura se ve reflejada en la Biblioteca Vasconcelos obra del arquitecto Alberto Kalach<sup>10</sup> construida en el año 2012, cuya obra a pesar de ser muy criticada por una deficiente ejecución constructiva, tuvo como inspiración un jardín botánico. Kalach afirma que “la arquitectura, debería existir como una respuesta a los problemas del entorno...”. A diferencia de Gaudí, Kalach no imitó la forma de un jardín, sino que sintetizó los elementos que constituyen un jardín y los tradujo a la arquitectura.



**Figura 7.** Interior de la Biblioteca Vasconcelos, en la Ciudad de México. Fuente: [masdemx.com](http://masdemx.com)

<sup>10</sup> El 13 de septiembre de 2017 Alberto Kalach fue nombrado el mejor arquitecto de México durante la primera edición del Premio Firenze Entremuros, dedicado a la arquitectura e interiorismo. Recuperado de Alberto Kalach: la arquitectura como extensión de la naturaleza: <https://masdemx.com/2017/09/alberto-kalach-mejor-arquitecto-mexicano-premio-mexico>. Consultado el 8 de mayo del 2018.

La biblioteca Vasconcelos es un edificio que apuesta por las transparencias, a través de una estructura que conecta orgánicamente cada punto del espacio con los demás; el contacto con la naturaleza se da por medio de jardines y un canal de agua. Y el acomodo de los estantes asemejan un escenario sacado de un libro de ciencia ficción, pues los libros simulan estar flotando dentro del espacio.

Los ejemplos mencionados demuestran que, en la mayoría de los casos, los arquitectos utilizan la naturaleza como fuente de inspiración. Algunos pueden ser muy formalistas imitando tal cual las formas y patrones de la naturaleza, otros únicamente retoman la esencia, función y características de la naturaleza para traducir esos elementos a un lenguaje arquitectónico.

Sin embargo, cabe mencionar una distinción importante, pues, no todos los arquitectos usan la naturaleza como fuente de inspiración de la misma manera. Dependiendo de algunos factores específicos, cada arquitecto decide la forma en la que va a la naturaleza, cada caso y cada proyecto es diferente y en consecuencia toma distintos elementos de la naturaleza.

De acuerdo con la filosofía arquitectónica de cada diseñador, se puede estudiar la naturaleza para resolver los problemas que se tienen en un proyecto en particular. La naturaleza puede dar respuestas y soluciones en muchas dificultades que los arquitectos tienen en el proceso de diseño de un cierto esquema. Estas dificultades podrían afectar la estructura de un edificio, la respuesta al contexto, la circulación, la materialidad, la funcionalidad o la forma de un edificio (Mazzoleni, 2013, pág. 26).

No es raro encontrar en el diseño en general y en particular en la arquitectura, la inspiración en la naturaleza, ya que puede tomarse como una analogía, un sistema en tanto un organismo y elemento vivo; en algunos casos se puede adoptar un término ajeno a la arquitectura y extrapolarlo a un elemento o sistema constructivo.

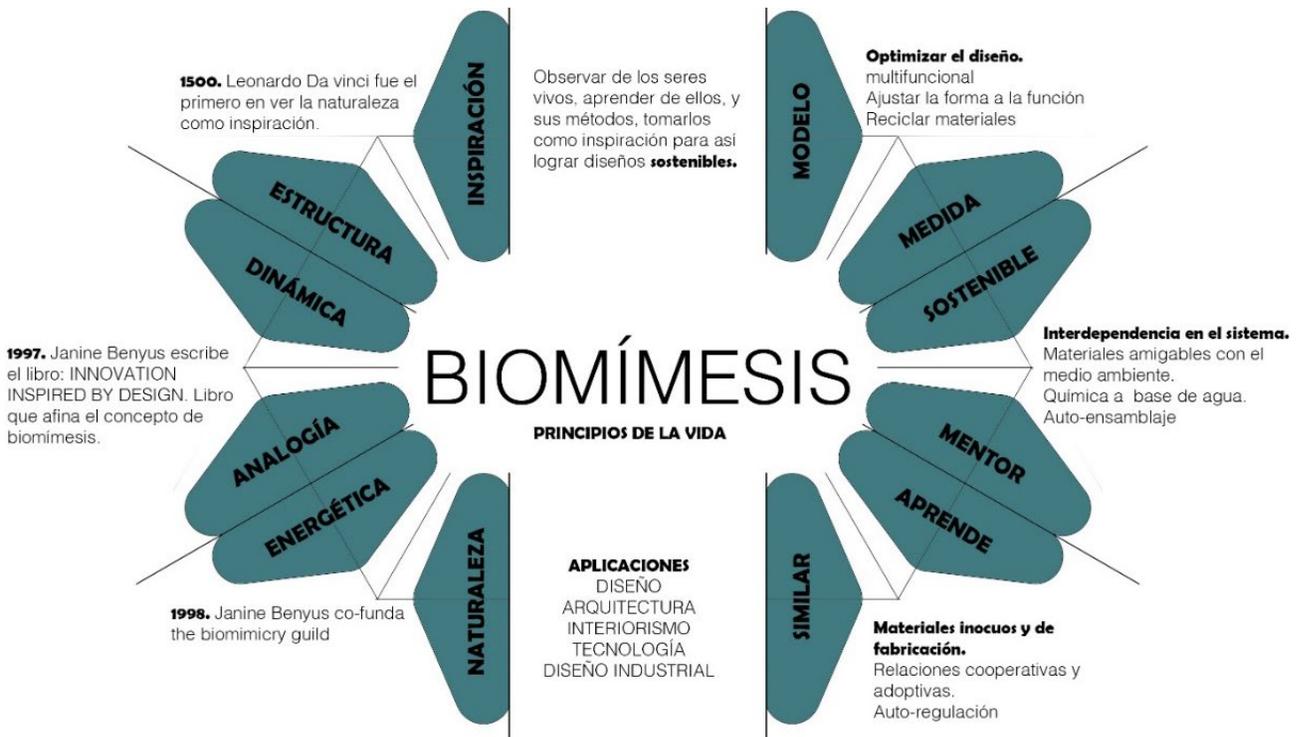


Figura 8. Esquema de la metodología biomimética. Elaboración propia de la autora, adaptado de Biomimicry Guide (2017).

### 1.3. Epidermis, función, conceptualización y su réplica en la arquitectura.

Una epidermis es una membrana epitelial que recubre la parte más superficial del cuerpo de los animales, es decir, la parte visible de la piel consistente en una capa formada principalmente por dos tipos de células; las superficiales y las profundas, las primeras de protección, las segundas germinales y constitutivas (Blumberg, 2004, pág. 16).

En otras palabras, una epidermis es un recubrimiento superficial descubierto del cuerpo, revistiéndolo prácticamente en su totalidad, aun en donde está ausente la primera capa y mucosas. La epidermis, la piel que reviste cada cuerpo humano, es el órgano más extenso del cuerpo<sup>11</sup>, esta membrana, retiene, protege, comunica, siente, y regula el equilibrio y la relación que configura cada organismo.

<sup>11</sup> La piel humana ocupa una superficie aproximada de 2 m<sup>2</sup> y su peso aproximado también es de unos 5 kg. Recuperado de: <https://www.onmeda.es/anatomia/piel.html>. Consultado el 7 marzo del 2018.

Dentro del espesor de una piel, se produce una transición y un cambio de morfología y fisiología básica en relación con el interior y en dirección al exterior, es decir, las células interiores basales son células vivas, son órganos internos y complejos, son aquellas células que forman la dermis. Por otro lado, las células exteriores están compuestas por un estrato apical<sup>12</sup>, el tejido que forma este estrato se considera como un tejido de revestimiento que se renueva constantemente (Blumberg, 2004, pág. 16).

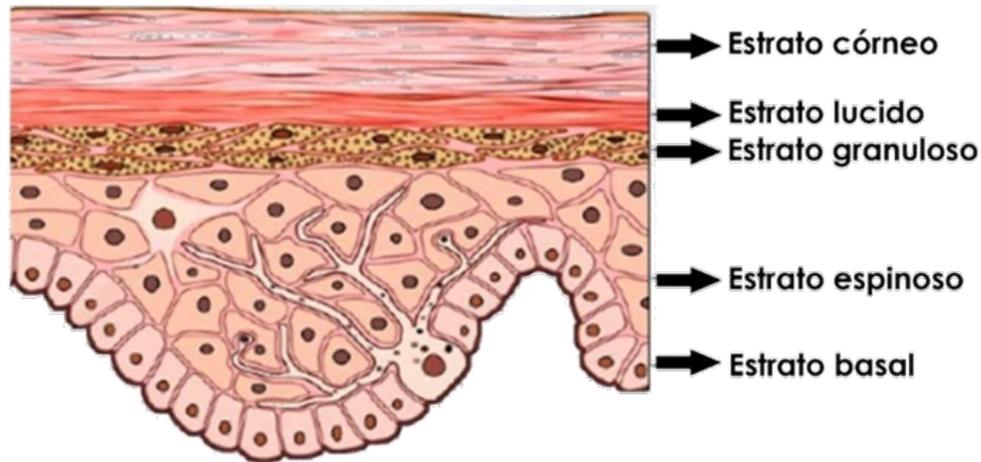
La naturaleza de una piel es tal que es al mismo tiempo un órgano inerte y un órgano dinámico. Es la mayor superficie de interrelación con el exterior, se puede decir que es el mayor órgano de intercambio, protegido por una capa de revestimiento, que atenúa la fragilidad tisular interna y que gradúa la interacción con el exterior (Lupton, 2002, pág. 20). Entre las funciones que más destacan de una epidermis es como una barrera protectora contra patógenos depredadores y factores ambientales y su función de actuar como un termorregulador<sup>13</sup>(Mazzoleni, 2013, pág. 35). En otras palabras, se puede decir que es un sistema inteligente de climatización, protección lumínica, y homeostato del contenido del edificio del cuerpo.

Para introducir detalles de la estructura, funciones y psicología de la piel para fines de esta investigación se tomó como modelo descriptivo la piel humana, debido a que ésta proporciona un patrón fácil de entender. En la figura 9 se puede observar la estructura de los estratos que componen una epidermis humana lo que ayuda a entender su función como un agente protector ante factores externos.

---

<sup>12</sup> El estrato apical es la cara opuesta al estrato basal y está orientada hacia la superficie epitelial. Recuperado de: [www.medic.ula.ve/histologia/anexos/celulavirtual/membranaplasmatica/especializaciones](http://www.medic.ula.ve/histologia/anexos/celulavirtual/membranaplasmatica/especializaciones).

<sup>13</sup> La termorregulación o regulación de la temperatura es la capacidad que tiene un organismo biológico para modificar su temperatura dentro de ciertos límites.



**Figura 9.** Estructura de una epidermis humana, se puede observar las capas o estratos que constituyen a una epidermis. Adaptado de: [www.newgelplus.com/blog/2017/10/13/three-layers-skin-functions](http://www.newgelplus.com/blog/2017/10/13/three-layers-skin-functions).

Es fácil desprender de los párrafos anteriores que las nociones de revestimiento y epidermis son análogas, pues, la degradación y desprendimiento responden a fenómenos físicos, químicos o mecánicos homólogos.

La piel es el órgano ideal para usar como inspiración en la arquitectura gracias a sus funciones, la piel es parte de un sistema del cuerpo que se puede describir como algo definible y fácilmente visible (Lozano, 2008, pág. 15). El concepto epidermis referido o extrapolado a la arquitectura en definición o alegoría, ha sido tratado ampliamente por diversos autores.<sup>14</sup> Peter Zumthor en su libro “Atmosferas” dice:

Como nuestro cuerpo, con su anatomía y otras cosas que no se ven, una piel. Etc., así entiendo la arquitectura y así intento pensar en ella; como masa corpórea, como membrana, como recubrimiento, tela, terciopelo, seda..., todo lo que me rodea, ¡El cuerpo! No la idea de cuerpo, ¡sino el cuerpo! Un cuerpo que puede tocar (Zumthor, 2006, pág. 23).

<sup>14</sup> Entre los diversos autores que han utilizado el concepto de epidermis están: Álvaro Lozano (Lozano, 2008), Gilles Deleuze (Deleuze, 1969), Graziella Trovato (Trovato, 2007), Ellen Lupton (Lupton, 2002), Ilaria Mazzoleni (Mazzoleni, 2013)

En la Bienal de Arquitectura de Venecia 2018, se retoma el concepto de epidermis y revestimiento en donde ambos términos se describen como una solución para evitar la continua proyección de edificaciones excepcionales que atentan contra el biotopo urbano. Recuperado de: [www.bienaldivenecia.mx/es/biennale-architettura/2018](http://www.bienaldivenecia.mx/es/biennale-architettura/2018). Consultado el 11 de mayo del 2018.

De una manera homóloga, el término epidermis, piel o membrana no es raro encontrarlo como concepto en el diseño y en el lenguaje arquitectónico. Diversos artistas, arquitectos y diseñadores han encontrado un término biológico como es el caso de la epidermis como fuente de inspiración. Lupton dice “la piel es una compleja membrana que contiene al cuerpo unido, también abarca el espectro completo del diseño de hoy”. (Lupton, 2002, pág. 125)

La asimilación de “fachada” a “piel corpórea” es casi inmediata, una epidermis no se limita solamente a la parte exterior sino también a la interacción con el interior, es decir, tiene una función dual. El término epidermis para fines de esta investigación se entenderá entonces, extrapolando como, una membrana de la arquitectura que engloba todas las superficies visibles y palpables de los diversos elementos que definen los espacios tanto interiores como de transición, más allá de un simple revestimiento o recubrimiento.

Por extensión, se puede describir una epidermis también como un conjunto de superficies perceptibles de un edificio que configuran un espacio vital. Son dichas superficies las que imprimen un carácter al mundo visible, tangible y transitable de la arquitectura, como la piel hace el cuerpo en hombres y mujeres.

La epidermis define los espacios, gracias a esta capa se pueden alcanzar atributos de habitabilidad muy variados, pues de ella depende en gran medida la calidad acústica, óptica, háptica<sup>15</sup>, térmica, lumínico-cromática y cinestésica<sup>16</sup> de los espacios.

Las epidermis arquitectónicas son un medio que permite la interacción entre el exterior y el interior, son capaces de determinar el confort, el impacto ambiental e incluso hasta el consumo energético. A partir de este momento, al referirse a recubrimientos, acabados, revoques, remates o ejecuciones arquitectónicas finales, se entenderá como una piel flexible, que permite experimentar con diversos campos estéticos y funcionales.

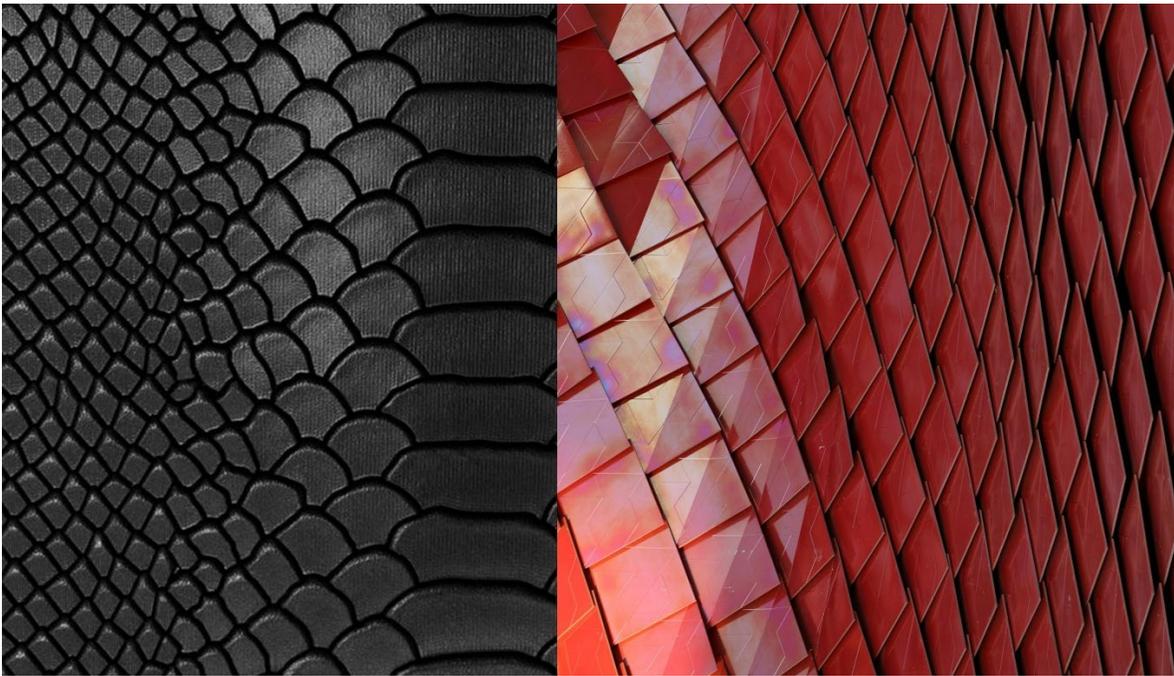
---

<sup>15</sup> La Háptica, se considera como el estudio del contacto y las sensaciones. El sentido del tacto es extremadamente importante para los seres humanos, pues no sólo provee información sobre las superficies y texturas, sino que también es un componente de comunicación no verbal en las relaciones interpersonales, y es vital para llegar a la intimidad física. Recuperado de: <https://arquitecflo.files.wordpress.com/2013/05/la-haptica-y-su-aplicacion-a-la-arquitectura>. Consultado el 5 de marzo del 2018.

<sup>16</sup> Es la ciencia que estudia el movimiento humano. Recuperado de: <https://minicolepriego.es/inteligencia-corporal-cinestesica>. Consultado el 5 de marzo del 2018.

Una epidermis edificada, es el semblante de un espacio. Es un límite físico, con espesor, peso, y volumen, pero también ocupa un espacio en el mundo de las variables que limita y regula. Entre las variables de las que depende éste se encuentran la humedad, el ruido, la seguridad o la privacidad. La envolvente, la epidermis es algo, que vuelve el interior acogedor.

La homologación entre la naturaleza y la arquitectura se puede observar notablemente a lo largo de la historia de la arquitectura, las pieles han sido elementos de inspiración para decorar espacios interiores y exteriores. Esta inspiración se ha visto reflejada hoy en día en la arquitectura contemporánea y en el desarrollo de nuevos materiales que asemejan una piel, ya sea humana o de algún aspecto que esté ligado con la naturaleza.



**Figura 10.** A la izquierda, detalle de la piel de una víbora, a la derecha, detalle del pabellón diseñado por el arquitecto Daniel Libeskind para expo mundial de Milán 2016. Fuente: Elaboración de la autora.

El concepto de epidermis en la arquitectura se muestra como la “piel” de un edificio, proporcionándole una identidad propia mediante su materialidad, color y textura; es un elemento externo y visible, que muestra la evolución cultural de una sociedad.

#### 1.4. Epidermis como acabado arquitectónico en muros

Hablar de recursos técnicos y materiales de acabado<sup>17</sup> referidos a la epidermis de un edificio es hablar de todos los materiales de construcción y de la arquitectura misma. Los revoques y revestimientos son elementos que definen el carácter y la imagen de un edificio, es decir, estos actúan como una piel protectora y cumplen gran cantidad de funciones. Un sistema de recubrimiento está determinado por la correcta elección de los materiales. Desafortunadamente, estos se aplican durante la última fase de la obra, por esta razón a menudo se llevan a cabo cuando el presupuesto ya está agotado, y suele traducirse en su empobrecimiento.

Los atributos de toda obra arquitectónica están determinados, entre muchos otros factores, por la acertada elección, correcta aplicación y estabilidad física de los materiales de acabado arquitectónico. Derivado de esta situación es importante tener presente el concepto de acabado arquitectónico desde las primeras instancias del proceso constructivo, pues es ahí donde se toman las grandes decisiones, una de ellas, la definición de materiales que con todo su poder de comunicación contribuirán a definir la calidad de los futuros espacios (Lozano, 2008, pág. 17).

Con anterioridad se definió el concepto de epidermis arquitectónica, entendiendo que una piel arquitectónica es un conjunto de superficies, configurando un espacio; por lo que, así como ocurre en la naturaleza, dentro de la arquitectura un edificio es una síntesis de redes donde cada una no sólo cumple una función en particular, sino que interactúa con el resto de las redes, dando origen a un conjunto funcional llamado edificio.

Una de las partes esenciales de esa síntesis llamada edificio es la membrana, envolvente o epidermis, que tiene como función definir tanto el interior como el exterior de la arquitectura y su correlación entre estos espacios. Cada elemento integrante de una epidermis llámese, muro, cubierta, entrepiso, etc., cumple su propio rol, dentro de un sistema.

Un edificio, está compuesto de un conjunto de planos y superficies de acabado, es decir está constituido por un conjunto de redes que integran un sistema; por lo tanto, los acabados de cada red deben caracterizarse por ser consecuentes con las peculiaridades del sistema al cual sirven.

---

<sup>17</sup> El termino acabado, de acuerdo con el RAE, significa “perfeccionamiento o retoque de una obra o labor”. Recuperado de: <https://dle.rae.es>. Consultado el 2 de mayo del 2018.

Dentro de ese sistema, se desglosan dos dimensiones, una piel exterior y una interior; las pieles interiores son aquellas superficies vistas en los muros, columnas, plafones, losas de un hábitat interno, mientras que las pieles exteriores constituyen aquellas superficies de cubierta, fachada y su diafragma con los pisos exteriores (Lozano, 2008, pág. 81).

Así como los diferentes elementos de la epidermis o envolvente arquitectónica, dada su ubicación y función asignada en el conjunto, tienen su propio rol que desempeñar, también sus respectivas superficies expuestas en el interior y en el exterior están sujetas a formas de agresión determinadas, en primer lugar, con los agentes meteóricos del medio ambiente y en segundo su contacto con los usuarios.

Para fines de esta investigación se hace referencia únicamente al sistema constructivo de recubrimientos a su función y a su importancia dentro de la etapa de acabados en un proyecto arquitectónico. También es importante mencionar las “patologías” que puede presentar un revoque por problemas como, una inadecuada elección de materiales, factores atmosféricos, escasa mano de obra o incompatibilidad de materiales. El término patología será empleado en lo sucesivo, bajo la concepción equivalente a epidermis.

#### 1.4.1. Importancia de los recubrimientos.

El término “recubrimiento” alude a una gran cantidad de sistemas de protección, como los componentes de relleno, pinturas, barnices, esmaltes, estucos o revoques (Reichel , Hochberg, & Köpke , 2004, pág. 61). Existe una amplia gama de términos para hacer referencia a aquella capa protectora de superficies murales. Por esta misma razón en diversas ocasiones el manejo de diferentes términos puede resultar confuso y polémico. Muchas veces se puede interpretar incorrectamente el significado y la función que cumple una epidermis.

Existen términos coloquiales que tienen una connotación cultural y de acuerdo con cada región o país, se le llama de una forma distinta que al final el significado resulta ser en términos generales un recubrimiento arquitectónico para superficies murales. Entre los diversos términos que existen están los siguientes: revoques, pañetes, pinturas, enlucidos, morteros, aplanado y recubrimiento.

En algunas ocasiones se llega a confundir el término recubrimiento con revestimiento, sin embargo, un revestimiento tiene un significado distinto y cumple una función diferente a un recubrimiento. A manera de analogía un revestimiento es a lo que una vestidura al cuerpo humano, es decir es aquella modalidad de un acabado en el cual se utilizan materiales sólidos, ya sean rígidos, semirrígidos o flexibles. En la tabla 1 se muestran los tipos de recubrimientos de acuerdo con el material que los constituye.

| TIPOS DE REVESTIMIENTOS           |   |  |   |
|-----------------------------------|---|--|---|
|                                   | Materiales que lo constituyen   | Agentes de sujeción  | ACABADO   |
| <b>REVESTIMIENTOS PESADOS</b>     | Productos sólidos rígidos cuyo estado de la materia es de absoluta dureza tales como, losetas, baldosas, tejas y lajas.   | En húmedo: morteros de cemento, pegamentos.<br>En seco: pernos, clavos, anclajes, tornillos y similares.   |    |
| <b>REVESTIMIENTOS SEMIPESADOS</b> | Constituidos por productos semirrígidos, tales como, tableros de madera aglomerada, placas de cemento, láminas de materiales plásticos, láminas de vidrio, acero, aluminio, fibras, yeso y otros. | Este tipo de materiales se fijan al soporte por medio de cementos aéreos, engomados, autoadhesivos, y algunos derivados del petróleo.  |   |
| <b>REVESTIMIENTOS LIGEROS</b>     | Constituidos por productos sólidos flexibles, tales como, tapetes, mantas, mallas, tejidos, cortinas, linóleos, etc.  | A excepción de las cortinas y persianas, que suelen ser suspendidas de su borde superior los agentes de fijación son: emulsiones por termofusión, derivados del epóxico, y productos con características adherentes. |  |

**Tabla 1.** Tipo de revestimientos que existen junto con los agentes de sujeción que los constituyen. Fuente: Elaboración de la autora (2018).

Este tipo de materiales no se valen por sí solos necesitan de un agente de sujeción para dar un soporte resistente; los agentes de sujeción son aquellos recursos técnicos, mecánicos, físicos y químicos, que como su nombre lo indica, se encargan de la unión de un revestimiento al soporte resistente.

Una vez que se ha explicitado el término revestimiento y su significado retomemos la parte fundamental de este trabajo que son los recubrimientos o como análogamente se maneja desde el inicio al tema de las epidermis arquitectónicas.

A diferencia de los revestimientos, un recubrimiento no significa vestimenta o ropaje, lo que hace la diferencia entre uno y otro; los recubrimientos se distinguen particularmente por parecerse o funcionar como una cutícula, costra, piel de mayor o menor espesor, lograda mediante un enlucido de una superficie con fluidos solubles<sup>18</sup> de mayor o menor consistencia.

Los enlucidos y revoques son recubrimientos de varias capas de mortero aplicados sobre paramentos verticales u horizontales con un espesor definido, estos sólo adquieren sus propiedades una vez endurecidos. Por su volumen el componente más abundante es el árido. El mortero también contiene conglomerantes<sup>19</sup> en cantidades más pequeñas que cohesionan con todos los componentes y determinan el proceso y tipo de endurecimiento, así como cantidades mucho menores de aditivos con propiedades especiales.

El espesor medio de los morteros estándar debe ser de 2 cm para el exterior y de 1.5 cm para el interior. El tipo de mortero, la técnica y el sistema de recubrimiento se elige en función de la superficie a tratar, la carga prevista y el acabado superficial deseado.

Los recubrimientos se clasifican dependiendo del grosor de la capa o costra por la cual están constituidos. Este factor está directamente relacionado con la consistencia del fluido que lo compone, el grosor de la capa de un recubrimiento los clasifica en tres grupos, recubrimientos de piel gruesa, recubrimientos de piel semigruesa y recubrimientos de piel delgada, como se ilustra de manera más detallada en la tabla 2.

---

<sup>18</sup> Son aquellos materiales que al momento de su aplicación se encuentran en estado licuefactible. Pueden ser premezclados, como las pinturas, o mezclados en obra, como las pastas y estucos, auxiliándose mediante un vehículo fluido aglomerante o conglomerante. Estos materiales, son de densidad variada e incluyen, desde pinturas hasta mezclas de piel gruesa de mayor o menor grado, conformando un acabado conocido como recubrimiento (Losada Lozano, 2008, pp. 149–150).

<sup>19</sup> Materiales que al hidratarse se vuelven pastosos, se solidifican y adquieren rigidez. Son utilizados como medio de unión o ligazón entre dos materiales, formando una masa llamada mortero. Los conglomerantes más utilizados son el yeso, la cal, y el cemento. Tomado de: [www.ecured.cu/Conglomerante](http://www.ecured.cu/Conglomerante). Consultado el 14 de marzo del 2019.

| TIPOS DE RECUBRIMIENTOS                  |  |  |  |
|--|--|--|--|
|  | Acabado según el material  | Características  | ACABADO  |
| <b>RECUBRIMIENTO DE PIEL GRUESA</b>      | Barro, repello, revoque, mortero de cemento, granito pulido, terrazo.  | Materiales en estado fluido soluble de alta consistencia, puede generar una variedad de texturas, desde un aspecto terso y brillante, hasta un acabado rustico y áspero.   |   |
| <b>RECUBRIMIENTO DE PIEL SEMI-GRUESA</b> | Estucos, estucos comunes, estucos venecianos.  | Materiales en estado fluido soluble de mediana consistencia, logran un grosor mayor al de las pinturas y menor al de los repellos, generan acabados tersos.  |   |
| <b>RECUBRIMIENTO DE PIEL DELGADA</b>     | Pinturas arquitectónicas, pinturas a la cal, pinturas al temple, pinturas al aceite, pinturas al esmalte, pinturas hidrófugas, ignífugas y reflectantes. | Materiales en estado fluido soluble de baja consistencia. Son recubrimientos que una vez solidificados brindan un acabado de piel muy tersa, cuyo espesor no pasa de ser una simple cutícula extremadamente delgada. |  |

**Tabla 2.** Tipo de recubrimientos dependiendo el grado de consistencia. Fuente. Elaboración de la autora, 2018.

Un recubrimiento o una piel arquitectónica se define como una capa de un único tipo de mortero aplicada en una operación que todavía no ha fraguado. Pasando un periodo de un día por cada cm de espesor, se aplica una segunda capa del mismo grosor. (Reichel , Hochberg, & Köpke , 2004, pág. 37)

La función de un recubrimiento al exterior es nivelar la obra de fábrica, es decir, la base o soporte del revoque, tapar pequeños huecos, formar una capa que proteja al edificio frente a la intemperie. En definitiva, sirve tanto para proteger como para proporcionar un acabado final a la fachada.

Una ventaja de los recubrimientos al interior es que están exentos de agresiones meteóricas, sin embargo, son un blanco de otro tipo de agresiones, que, aunque menos graves, no está de más tenerlas en cuenta. Los materiales interiores deben estar en sintonía no solamente con el ambiente lumínico y térmico de los espacios; también dada su función específica, ciertos ámbitos requieren de distintas condiciones y necesidades. Adicional a estas características una diferencia más entre un recubrimiento tanto exterior como interior va en función del espesor de cada uno.

Por otro lado, la configuración de espacios de la arquitectura de hoy debe corresponder con lo cultural, lo estético-decorativo y lo simbólico. No es menos cierto que el tratamiento epidérmico de un edificio actual debe concebirse, además, como una estrategia dirigida al mejoramiento ambiental y habitacional del edificio, fruto de un planteamiento en donde no solamente sea “el buen ver” sino que exista una armónica relación entre lo racional y lo estético, logrando así una arquitectura tan eficiente como confortable, asunto que no siempre se resuelve exitosamente.

Dentro de esta era moderna, con su tecnología y su industria de vanguardia, se brindan a la arquitectura una extensa gama de alternativas, recursos y procedimientos para afrontar satisfactoriamente desde los puntos de vista ambiental, funcional y estético. Sin embargo, no se debe pasar por alto que la arquitectura seguirá siendo siempre una manifestación de la cultura, debe por lo tanto garantizarse la empatía con el usuario, pues aquellas soluciones extrañas que no armonizan con sus rasgos socio-culturales atentan contra su identidad violentando su idiosincrasia cultural (Lozano, 2008, pág. 25).

Para la selección de un acabado o una piel arquitectónica eficiente es necesario tener en cuenta los factores predominantes que construyen un acabado arquitectónico, tales como: el color, la textura, la acústica, la háptica, la cinestésica y el olfato, esto se puede apreciar con detalle en la figura 11.

Dentro de estos factores la háptica es uno de los que más destacan en la arquitectura ya que viene inmediatamente definido el sentido del tacto. Estas sensaciones y percepciones se pueden lograr gracias al buen uso y manejo de los acabados en especial en los recubrimientos gracias a las texturas que estos pueden generar.

| FACTORES PREDOMINANTES  |  |   |
|---|--|---|
| P<br>I<br>E<br>L<br>E<br>S<br><br>A<br>R<br>Q<br>U<br>I<br>T<br>E<br>C<br>T<br>Ó<br>N<br>I<br>C<br>A<br>S | <b>COLOR</b><br>- Armonía<br>- Matiz<br>- Iluminación<br>- paleta de color                   |   |
|   | <b>TEXTURA</b><br>- Natural<br>- Artificial<br>- Dibujo<br>- Patrón geométrico<br>- Figura   |   |
|   | <b>ACUSTICA</b><br>- Intensidad<br>- Aislamiento<br>- Absorción                              |   |
|   | <b>HÁPTICA</b><br>- Tono<br>- Temperatura<br>- conducción<br>- convección<br>- climatización |   |
|   | <b>CINESTÉSICA</b><br>- Movimiento<br>- Espacio  |   |
|   | <b>OLFATO</b><br>- sensación odorífera   |  |

**Figura 11.** Factores predominantes que constituyen un acabado arquitectónico. Fuente: Elaboración de la autora, 2018.

La percepción total de los espacios arquitectónicos depende del material y del detalle del reino háptico, tanto como el gusto por la comida depende de los sabores de sus ingredientes.

Sin embargo, actualmente en la arquitectura se impone el espectro de entornos constituidos artificialmente.

En palabras de Steven Holl, estos entornos constituidos artificialmente tienen que ver con la generación de nuevos materiales y productos contemporáneos para acabados arquitectónicos lanzados al mercado:

Hoy en día las fuerzas industriales y comerciales que operan con “productos” de arquitectura tienden hacia lo sintético: carpinterías de madera con recubrimientos plásticos

impermeables de vinilo, metales “anodizados<sup>20</sup>” o recubiertos con un acabado exterior sintético, azulejos vitrificados con acabados sintéticos de colores, piedra que simula tener vetas de madera. Con estos métodos comerciales de fabricación, el sentido del tacto se elimina a medida que la textura, la esencia del material y el detalle se desplazan (Holl, 2018, pág. 37).

Como se afirmó arriba, dentro de las propiedades de los recubrimientos se encuentra una de las más importantes la cual es la adherencia, sin embargo, no es el único criterio importante para su selección, sino también, las propiedades físicas del recubrimiento y su adecuación a la hora de combinarse con la superficie a recubrir.

Para reducir al mínimo los daños producidos por la humedad en los recubrimientos exteriores, la absorción de agua de lluvia o de condensación, debe estar en equilibrio con el posterior secado. En los recubrimientos este equilibrio de humedad puede determinarse a través del parámetro de absorción de agua, asunto por demás problemático en alcaldías como Benito Juárez, Hidalgo y Cuauhtémoc de la Ciudad de México.

- Absorción del agua.

Cuanta más agua absorbe un recubrimiento, más se altera bajo su superficie. El recubrimiento se humedece y desprende quedando expuesto a los factores atmosféricos, lo que provoca el crecimiento de hongos o fauna parasita. La cantidad de agua determina el coeficiente de absorción. La cantidad que absorbe en 24 horas indica el peso por unidad de superficie y tiempo:  $\text{kg/m}^2 \text{h}^{0.5}$ . Se considera elevada si supera los 0.5 kg y reducida si es inferior a 0.1 kg (Reichel , Hochberg, & Köpke , 2004, pág. 62).

---

<sup>20</sup> El anodizado es un proceso electroquímico que también puede aplicarse a los útiles de control para darles un mejor acabado estético y de propiedades mecánicas. Recuperado de: <http://www.measurecontrol.com/anodizado-del-aluminio/>. Consultado el 25 de mayo del 2018.

### 1.4.2. Tipo de recubrimientos

En la tabla 2, se definió un esquema de los tipos de recubrimientos con relación a su estado de consistencia. El grosor de la piel para un recubrimiento va a variar de acuerdo con la consistencia de la mezcla a utilizar, el acabado y la textura que se le quiera dar a la superficie. Cuando se refiere al grosor de las pieles se hace alusión a los recubrimientos y al espesor de estos.

#### a) Recubrimiento de piel gruesa

Son aquellos recubrimientos que se encuentran constituidos por materiales que se encuentran en estado fluido soluble de alta consistencia. Estos al solidificarse, ofrecen texturas rústicas o afinadas, según la ejecución del recubrimiento. El componente principal de la mezcla que constituye un recubrimiento de este tipo es, el conglomerante.

Las mezclas de alta consistencia que ofrece este tipo de recubrimiento constituyen un gran número de alternativas para el acabado final, desde un acabado de superficie tersa, hasta un acabado de superficie rústico.

#### b) Recubrimiento de piel semigruesa

Son aquellos recubrimientos cuyo material al momento de su aplicación, se encuentra en estado fluido de mediana consistencia. El espesor de estos es mayor al de las pinturas y menor al de los recubrimientos de piel gruesa. Cuando esta capa se solidifica, la superficie resultante da una apariencia rústica, como es el caso de los repellos o los esgrafiados<sup>21</sup>.

#### c) Recubrimientos de piel delgada

Aquellos recubrimientos cuyo material se encuentra en estado fluido soluble de baja consistencia, una vez solidificados su apariencia es un acabado terso, con un espesor que no pasa de ser una cutícula extremadamente delgada. La apariencia resultante puede ser brillante, mate, semi mate, dependiendo del tipo de aglomerante que conforme la mezcla.

---

<sup>21</sup> El Esgrafiado es una técnica ornamental arquitectónica utilizada para la decoración en el enlucido y revestimiento de muros, tanto en el exterior como en el interior de edificios.

Este tipo de recubrimientos lo forman todas las pinturas arquitectónicas, pinturas a la cal, al aceite, al esmalte, pinturas hidrófugas, ignífugas, luminosas y anticorrosivas, entre otras. Existe una gran variedad de tipología en los acabados, pero no solo engloban las texturas y acabados, sino que también están ligadas a la consistencia del material y a la forma de aplicación.

#### 1.4.3. Morteros para recubrimientos.

El mortero se define como una mezcla de conglomerantes, áridos y agua de amasado. Estos son aplicados en varias capas sobre diferentes superficies con un espesor definido. Por su volumen el componente más abundante es el árido, sin embargo, el mortero también contiene conglomerantes en cantidades más pequeñas que cohesionan todos los componentes y determinan el proceso y tipo de endurecimiento, así como cantidades mucho menores de aditivos con propiedades especiales.

Desde la antigüedad se ha venido conservando la relación 3:1 de arena y cal para capas inferiores. En algunos casos esta relación se conserva también en la última capa del recubrimiento, mientras que, en otros, se recomienda dar una mayor proporción de cal, es decir, morteros más refinados, más suaves y menos arenosos (Reichel , Hochberg, & Köpke , 2004, pág. 32).

Los morteros con menor contenido de conglomerante son más débiles y, con el tiempo, desprenden polvo con más facilidad, mientras que los que contienen mayores cantidades de conglomerante sufren considerables retracciones que pueden causar fisuras.

Como ya se mencionó, el espesor de los morteros debe ser de 2 cm para superficies exteriores y 1.5 cm para superficies interiores. No obstante, el tipo de mortero, la técnica y el sistema de recubrimiento se eligen en función de la superficie a tratar, el espesor y el acabado superficial deseado.

Las propiedades de los morteros para recubrimientos dependen esencialmente de los conglomerantes utilizados, criterios de selección del sistema de recubrimiento y de sus dosificaciones respectivas (Reichel , Hochberg, & Köpke , 2004, pág. 32).

La selección de un sistema de recubrimiento determinado depende del conglomerante elegido, de su estabilidad y de la difusión al vapor de agua, un criterio decisivo es el conocimiento de la

fórmula del mortero, del proceso de fraguado y de la compatibilidad o incompatibilidad entre el conglomerante y el árido.

### Conglomerantes.

Los conglomerantes minerales se dividen en los siguientes grupos: de cal, de silicato de calcio, de aluminato de calcio, de sulfato de calcio y de silicato. El grupo al que pertenece un conglomerante mineral determina el tipo de endurecimiento, que puede efectuarse mediante dos procesos: hidratación y carbonatación (Reichel , Hochberg, & Köpke , 2004, pág. 34).

Dentro de los conglomerantes más utilizados en la actualidad son las cales hidráulicas y los cementos. El tipo de conglomerante determina la resistencia, el tiempo de endurecimiento, resistencia a las sales, y la impermeabilidad del recubrimiento. los conglomerantes pueden mezclarse entre sí en cualquier proporción, esta característica los hace aptos para utilizarse en la elaboración de revoques con diferentes propiedades, dependiendo del proceso de endurecimiento principal de cada uno (Tabla 3).

| PROCESOS DE ENDURECIMIENTO DE LOS CONGLOMERANTES   |   |
|--|---|
| CARBONATACIÓN DE LA CAL  | HIDRATACIÓN DEL CEMENTO O LA CAL HIDRÁULICA   |
| $Ca(OH)_2 + H_2CO_3 = CaCO_3 + 2H_2O$<br>El CO <sub>2</sub> del aire y el agua de amasado forman ácido carbónico (H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ), que reacciona con el hidróxido de calcio para formar carbonato cálcico, cuya resistencia al agua es sólo limitada. | El material de partida se descompone en esta reacción. La adición de moléculas de agua y la formación de grupos- OH conducen a la formación de hidratos. El endurecimiento también se produce bajo el agua. |
| <b>Cocción:</b><br>$CaCO_3 + calor = CaO + CO_2$<br>Caliza + calor = cal viva + dióxido de carbono   | <b>Cemento Portland</b><br>Se forma un silicato de calcio resistente al agua e hidróxido de calcio, que se transforman en carbonato de calcio por acción del CO <sub>2</sub>                                |
| <b>Apagado:</b><br>$CaO + H_2O = Ca(OH) + calor$<br>Cal viva + agua = cal apagada + calor  |   |
| <b>Endurecimiento:</b><br>$Ca(OH)_2 + CO_2 = CaCO_3 + H_2O$<br>Cal apagada + dióxido de carbono= caliza+ agua. Las cales aéreas endurecen lentamente en el aire.   |   |

**Tabla 3.** Procesos de endurecimiento de los conglomerantes más utilizados, cal y cemento. Fuente: Adaptado de (Reichel , Hochberg, & Köpke , 2004, pág. 36)

### Carbonatación de la cal.

De la cocción de la caliza<sup>22</sup> ( $\text{CaCO}_3$ , carbonato de calcio) a temperaturas inferiores al límite de sinterización<sup>23</sup>  $1250^\circ\text{C}$ , se obtiene cal viva ( $\text{CaO}$ , óxido de calcio) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). La cal viva se apaga añadiendo agua. La cal apagada o también llamada, cal hidratada, cal en pasta o hidróxido de calcio, al expandirse, dobla su volumen. La cal apagada ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), vuelve a endurecerse en forma de caliza ( $\text{CaCO}_3$ ) en contacto con el  $\text{CO}_2$  del aire. El agua que se libera se evapora (Reichel , Hochberg, & Köpke , 2004, pág. 36).

### Hidratación del cemento.

Los cementos se solidifican y endurecen tanto en el aire como bajo el agua. Son conglomerantes hidráulicos, y están compuestos de caliza y arcilla, siendo la primera el componente principal. Los componentes hidráulicos son, el dióxido de silicio, ( $\text{SiO}_2$ ), óxido de aluminio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) y óxido de hierro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), los cuales se encuentran contenidos en la arcilla. Se forma una especie de harina la cual se calcina y muele en un horno rotativo a  $800\text{-}1450^\circ\text{C}$ , formando un Clinker de cemento.

Este producto se muele hasta obtener un cemento muy fino y se le añade anhidrita<sup>24</sup> como retardante. La hidratación del cemento se debe a una reacción entre las partículas de cemento y el agua, y empieza tan pronto como se añade agua, generando calor. La gelificación se inicia en la superficie de los granos del cemento y culmina con la transformación total de estos en silicato de calcio hidratado. Cuanto más pequeños sean los granos de cemento, más rápido se transforma el gel de cemento en cemento hidratado sólido. La hidratación de granos de mayor tamaño puede llevar años.

---

<sup>22</sup> Piedra Caliza. Nombre común del carbonato calcio. Contiene alto porcentaje de calcita, de materiales tríticos, como cuarzo o arcilla, lo que puede aportar un color más oscuro que el de la caliza más pura. Recuperado de: [https://www.ecured.cu/Piedra\\_caliza](https://www.ecured.cu/Piedra_caliza) Consultado el 16 de junio del 2018.

<sup>23</sup> Sinterización. El término sinterización designa los cambios geométricos que se producen cuando un conjunto de partículas es llevado a una temperatura elevada y dejado a ésta durante un tiempo suficientemente largo con el propósito de aumentar su resistencia. Recuperado de: <https://www.ecured.cu/Sinterización>. Consultado el 16 de junio del 2018.

<sup>24</sup> Químicamente, la anhidrita es un sulfato cálcico ( $\text{CaSO}_4$ ). A diferencia de otros minerales semejantes, como puede ser el yeso ( $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ ), la anhidrita no contiene agua en su estructura cristalina, es decir, se trata de un compuesto anhidro. Esta particularidad, así como su específica configuración cristalina, determinarán sus propiedades finales. La principal característica de la anhidrita es su capacidad de fraguar al entrar en contacto con el agua. Por lo tanto, se pueden realizar morteros de construcción sustituyendo los aglomerantes tradicionales (cemento) por anhidrita. Recuperado de: <http://www.anhidrita.com/>. Consultado el 16 de junio del 2018.

Por otro lado, la deshidratación puede interrumpir el proceso de fraguado, mientras que la adición de agua lo puede reactivar. El producto una vez endurecido resulta resistente al agua.

### Áridos.

Los áridos componen la mayor proporción en volumen de la mezcla, por tanto, junto con el conglomerante, influyen en las propiedades que definen la calidad del revoque, como la densidad, la permeabilidad, la resistencia a la compresión y la resistencia a la intemperie. Los áridos se clasifican según su estructura y su finalidad:

- Estructura densa: arena, arena triturada, grava, materiales granulares.
- Estructura porosa: piedra pómez, toba volcánica, arcilla expandida, ladrillo triturado.
- Hidráulicos: puzolana, tierra de Santorin, cenizas volcánicas, cenizas volantes.
- Coloreados: basalto negro, arena de cuarzo pigmentada.
- Brillantes: mica, conchas trituradas, vidrio machacado.

Cuidando la selección del tipo y composición de las arenas se pueden obtener texturas de acabado específicas. La forma de aplicación influye sobre la fórmula, especialmente el uso de granos gruesos y aditivos. La mezcla de diferentes granulometrías de arena reduce las dimensiones de los intersticios<sup>25</sup>. La cantidad de conglomerante necesaria para una determinada mezcla de áridos depende de la granulometría de la arena y la forma de los granos.

Aditivos, adiciones, fibras y materiales de refuerzo.

Los aditivos son específicos de acuerdo con cada fabricante, cada uno tiene sus propias fórmulas y patentes. Estos aditivos se añaden a los morteros para influir en sus propiedades, le puede otorgar a la mezcla propiedades adicionales de, permeabilidad, adherencia a la superficie, elasticidad y tiempo de fraguado.

Por otro lado, las adiciones son sustancias añadidas finalmente divididas. Influyen en las propiedades del mortero y, a diferencia de los aditivos, debe tenerse en cuenta su volumen.

---

<sup>25</sup> Espacios entre granos.

Sólo pueden utilizarse adiciones si su efecto sobre el mortero no es negativo, y no deben modificar la resistencia, la estabilidad del mortero, el fraguado y el endurecimiento del conglomerante.

Las fibras son materiales que mejoran la resistencia y reducen la vulnerabilidad frente al agrietamiento. Comúnmente se utilizaban como materiales de refuerzo el pelo animal, paja, cañas, fibras desmenuzadas, lana, fibras vegetales y estiércol.

Agua de amasado.

El agua de la red de abastecimiento es adecuada para ser utilizada como recurso de amasado en morteros.

Pigmentos.

Los áridos y los pigmentos incrementan el potencial decorativo de los materiales. Según la norma DIN 53 237<sup>26</sup>, para revoques y morteros pigmentados sólo pueden utilizarse pigmentos resistentes a la luz, a la cal y al cemento. Los pigmentos sólo pueden añadirse en cantidades que no afecten a la capacidad aglomerante del mortero (hasta un 5 % de la cantidad del conglomerante en seco). Cuanto más pigmento en polvo seco se añada, más seca será la mezcla; por ello los colores fuertes, que precisan más cantidad de pigmento, son más problemáticos (Reichel , Hochberg, & Köpke , 2004, pág. 39).

Como alternativa se utilizan pigmentos artificiales orgánicos o minerales. En general, los pigmentos orgánicos están elaborados por procesos químicos y los inorgánicos suelen ser de origen mineral. Se consideran pigmentos naturales:

- Pigmentos de tierra, minerales limpios, secos y finalmente molidos (ocre amarillo, óxido de hierro, tierra de siena, etc.).
- Pigmentos minerales elaborados por el calentamiento de azufre, arcilla, sosa (azul ultramarino, negro, vino, etc.).

---

<sup>26</sup> German Standard DIN 53 237: Pigments for colouring cement-based and lime-based building materials. (Pigments: Quality management and standarization in the light of DIN 53 237) 1992.

- Pigmentos de espinelas, minerales volcánicos (amarillo espinela, naranja espinela, azul espinela, etc.).

Si se elige el conglomerante adecuado, determinante a la resistencia a la intemperie de los recubrimientos, entonces no será necesario ningún tipo de pintura. La elección de una pintura debe realizarse teniendo en cuenta que se adapte al sistema de revoque utilizado, ya que una pintura inadecuada podría arruinar todo el sistema.

### 1.5. Patologías en los recubrimientos

Al igual que el organismo de los seres humanos en donde existen enfermedades y alteraciones de la piel, en un recubrimiento muchos de sus desarreglos y disfunciones se manifiestan mediante cambios de aspecto en su epidermis (Lozano, 2008, pág. 190).

Para los recubrimientos existen patologías tales como, incompatibilidad entre materiales, mala ejecución del sistema constructivo, inadecuada aplicación de los materiales, humedades, invasión de sales minerales, factores antrópicos y atmosféricos. Para evitar o reducir las patologías que pueda presentar un recubrimiento es fundamental tener un buen conocimiento y manejo de los materiales a emplear para la conformación de mezclas para revoques.

- Incompatibilidad de materiales

Un ejemplo de la incompatibilidad de materiales se puede ver en una inadecuada elección de pinturas. Por ejemplo, si un enlucido de cal se reviste con una pintura selladora, el  $\text{CO}_2$  no podrá intercambiarse con el aire y el agua no podrá ser transportada hasta el exterior, dos procesos esenciales para el endurecimiento gradual del enlucido de cal, que tiene la capacidad de autocicatrizarse las fisuras finas que se forman durante el periodo de endurecimiento. La capa selladora obstruye el enlucido, lo que significa que desprenderá polvo y perderá su resistencia.

Otro caso similar se da en el uso de la tierra al querer combinarla con otro material resulta desfavorable, pues la tierra presenta una enorme dificultad para relacionarse con otros materiales. Una vez que endurece, la organización cristalina de sus superficies no permite la adherencia de

otros materiales, especialmente los que posean mayor rigidez y menor porosidad. Incluso hay casos en que capas de una misma tierra no llegan a integrarse (Guerrero L. , La cal y el patrimonio edificado, 2008, pág. 20).

Estos ejemplos de incompatibilidad surgen por diversos factores, entre los que más destacan están, la falta de conocimiento acerca del comportamiento de los componentes de los sistemas de recubrimiento, situación que crea una fuerte dependencia y una limitación tecnológica. Otro factor que influye es la industrialización masiva de materiales sintéticos, el uso excesivo de cemento, pinturas plásticas y poliméricas que generan revoques impermeables limitando la transpiración de estos mismos. Por último, el poco conocimiento de las cualidades y limitaciones que pueden tener los materiales, pues en muchos casos se han tratado de combinar sistemas constructivos con materiales incompatibles y los resultados obtenidos han sido desfavorables.



**Figura 12.** Incompatibilidad de materiales por combinación de sistemas constructivos, concreto y adobe. Fuente: Archivo propio de la autora. 2019

Para el caso de la arquitectura de tierra, y en especial en sus recubrimientos, existen materiales nocivos e incompatibles, como lo son el cemento y las mallas metálicas.

Este problema de incompatibilidad se ha dado mayormente en inmuebles de tierra que son protegidos mediante la incorporación de recubrimientos de cemento que también limitan el adecuado intercambio cíclico de aire y vapor de agua, que realiza la tierra con el medio ambiente

con lo que la humedad se acumula en su interior y progresivamente se van disgregando tanto los recubrimientos como los componentes constructivos del núcleo de las estructuras (Guerrero L. F., El papel de la humedad y la compactación en la elaboración de recubrimientos de tierra, Junio 2016, pág. 14).



**Figura 13.** Desprendimiento de revoques de cemento y daños causados sobre la estructura de tierra. Fuente: Luis F. Guerrero, 2018.

Una de las características que deben tener los recubrimientos como protectores superficiales en estructuras de tierra es que deben ser permeables al vapor de agua, pero resistentes a la lluvia, es decir, las estructuras deben “transpirar y respirar” sin que se acumule el agua al interior.

Por otro lado, la densidad de los recubrimientos es muy importante, ya que ésta debe ser apropiada para resistir el desgaste por abrasión y los impactos mecánicos. Sin embargo, esta densidad no debe ser demasiado alta pues si los recubrimientos resultan pesados pueden perder su adherencia y acabar por desprenderse de las superficies que habrían de proteger.

- Desprendimiento de revoques

Se producen cuando el revestimiento pierde la adherencia con la base del soporte sobre la que está colocado. Sus causas pueden deberse al revestimiento, al soporte, o a la falta de hidratación al momento de aplicación.

Generalmente, el desprendimiento nace en una fisura o grieta por donde comienza a penetrar el agua de lluvia, la cual al infiltrarse aumenta su volumen, provocando la disgregación del mortero, o de la base si aquél es más resistente que ésta, quedando el revestimiento sin soporte.

- Fisuras

Las fisuras contribuyen a la penetración de agua y agentes destructores hacia el interior del material. Se pueden clasificar dos tipos de fisuras, por su estabilidad o por su anchura. Las primeras presentan variaciones dimensionales progresivas, pudiéndose medir. Son fisuras debidas generalmente a movimientos de tipo estructural o movimientos debidos a dilataciones y contracciones térmicas. En algunos casos, dependiendo de diversos factores, se abren y se cierran periódicamente.

Las fisuras estables que corresponden a un estado de ruptura estable del material, generalmente debido a movimientos que acaban siendo asimilados por la estructura. Estas fisuras son el resultado de las deformaciones plásticas, pudiendo ser causadas también por las retracciones de fraguado de los materiales.

El segundo tipo de fisuras de acuerdo con su anchura, son aquellas micro fisuras cuya anchura es inferior a 0,2 mm, pueden afectar a los recubrimientos en todo su espesor y se presentan generalmente en forma de red. Existen también las fisuras por dilataciones térmicas o hidrométricas tienen una anchura variable entre 0,2 y algunos milímetros. Generalmente afectan a todo el espesor de los recubrimientos de fachada. Este tipo de fisuras suelen estar estabilizadas. Por último, están las grietas que son las fisuras más peligrosas donde el espesor supera los 2 mm y, afectan a toda la anchura del paramento.

- Comportamiento de los recubrimientos ante la humedad.

Las superficies murales expuestas al exterior sin protección (sin recubrir) construidas en zonas húmedas y contaminadas a la larga pueden tener una invasión de insectos, hongos, musgos, líquenes, mohos y todo tipo de bacterias. Al primer componente que atacan dichos factores es al recubrimiento, pero si no se controlan acaban por trascender mucho más allá de lo meramente estético y con el paso del tiempo y la ausencia de mantenimiento, deterioran el inmueble.

Algunos materiales como el tabique y la tierra poseen un alto índice de higroscopía, esta característica hace que materiales de esta naturaleza estén en contacto permanente con la humedad, al combinar con materiales inorgánicos como el cemento, la interacción entre la arcilla y el cemento provoca la activación del contenido de sales solubles, lo que con el paso del tiempo ocasiona manchas y eflorescencias desencadenando la erosión del material, previa proliferación de los hongos y líquenes estimulada por la humedad.

Finalmente, es fundamental conocer el papel que desempeñan los agregados dentro de los sistemas constructivos para recubrimientos. Teniendo como base el comportamiento y la función que cumple cada material se pueden obtener revoques con mejores cualidades que eviten la proliferación de agentes antrópicos o deterioro por las inclemencias del clima.

### 1.6. Los acabados en la vivienda popular de México.

Como se mencionó al inicio de este capítulo la etapa de acabados arquitectónicos por lo general se lleva a cabo al final de la obra, por consiguiente, cuando se llega a esta etapa ya no se cuenta con el presupuesto suficiente para dar ese toque final a un inmueble. Para el caso de la vivienda popular, especialmente en México esta etapa de acabados jamás se ve reflejada debido a que la mayoría de los materiales para dicha partida resultan fuera del presupuesto original, por esa razón se opta por dejar los muros de las viviendas al desnudo.



**Figura 14.** Vivienda popular en Apan Hidalgo, se puede notar que las viviendas se dejan al descubierto quedando en obra negra. Fuente: Archivo de la autora, 2019.

Sin embargo, para entender esta problemática es necesario hacer una reflexión de la situación de la vivienda a nivel nacional, para poder así entender qué factores influyen y qué limitaciones existen para que no se llegue a esta etapa, para finalmente entender por qué se decide dejar los muros sin un tratamiento epidérmico.

La escasez de la vivienda y las dificultades que presenta un gran porcentaje de la población en México para acceder a ella, es una de las situaciones que ha enfrentado el país por años. Específicamente, la ciudad de México ha sufrido diversos cambios a lo largo de la historia, debido a que, se ha convertido en un laboratorio experimental para los arquitectos y urbanistas. Este problema no es nuevo, pues desde épocas prehispánicas se ha construido capa sobre capa, y tras la conquista de México, hasta la actualidad y se ha ido haciendo y rehaciendo la ciudad.

La vivienda y sus condiciones precarias son actualmente uno de los problemas más graves, no sólo de México sino de todas las ciudades latinoamericanas. La gran demanda y los pocos recursos de la población para satisfacer sus condiciones básicas hacen que estos últimos necesiten de ayuda del gobierno para emprender la construcción o el mejoramiento de sus viviendas.

El problema de la vivienda no debe mirarse de forma aislada, sino más bien, debe ser analizado desde una perspectiva multidisciplinaria, debido a que, son muchos los factores los que intervienen en su desarrollo y evolución. Sin embargo, este problema no se puede entender sin antes tener un panorama global y particular de cómo han ido creciendo las ciudades y cuáles han sido los factores involucrados.

Recordemos que en la Europa del siglo XIX comenzó la preocupación por las condiciones de habitabilidad provocadas por la revolución industrial. El movimiento migratorio del campo a la ciudad llevó a éstas últimas a aumentar rápidamente su población y, en consecuencia, la acumulación de habitantes y las malas condiciones de salubridad. Desde la política y la ética surgieron las primeras intenciones de solucionar dichos problemas, que afectaban a las clases sociales más bajas, y aparecieron las primeras normativas urbanísticas que regularon acciones tanto habitacionales como urbanas, cuyo principal objetivo era conseguir un mejoramiento de las condiciones higiénicas.

Durante varios años, diversos arquitectos dedicaron parte de su vida al estudio y búsqueda de soluciones para una vivienda enfocada a la clase social más baja, cuyos requerimientos eran limitados. Así nacieron proyectos de unidades habitacionales en los que se experimentaron los conceptos de esta nueva arquitectura dirigida a un cliente con características diferentes (Sanchez Corral, 2012, pág. 39).

La vivienda social estaba destinada a satisfacer las necesidades básicas de habitabilidad de las clases con menos recursos. El pensamiento funcionalista llegó a reducir el concepto de “vivienda social” a “vivienda mínima”, y, por lo tanto, a “vivienda barata”, lo cual implicó una reducción de la calidad del espacio y los materiales, bajando la calidad de las condiciones de habitabilidad.

En México, el problema de la vivienda es causado por diversos factores además del desmedido crecimiento demográfico, como son la migración descontrolada, el ineficaz sistema financiero, la inadecuada legislación y el deficiente sistema administrativo. Pero no solo existen los problemas en la vivienda social en México, existe otro problema aún mayor, el cual es, la autoconstrucción.

La vivienda de autoconstrucción se define como, aquella que es construida por el mismo habitante, sin ningún factor legal, político y económico que lo respalde. Esta autoconstrucción y la falta de políticas públicas eficientes causan la generación de viviendas “informales”, es decir, aquellas viviendas que se construyen con materiales de calidad insuficiente, según los estándares del país.

La autoconstrucción de la vivienda tiende a caracterizarse por la irregularidad y la precariedad, además de edificarse mediante un proceso progresivo, mismo que implica que en algún momento las necesidades básicas no se podrán satisfacer adecuadamente. La primera acción de la población es invadir el espacio que habitará. Los lotes que principalmente invaden son derechos de vía de ferrocarriles o alta tensión, cauces de agua, terrenos de poco uso o propiedad del gobierno local y terrenos ejidatarios y que muchas veces no cuentan con un uso de suelo con permisos de fraccionamiento.



**Figura 15.** Contraste entre la vivienda popular rodeada de edificios. Vista panorámica desde la avenida constituyentes. Fuente: Archivo de la autora, 2016.

Las “viviendas informales” son erigidas con materiales reciclados o de desperdicio que los habitantes van recolectando de diferentes maneras, lo que hace que carezcan de una estructura formal. Principalmente la autoconstrucción de la “vivienda informal” empieza con elementos como polines o tablones de madera forrados con láminas de cartón, asbesto, metal galvanizado, o plásticos para crear una envolvente que funciona como cuarto.

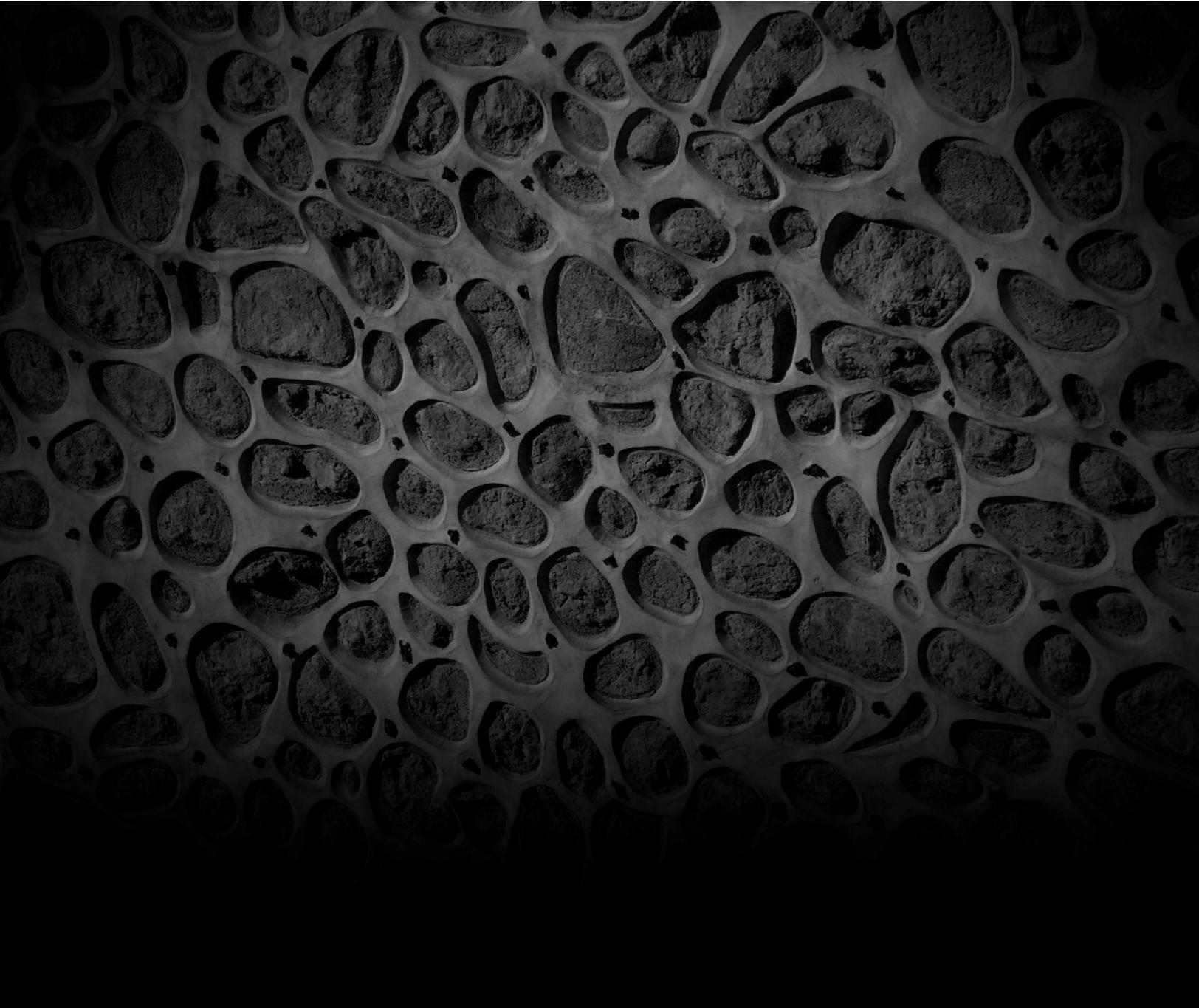
Posteriormente al paso de invasión, comienza una segunda transformación de este tipo de vivienda que dependerá de los ingresos que destinan los habitantes a esta construcción progresiva. Se convierte en un proceso lento en el que compran o adquieren material que necesitan para la siguiente ampliación. Cuando las necesidades aumentan recurren a mano de obra más especializada como albañiles, plomeros, carpinteros, entre otros.

No obstante, la autoconstrucción no sólo inicia con la utilización de materiales de desechos para las personas de más escasos recursos. También se realiza en distintos estratos sociales, donde el principal motivo por el cual utilizan la autoconstrucción es para ahorrar costos en la edificación de su vivienda ya que esta familia, con mayores recursos, decide cuánto destinar a su vivienda y así poder construirla.

Para el caso de los acabados arquitectónicos, en la autoconstrucción y la vivienda popular muchas veces se prefiere desistir de estos; esta situación se da principalmente por lo costosos que resultan los materiales para acabados. Otra razón por la que se deja del lado esta parte es, debido a que, durante un proceso de construcción la etapa de acabados se deja como última instancia. Esta situación provoca que al llegar a la etapa final ya no se cuente con recursos económicos suficientes o bien resulten postergables al infinito.

Bajo estas situaciones ya mencionadas, la parte de revestir, recubrir o proteger las superficies tanto interiores como exteriores no existe, y la mayoría de las veces las superficies quedan en obra negra o con superficies aparentes. El recubrir con materiales naturales al alcance de la mano y extraídos directamente del entorno en donde se habita, ayuda en tres aspectos importantes:

El primero es, que se fomenta la sostenibilidad haciendo partícipes a todos los miembros de la comunidad a revestir sus viviendas, el segundo aspecto es, que se ayuda a mantener un equilibrio con el medio ambiente generando recubrimientos ecológicamente más amigables y con mejores cualidades de confort a diferencia de los productos industrializados. Por último, son económicamente accesibles debido a que los materiales naturales suelen ser abundantes y por lo tanto menos costosos.



## CAPÍTULO 2

# EPIDERMIS DE TIERRA

A N C E S T R A L

## CAPÍTULO 2. EPIDERMIS DE TIERRA

Utilizar materiales provenientes de la naturaleza para construir el hábitat constituye una de las actividades que forma parte ancestral de la humanidad y su relación con el planeta. Entre los diversos materiales que existen, *la tierra* ocupa un lugar protagónico, no sólo por sus propiedades físicas y mecánicas, sino también por su extensa utilidad, diversidad, universalidad y flexibilidad de uso.

Sin embargo, dentro de la arquitectura contemporánea la palabra *tierra*<sup>27</sup>, ha sido un término controversial, debido a que suele confundirse con el planeta Tierra; para algunos investigadores denominar con el término de tierra a un material de construcción es incorrecto y optan por llamarla barro<sup>28</sup>, arcilla o tierra cruda. No obstante, en la actualidad uno de los campos de investigación que ha ido creciendo gradualmente es el de la arquitectura de tierra, por consiguiente, cada vez se va haciendo más extenso el empleo del término para referirse tanto al material como al tipo de arquitectura.

En la actualidad existen organismos<sup>29</sup>, asociaciones y programas que fomentan el estudio, la investigación y el empleo de este material, así como su conservación y recuperación tanto de los sistemas constructivos como de las técnicas tradicionales constructivas. A partir de este momento y en todo el desarrollo del documento se usará la palabra “tierra”, escrita con minúsculas para referirse al material de esta arquitectura.

Históricamente en casi todos los climas del mundo, la tierra ha sido el material de construcción predominante. Los vestigios de esta tradición ancestral surgen a partir de que inicia la historia de las civilizaciones, ya que es un recurso inmediato, que fue adoptado en el momento en que el

---

<sup>27</sup> En la arquitectura y construcción con tierra- nombres dados a toda la producción arquitectónica que emplea el suelo como la principal materia prima- se usan diversas denominaciones, tales como tierra cruda, tierra sin cocer, tierra para construir, pero lo usual es la palabra “tierra”, lo que representa al suelo apropiado para la construcción. El término “suelo” es utilizado principalmente cuando involucra clasificaciones y caracterizaciones, que también son adoptados en otros campos de ingeniería. (Neves, Técnicas de construcción con tierra, 2011)

<sup>28</sup> Gernot Minke en su libro Revoques de barro, se refiere al material bajo ese término haciendo un desglose de las propiedades, características, ventajas y desventajas del uso de la tierra. (Minke, Revoques de barro, mezclas, aplicaciones y tratamientos, 2013)

<sup>29</sup> PROTERRA, es un organismo internacional dedicado a la cooperación técnica y científica en el ámbito iberoamericano, que reúne especialistas de diferentes países, los cuales voluntariamente promueven, de modo integrado con las comunidades, diversas acciones tendientes al desarrollo de la arquitectura y construcción con tierra en América Latina. (Coreira, Neves, Guerrero, Pereira, 2016)

hombre decidió asentarse permanentemente en un territorio, incluso antes pues la tierra fue el primer recurso para la construcción de asentamientos que servían a las sociedades nómadas de caza y recolección.

No siempre se disponía de madera y muchas veces la piedra no era tan fácil de trabajar. Es a partir de este momento cuando surge la necesidad de utilizar un aglomerante que fuera capaz de unir piezas de diversos tamaños para dar mayor solidez y resistencia a las construcciones naturales.

Los primeros vestigios de construcción con tierra datan del Neolítico, con entre 6,000 o 10,000 años de antigüedad están situados en la Antigua Mesopotamia, entre los ríos Tigris y Éufrates. Según estudios arqueológicos la construcción con tierra evolucionó con la construcción de edificios emblemáticos, como la Torre de Babel, La Biblioteca de Alejandría, o muchos de los edificios de la propia Babilonia (Aresta R, 2015, pág. 129).



**Figura 16.** Zigurat en la Ciudad de Ur Mesopotamia (hoy Irak). Fuente: [www.ancient-origins.net/mesopotamia-sumeria-001292](http://www.ancient-origins.net/mesopotamia-sumeria-001292).

La gran mayoría de las civilizaciones antiguas utilizaron la tierra no sólo en la construcción de viviendas sino también en fortalezas, murallas, obras religiosas, monumentos, etc. Otro ejemplo de esto es la gran muralla china construida hace más de 4000 años, inicialmente fue construida con tierra apisonada y posteriormente fue revestida con piedras cambiando su apariencia. Para el caso de México, destaca el ejemplo de la pirámide del sol en Teotihuacan, construida entre los años 300 y 900 d.C, donde el núcleo está constituido por dos millones de toneladas de tierra apisonada, confinada con muros de contención de adobe, recubiertos finalmente con piedra (Aresta R, 2015, pág. 131).

La tierra suele verse como un material de construcción utilizado únicamente en el medio rural, sin embargo, el uso de la tierra como material de construcción ha traspasado una variedad de dimensiones, pues existe una gran cantidad de arquitectura de tierra que se puede encontrar en entornos urbanos. Tanto ha cruzado las fronteras el uso de la tierra que hace unos años surgió una técnica de construcción nueva, conocida como superadobe<sup>30</sup> cuya técnica prometedora nace tras la utopía de poder poblar en la luna o el planeta Marte.



*Figura 17.* Izquierda, técnica constructiva de Superadobe, implementada por el arquitecto Nader Khalili, para poblar la luna y el planeta Marte. Fuente: [www.ranchouha.mx/en/event/superadobe-nov2017/](http://www.ranchouha.mx/en/event/superadobe-nov2017/).

Las técnicas de construcción con tierra han estado presentes en la mayoría de las civilizaciones antiguas y se fueron expandiendo a través de las invasiones y colonizaciones, comunes en la historia de la humanidad. Las técnicas nativas se fusionaron con las técnicas traídas del extranjero creando variadas combinaciones entre ellas, se fueron adaptando y organizando de las formas más apropiadas para la construcción. Las técnicas presentan similitudes de una región a otra, pero cada una tiene peculiaridades y nomenclatura propia (Neves, 2011).

<sup>30</sup> El Superadobe es una técnica de construcción ecológica diseñada por el arquitecto Nader Khalili, para la construcción de viviendas en la Luna y Marte, llamándose en su momento “velcro adobe”.

Esa fusión, adaptación y diversidad de combinaciones entre las técnicas constructivas de una región a otra se conoce como transferencia de un sistema constructivo<sup>31</sup>, el cual consiste en adoptarlo de una cultura ajena, combinarlo al de una región y adaptarlo al medio en el que se implementa.

Hablar de la historia de la construcción en tierra ampliaría mucho este capítulo por ello se mencionan sólo algunas técnicas constructivas enfocadas directamente a los recubrimientos, revoques y revestimientos realizados a través de los años con este material como es la tierra y algunos aglutinantes que se utilizaron en la antigüedad.

## 2.1. La tierra como un material para acabados arquitectónicos en muros

La importancia de un recubrimiento, revoque o revestimiento no radica solamente en la parte estética, sino que existe una variedad de funciones que cumplen con diferentes necesidades. A un recubrimiento se le puede otorgar un significado simbólico, cultural, histórico e incluso idealista, así como también se le puede dar un carácter funcional, como contener, proteger, aislar o cubrir. Por ello se hace la analogía a las epidermis, porque un recubrimiento forma parte de un todo, dentro de un espacio arquitectónico, así como una epidermis forma parte de un organismo.

Pero la necesidad de proteger, decorar, expresar o cubrir un espacio tanto interior como exterior, viene desde épocas ancestrales, desde que el hombre era nómada y tenía la necesidad de un abrigo o cobijo, hasta la necesidad de revestir o colorear un espacio en los actos ceremoniales de las culturas prehispánicas. Un factor que influyó para la evolución de los recubrimientos fueron las condiciones meteorológicas, ambientales, de adaptación y de supervivencia. Aunque es importante mencionar que el arte de recubrir también tuvo un significado simbólico, que hasta la fecha muchas culturas continúan preservando en sus tradiciones.

---

<sup>31</sup> Lucía Esperanza Garzón da un ejemplo en referencia al término transferencia de un sistema constructivo. “Las técnicas nativas se unieron a las técnicas traídas por los colonizadores portugueses y españoles, y por los africanos. Con numerosas combinaciones entre ellas, se adaptaron y se organizaron las formas más adecuadas de construir.” (Garzón & Neves, 2007, pág. 324)

Un ejemplo de estas tradiciones con un significado ambivalente<sup>32</sup> dentro de los recubrimientos o pieles de tierra, está en el norte de África, en la comunidad Musgum cerca de Camerún. Esta cultura construye un tipo de vivienda llamada *Tolek*<sup>33</sup>. Las comunidades se componen de hasta 15 cúpulas de tierra comprimida, cada una con una función diferente y determinada totalmente por la necesidad del grupo familiar. A pesar de no parecer viables en el tecnológico y avanzado mundo de hoy, las viviendas Musgum son un gran ejemplo de arquitectura sostenible por el sólo hecho de cumplir a la perfección con su función, sin adornos ni excesos, responde a las necesidades de sus usuarios y aprovecha al máximo el principal material disponible en la zona.

Tradicionalmente, las casas Musgum<sup>34</sup> tienen un diseño en el que la choza del padre está situada en el punto más importante y las unidades de los demás miembros de la familia se ubican alrededor. Esta configuración es el resultado de los objetivos y necesidades del grupo unificado. Las construcciones se agrupan en un círculo que se puede componer hasta de quince chozas y el muro que las envuelve indica que todas ellas pertenecen a una misma familia.

Los recubrimientos de sus fachadas cuentan con diferentes patrones geométricos y siguen la forma de una gran concha, mientras que la puerta destaca y marca la entrada al hogar. Sus paredes están altamente texturizadas lo que permite individualizar las superficies a través de un patrón geométrico que forma una textura, simulando un aspecto de "venas" que funcionan como drenaje para el agua. Estas "venas" permiten además a sus habitantes trepar a lo alto de las cúpulas para su mantenimiento. La parte superior de las casas tiene una abertura para permitir la circulación natural del aire.<sup>35</sup> Como puede pensarse, un recubrimiento no sólo cumple con una función sino varias y no posee un solo significado si no un sinfín de significados y simbolismos, que no solo van ligados a una cultura sino también tienen que ver con el medio y las condiciones climáticas en las que se encuentra.

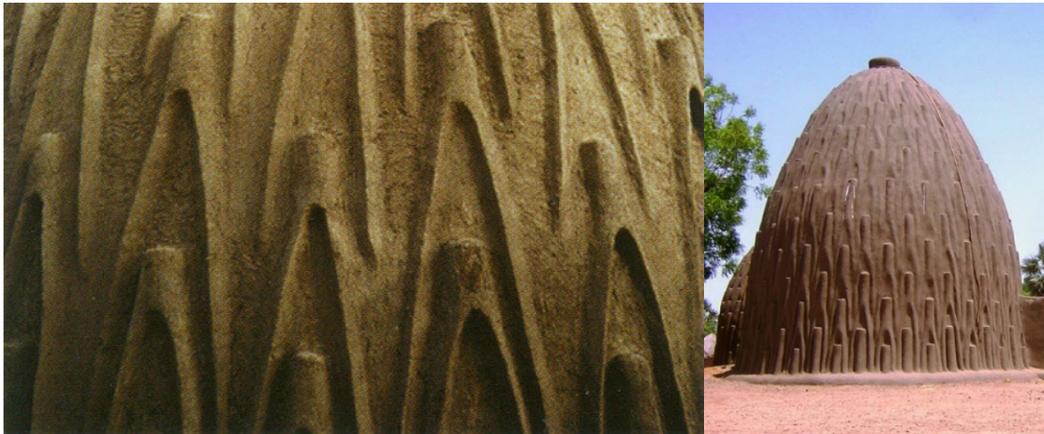
---

<sup>32</sup> Según el Diccionario de la Real Academia Española, un significado ambivalente, es aquel que presenta dos interpretaciones o dos valores. En este sentido puede interpretarse como un aspecto simbólico, pero al mismo tiempo puede tener un valor funcional.

<sup>33</sup> Casas de tierra con forma de obús, conocidas como tolek, se cuentan entre las estructuras populares africanas más extraordinarias.

<sup>34</sup> Viviendas de barro Musgum. Recuperado de: [www.arquitecturayempresa.es/noticia/viviendas-de-barro-musgum-en-camerun](http://www.arquitecturayempresa.es/noticia/viviendas-de-barro-musgum-en-camerun). Consultado el 8 de mayo del 2017.

<sup>35</sup> Arquitectura Vernácula: viviendas Musgum en Camerún. Recuperado de: <https://www.archdaily.mx/mx/02-320922/arquitectura-vernacula-viviendas-musgum-en-camerun>. Consultado el 8 de mayo del 2017.



**Figura 18.** Patrón geométrico de los revestimientos de las viviendas Tolek, construidos con tierra. Fuente: [www.archdaily.mx/mx/02-320922/arquitectura-vernacula-viviendas-musgum-en-camerun](http://www.archdaily.mx/mx/02-320922/arquitectura-vernacula-viviendas-musgum-en-camerun).

Otro ejemplo ligado al simbolismo y al significado ambivalente pero que hace uso no sólo de recubrimientos a base de tierra, sino que utilizan pigmentos naturales se encuentra en el corazón del continente africano en Burkina Faso. Este país no tiene salida al océano, y tiene frontera con Ghana, Costa Marfil, Mali, Níger y Togo.

En consecuencia, sus características climáticas lo hacen un sitio muy caliente la mayor parte del año, con una temperatura media de 40°C en la época seca. Lo más representativo y atractivo de esta comunidad es la tipología de sus viviendas. La cual varía de acuerdo con el área donde se ubique. En los sectores rurales, existe una gran tradición de construcción en tierra y madera, con ciertas variantes que incluyen el cambio de formas.

La construcción tradicional burkinesa forma parte del patrimonio cultural de África<sup>36</sup>. Es en la comunidad de Tiébélé, en donde se encuentra un conjunto de edificaciones que constituyen casi un laberinto. Estas construcciones que son las más representativas de la tradición arquitectónica de Burkina Faso, son conocidas como las casas sukhala<sup>37</sup>. Se realizan de forma comunal, donde familias, hombres y mujeres desempeñan una tarea distinta.

<sup>36</sup> Tiébélé, el pueblo africano en donde las casas son obras de arte. Recuperado de : [www.bioguia.com/notas/tiebele-el-pueblo-africano-donde-las-casas-son-obras-de-arte](http://www.bioguia.com/notas/tiebele-el-pueblo-africano-donde-las-casas-son-obras-de-arte). Consultado el 25 de mayo del 2017.

<sup>37</sup> Esta arquitectura, conocida como casas sukhala, forman poblados fortificados en Tiébélé, Burkina Faso. Se trata de construcciones de adobe que se revisten de barro y posteriormente son adornadas con motivos abstractos, que las mujeres de la tribu pintan sobre fachadas y muros. Recuperado de: [www.archdaily.mx/mx/02-320922/arquitectura-vernacula-viviendas-musgum-en-camerun](http://www.archdaily.mx/mx/02-320922/arquitectura-vernacula-viviendas-musgum-en-camerun). Consultado el 25 de mayo del 2017.



**Figura 19.** La tradición Burkinesa de decorar las viviendas ha sido un acto ceremonial que se ha realizado generación tras generación. Fuente: [www.traveladventures.org/continents/africa/tiebele-painted-houses03.htm](http://www.traveladventures.org/continents/africa/tiebele-painted-houses03.htm).

La forma de construcción de estas viviendas como ya se mencionó se realiza comunalmente, los hombres se encargan de realizar cimientos, muros y techos, mientras que las mujeres efectúan todo lo relacionado con la decoración mural. Para ellas esta tarea se convierte en una actividad social que les permite la interacción con otras mujeres, como sucede en otros lugares de África occidental.

Inician su participación aplicando un enlucido, formado por una mezcla de barro. Excremento de vaca y el jugo viscoso de la semilla de un árbol de la familia de leguminosas llamada *parkia biglobosa africana*<sup>38</sup>, que mejora la protección contra la lluvia. Posteriormente realizan molduras que bordean las puertas y decoran los muros con incisiones, bajorrelieves y pinturas, creando esquemas geométricos de gran belleza, que se asemejan a los motivos tradicionales de los textiles africano (Orihuela Uzal, 2007, pág. 165).

Cabe mencionar que todos los pigmentos y materiales que utilizan para revestir y pintar las viviendas provienen del entorno, lo que les da un mayor valor patrimonial a las edificaciones de esta comunidad. Uno de los colores que más destacan es el rojizo, debido al uso de pigmento obtenido mediante la molienda de laterita<sup>39</sup>, un material arcilloso y muy abundante en África subsahariana.

<sup>38</sup> *Parkia biglobosa*, también conocida como algarrobo africano o néré o dodongba, es un árbol perenne de la familia Fabaceae. Se encuentra en una amplia gama de ambientes en África y se cultiva principalmente para sus vainas que contienen tanto una pulpa dulce como semillas valiosas. Recuperado de: <https://www.ecured.cu/Fabaceae>. Consultado el 28 de mayo del 2018.

<sup>39</sup> Laterita, este compuesto por hidrargilita, caolín, cuarzo, e hidróxidos de hierro y aluminio, este material es originado por la alteración de diversos tipos de rocas. (Orihuela Uzal, 2007, pág. 168)

El color negro se obtiene del alquitrán de hulla que, a su vez es absorbido por el enlucido de barro al secarse, actúa como un antiséptico e impermeabilizante. El resultado estético de aquellos muros rojizos es una piel con esquemas decorativos simples, pero de gran fuerza expresiva (Orihuela Uzal, 2007, pág. 167).

Existe una gran diversidad de revestimientos y recubrimientos dentro de las culturas tradicionales constructivas del mundo, cada una con una ideología, pensamiento y técnica distinta, ciertas técnicas pueden llegar a fusionarse o adaptarse entre diferentes regiones, dependiendo las necesidades o condiciones en las que se encuentre un lugar. Lo que sí es importante dejar como conclusión de este apartado es que, cada cultura deja una impronta dentro de un sitio, mostrando que el ejercicio de recubrir no es sólo para fines estéticos, sino que su significado y ambivalencia va más allá de una simple capa, es decir, la edificación es la representación de lo humano ante su mundo mágico y cotidiano.

Los recubrimientos de la arquitectura de tierra cumplen diversas funciones entre las que destacan la protección física de las estructuras, la regularización de las superficies para hacerlas más higiénicas y la posibilidad del intercambio de vapor de agua con el medio circundante, que contribuye al confort higrotérmico de los espacios.

Por ello es importante tomar en cuenta la historia, y todo ese conocimiento ancestral que con el paso de los años ha ido desapareciendo. El conocimiento ancestral nació a modo de ensayo y error, de una forma empírica, pero fue el preludio para su evolución. Por eso es importante conservarlo y no dejar que se pierda o quede olvidado, pues, aunque no se crea, es fuente de sabiduría milenaria.

## 2.2. Recubrimientos con materiales naturales alrededor del mundo

La mayoría de los países tiene la tradición de dar terminación a sus edificios o protegerlos con pastas y pinturas a base de cal o tierra. Esto se debe a la naturaleza inocua de la materia prima necesaria: tierra, piedra, agregados, fibras vegetales o animales. Cada cultura tiene sus propios aditivos específicos, utilizados con el fin de mejorar o modificar el rendimiento del acabado y estos siempre se basan en materiales disponibles localmente.

Un ejemplo del uso de aditivos para reforzar las mezclas en recubrimientos se puede ver en México, que utiliza mucílago<sup>40</sup> de diferentes cactáceas como un aglutinante para las mezclas y pinturas desde épocas prehispánicas (Barrios, 1997, pág. 14); grandes civilizaciones como la Teotihuacana o en Cacaxtla hacían uso de componentes naturales para mejorar y dar una mayor durabilidad a sus estructuras.

Otro caso similar sucede en Japón. Una de las técnicas ancestrales de la cultura nipona consiste en agregar algas hervidas a las mezclas de cal y tierra para mejorar sus propiedades de unión e impregnar un toque brillante a los revoques (Weissman, 2008, pág. 245) . Una realidad es que muchos materiales y métodos para realizar recubrimientos con componentes naturales varían de una región a otra. Es decir, no hay una manera definida para realizar este tipo de trabajos, no hay recetas; es un conocimiento que se obtiene de forma empírica.

Los métodos y técnicas se han desarrollado en función de las personas que realizan el trabajo, los materiales disponibles, las preferencias culturales y el clima predominante del área local. Es así, como estas técnicas constructivas tradicionales evolucionaron y en la actualidad están resurgiendo gracias a la necesidad de llevar a cabo prácticas de construcción menos destructivas para el medio ambiente y crear espacios más confortables, habitables y saludables.

Sin embargo, a pesar del alto valor desde el punto de vista etnográfico de este tipo de procedimientos, como evidencia de la apropiación de recursos naturales locales para el mejoramiento de la construcción, se suele perder de vista su razón de ser y su funcionamiento físico y químico, considerándolos acríticamente como una especie de “recetario”. Muchos textos y páginas electrónicas dedican extensas descripciones a la difusión de sustancias “casi milagrosas” que permiten realizar revoques durables e impermeables, que “garantizan” la permanencia de la arquitectura de tierra. Esta falta de conocimiento acerca del comportamiento de los componentes de los sistemas de revestimiento crea una fuerte dependencia y limitación tecnológica.

---

<sup>40</sup> Los mucílagos son un tipo de fibra soluble de naturaleza viscosa. Lo producen las semillas de ciertas plantas, como la algarroba, el plantago, la chía, el lino, el nopal o la mostaza. Tomado de: [www.botanical-online.com/medicinalesmucilagos.htm](http://www.botanical-online.com/medicinalesmucilagos.htm) en noviembre del 2017.

Entonces los constructores o los habitantes suelen creer que si no se cuenta con determinados productos no es posible la elaboración de revoques. Consecuentemente, la dificultad de su obtención o su franca desaparición conduce a la pérdida de diversas culturas constructivas (Guerrero, 2016, pág. 12).

A continuación, se da un breve esbozo de algunas técnicas tradicionales para recubrimientos, características de diferentes países del mundo, en las cuales se han utilizado materiales naturales como la tierra, cal o fibras de origen animal y vegetal. Como ya se mencionó, cada técnica es distinta y va a depender de los materiales de la región, clima, ideología, aspectos culturales, sociales, así como del entorno en el que se encuentre.

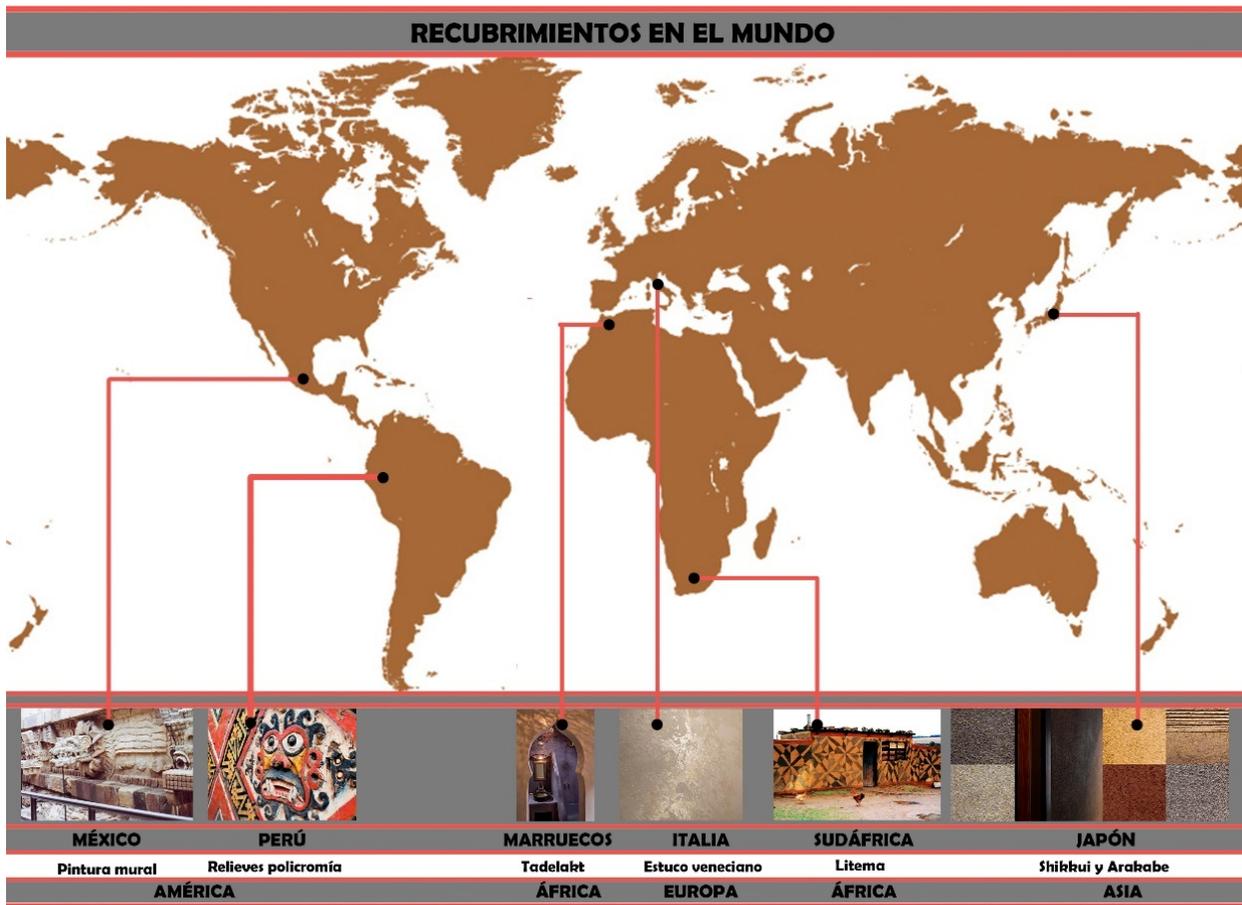


Figura 20. Mapa en donde se muestran algunos recubrimientos con materiales naturales en el mundo. Fuente: archivo de la autora, 2018.

Los recubrimientos, pinturas, enlucidos y revoques a base de tierra y cal, además de ser adecuados para las condiciones ambientales, son esenciales para utilizarlos con otros materiales tradicionales y sostenibles, como son las fibras, mucílagos, pigmentos naturales, por mencionar algunos ejemplos.

Muchos de estos materiales se han utilizado con éxito durante miles de años y con la permanencia de las estructuras aun revocadas han probado su eficacia, siendo hoy en día la base de muchos métodos contemporáneos de construcción ecológica<sup>41</sup>.

Cada región del mundo tiene una variación entre técnicas y materiales, sin embargo, una cualidad común de este tipo de revestimientos es que ayudan a mejorar las condiciones de confort dentro de un espacio gracias a sus propiedades de higroscopicidad<sup>42</sup>; es decir, un recubrimiento de esta naturaleza tiene la capacidad de transpirar, regulando tanto la humedad como la temperatura, del mismo modo este fenómeno ayuda a mejorar la calidad del aire (Weissman Adam, 2008).

En Europa se gestaron culturas clásicas como Grecia y Roma, que hoy en día se sigue disfrutando del enorme legado de conocimientos, cultura, filosofía y arte que estas culturas dejaron.

### 2.2.1. Estuco veneciano, Italia

Existen datos que describen el uso del estuco en las culturas clásicas como la griega y romana, pero es durante el renacimiento italiano cuando esta técnica se perfeccionó y se difundió por toda Europa desde comienzos del siglo XV, principalmente en Venecia, por lo que generalmente se conoce como “estuco veneciano”.

---

<sup>41</sup> Como definición general, una construcción ecológica es aquella que respeta el entorno, elaborada con materiales naturales y que aprovecha al máximo los recursos naturales del sol y de la tierra para conseguir el confort de sus habitantes. Recuperado de: <http://construirunacasaecologica.com/casa-ecologicas>. Consultado el 14 de septiembre del 2017.

<sup>42</sup> Higroscopicidad. Propiedad de algunas sustancias de absorber y exhalar la humedad según el medio en que se encuentran. Recuperado de: [www.dle.rae.es](http://www.dle.rae.es). Consultado el 25 de agosto del 2017.

El término estuco, proviene del italiano *stucco*, y es una forma de terminación o decoración de paredes y techos, interiores o exteriores, basada en pinturas y diferentes tipos de morteros, que permite la obtención de diferentes texturas. Dada su versatilidad, se adapta a cualquier tipo de construcción o época. Además de una función decorativa, refuerza el muro y lo impermeabiliza, pero al mismo tiempo permite la transpiración natural.<sup>43</sup>

Los acabados de cal han sido utilizados durante miles de años y muchas de las primeras civilizaciones tenían sus propias versiones. En el caso del estuco veneciano originalmente era valorado por su durabilidad; su principal objetivo era proteger la superficie que éste revestía. Sin embargo, los yeseros venecianos desarrollaron técnicas que transformaron al estuco en un material de construcción funcional al medio ambiente, y altamente decorativo; tan buena ha sido su eficacia y efectividad que aún se conservan muchos de los edificios renacentistas revestidos con este tipo de acabado (Weissman, 2008).



**Figura 21.** Texturas creadas con la técnica de estuco veneciano. Fuente: [reformaster.es/material/como-decorar-las-paredes-con-estuco-decorativo](http://reformaster.es/material/como-decorar-las-paredes-con-estuco-decorativo).

<sup>43</sup> Historia del estuco veneciano. Recuperado de <http://joseduravaldes.blogspot.com/2015/12/la-historia-del-estuco-veneciano.html>. Consultado el 19 de febrero del 2018.

Los materiales que conforman este tipo de recubrimiento son, la cal, que funciona como aglomerante. El polvo de mármol que es el agregado granulométrico y el aceite de linaza. Cuando la mezcla ha fraguado, tiene la misma composición, microestructura y propiedades que el mármol natural.

La granulometría del polvo de mármol es la que le da la textura al estuco, la cual puede variar desde una gruesa hasta una muy fina de brillo altamente refinado. Se suele dar color a estos acabados agregando pigmentos naturales de la tierra o de óxidos minerales, para lograr cualquier tonalidad, y se puede agregar una mayor intensidad al agregar polvo de mármol de color o polvo de ladrillo. La superficie final se sella con jabón, cera de abeja, sellador de siloxano<sup>44</sup> o silicato de potasio.<sup>45</sup>

Para aplicar el estuco con éxito se requiere de una considerable habilidad y experiencia. Un artesano necesita comprender cómo funcionan los pigmentos naturales, y la cal, y ser capaz de producir los tonos más sutiles en color y tono. El estuco se aplica con llana, y requiere una notable habilidad para producir un acabado con una textura lisa.

### 2.2.2. Tadelakt, Marruecos

Un recubrimiento que surge por la necesidad de otorgar un mejor confort higrotérmico<sup>46</sup> en un clima extremo se encuentra en Marruecos, y es conocido con el nombre de tadelakt.<sup>47</sup>

---

<sup>44</sup> El sellador de siloxano es un protector de superficies minerales porosas. Formulado a base de compuestos de polisiloxano, como impregnante hidrofóbico para reducir la absorción del agua de lluvia. Tomado de: <http://www.juno.es> consultado en 12 de junio del 2018.

<sup>45</sup> Los silicatos de potasio son una familia de productos químicos con un amplio rango de propiedades físicas y químicas. Las variadas características de los silicatos de potasio permiten su uso en aplicaciones tan diversas como fundente de varillas de soldadura, jabones, detergentes y cubiertas decorativas. Recuperado de: <https://www.quiminet.com/articulos/caracteristicas-de-los-silicatos-de-potasio-27838.htm>. Consultado el 12 de junio del 2018.

<sup>46</sup> El confort térmico del ser humano es un fenómeno que se manifiesta a través de la sensación térmica (opinión cognoscitiva) y la preferencia térmica (opinión afectiva) y dependen de aspectos personales del individuo como lo son los biológicos, los psicológicos y los sociales influenciados en el contexto donde se desenvuelve el ser humano es decir el ambiente natural, el ambiente construido y el ambiente social (Mayorga, 2012).

<sup>47</sup> La palabra Tadelakt proviene del verbo “dalaka” que significa en árabe, masaje, frotar, aplanar.

Es mucho más que un recubrimiento tradicional, “es el arte de vivir de todo un pueblo”; un símbolo de la cultura marroquí, una técnica exigente que invita a reflexionar sobre el valor del conocimiento ancestral, y una transmisión cultural generacional, más allá de simples recetas.

Es un revestimiento tradicional marroquí, a base de cal, pigmentos y jabón vegetal, el cual puede ser considerado tanto un material como una técnica constructiva. Una de las particularidades de este acabado ha sido su resistencia al agua, motivo por el cual ha sido utilizado en espacios y superficies sometidos a constante contacto con la humedad, por ejemplo, el interior de los hammames<sup>48</sup> (baños públicos) que siguen siendo utilizados en Marruecos (Macias, 2017, pág. 356).



**Figura 22.** Interior de dos Hammames marroquíes. Fuente: [www.hoteles.com/ho733289504/riad-meriem-marrakech-marruecos/](http://www.hoteles.com/ho733289504/riad-meriem-marrakech-marruecos/).

<sup>48</sup>Un hammam también conocido como baño árabe, baño turco o hamam, es una modalidad de baño de vapor que incluye limpiar el cuerpo y relajarse. Por extensión se denominan igualmente así, los edificios en los que estos se encontraban y cuya estructura respondía a las distintas estancias que precisa el proceso del baño. (Ochs, 2010, pág. 13)

Es importante aclarar que el tadelakt es repelente al agua mas no impermeable, de hecho, es permeable, absorbe vapor de agua permitiendo un intercambio de humedad y temperatura entre el interior y el exterior. Ésta es una de las cualidades que siempre ha caracterizado a la arquitectura de tierra, cualidad por la cual siempre se busca que los revoques a base de materiales como tierra, cal u otro material natural sean permeables y permitan el intercambio de vapor entre los espacios.

Una de las principales ciudades que practican esta técnica es Marrakech. Aquí las temperaturas alcanzan más de 40°C en verano, mientras que en invierno dependiendo de la altitud las temperaturas pueden caer por debajo de los 0°C. con este rango es de suma importancia adaptar las construcciones al clima (Ochs, 2010, pág. 13).

La historia del Tadelakt comienza con el imperio Romano siendo el antecedente de lo que hoy se conoce como microcemento<sup>49</sup>. Su uso comienza hace más de 2,000 años, en un espacio incierto de la Mezquita Koutoubia, la medina y el palacio de la bahía de Marrakech(Ochs, 2010, pág. 19).



**Figura 23.** Texturas y colores que se pueden obtener con la técnica de tadelakt. Fuente: [www.thesustainablehome.net/img\\_4492/](http://www.thesustainablehome.net/img_4492/).

<sup>49</sup> Revestimiento de alta calidad, compuesto principalmente de morteros, polímeros, resinas y pigmentos. (Ochs, 2010, pág. 13)

Otra versión indica que el recubrimiento fue descubierto en el siglo XII durante la construcción de las murallas de Marrakech, cuando se elaboró por accidente, mediante movimientos circulares de una piedra sobre un mortero de cal se podían obtener superficies suaves y brillantes (Weissman, 2008, pág. 240).

La cal que se empleaba era producida de manera artesanal en los viejos hornos de madera de Marrakech, la piedra caliza que se cocía en estos hornos era extraída de las montañas ubicadas cerca de la ciudad, el Alto Atlas, donde por un fenómeno geológico adquiría propiedades particulares, entre ellas resistencia al agua y a la humedad. Por esta razón su uso se extendió en los interiores de los hammames, los riads<sup>50</sup>, las kasbahs<sup>51</sup>, las mezquitas, hospitales, cocinas, patios, baños y salones, consiguiendo superficies con tacto suave y efecto cálido, sensual, natural único y elegante. Las fachadas principales y los interiores de muchos edificios antiguos atestiguan la tradición milenaria del Tadelakt (A. El Amrani, 2018).

Esta técnica actualmente sigue siendo utilizada por los artesanos locales quienes la han conservado basándose en los conocimientos y materiales del lugar, y la transmiten a los jóvenes, como un oficio ecológico. El proceso para aplicar el tadelakt varía considerablemente de un artesano a otro. Cada malam<sup>52</sup> tiene su propio procedimiento y un conjunto de herramientas especializadas; sin embargo, los principios básicos siguen siendo los mismos.

La técnica consiste en aplicar un mínimo de dos capas de cal a la superficie, la segunda capa se frota con un bruñidor de madera antes de secarse por completo. Posteriormente la cal se alisa con una llana o paleta de plástico, en esta técnica no se usa la llana metálica, debido a la tendencia del metal de dejar marcas de brillo en la cal, una vez que la cal se ha alisado y secado se aplica un jabón especial conocido como *savón noire* o jabón negro (Weissman, 2008, pág. 241).

---

<sup>50</sup> El riad, que en árabe significa jardín, se define por un patio interior, alrededor del cual se distribuyen las habitaciones y algunas zonas comunes (Ochs, 2010, pág. 16).

<sup>51</sup> Las Kasbah son espacios fortificados de origen bereber. Era un lugar donde las personas se protegían contra intrusos y ataques, pero también donde pudieran protegerse de las tormentas de arena, o el exceso de frío que podía matar el ganado, por ejemplo. Era un lugar de protección de altos muros. (Ochs, 2010, pág. 19)

<sup>52</sup> Malam, son los maestros artesanos que se dedican a la aplicación y desarrollo de la técnica marroquí Tadelakt. (Weissman, 2008, pág. 240)

El tradicional jabón negro marroquí está hecho de aceite de oliva y hueso de pescado; producido en una ciudad junto al mar llamada Safi. El jabón negro reacciona con la cal no sólo para dar un efecto impermeable sino también para producir un brillo intenso muy característico del tadelakt. El jabón se extiende con un pincel en pequeñas secciones, para continuar con un pulido circular vigoroso y apretado con una piedra especial que se elige para que encaje perfectamente en la mano, y debe de tener una superficie de pulido plana. La piedra debe ser dura como un granito, para que pueda resistir la presión del pulido.

Esta acción de pulido con la piedra sirve para consolidar aún más la mezcla de cal y eliminar los vacíos, y contribuyendo a su capacidad de resistir al agua. El pulido ayuda a introducir el jabón en la cal para que se integren completamente (Weissman, 2008, pág. 241).

### 2.2.3. Litema, Sudáfrica

Hace unos años se descubrió al sur de África que existe la tradición del arte mural en la cultura Sotho-Tswana<sup>53</sup>, esta tradición se conoce como ditema o litema. Un Litema es una forma de arte mural basotho,<sup>54</sup> compuesto por patrones geométricos decorativos, comúnmente asociados a la tradición se practica en Lesotho y las áreas vecinas de Sudáfrica. Litema, es la tradición por la cual las mujeres basotho aplican decoraciones elaboradas a las paredes recién revestidas en sus viviendas de tierra (Orihuela Uzal, 2007, pág. 157).

Durante siglos la tradición de litema se ha asociado únicamente a las mujeres basotho, no obstante, hoy en día la práctica se extiende a través de las fronteras culturales y regionales.

---

<sup>53</sup> Descubren murales ancestrales al sur de África que datan de hace más de 1500 años. Recuperado de: [www.wikiwand.com/en/Litema](http://www.wikiwand.com/en/Litema). Consultado el 23 de junio del 2018.

<sup>54</sup> Los basotho son un grupo étnico bantú cuyos antepasados han vivido en el sur de África desde aproximadamente el siglo V. La nación basotho surgió de la lograda diplomacia de Moshoeshe I, que reunió a clanes dispares de origen sotho-tswana que se habían dispersado a través del sur de África a principios del siglo XIX. La mayoría de los basotho viven hoy en Sudáfrica, ya que el área del Estado Libre de Orange era originalmente parte de la nación de Moshoeshe. (Orihuela Uzal, 2007, pág. 159)

En las últimas dos o tres décadas, las mujeres zulúes<sup>55</sup> y xhosa<sup>56</sup>, casadas con conyugues de Basotho o que viven cerca de litema, han favorecido la tradición.

El litema se compone de cuatro técnicas básicas, grabado, pintura, mosaico y molduras en relieve. El grabado se realiza en tierra húmeda “peinando” o raspando la superficie con palos, tenedores o peines. La pintura se aplica principalmente cuando la superficie de arcilla ya está seca y muy ocasionalmente se aplica cuando la tierra está húmeda, que en este sentido es una técnica de pintura conocida como al fresco.

El enfoque tradicional de la pintura implica simplemente aplicar diferentes tonos de tierra durante el proceso de consolidación de la mezcla. Para el caso del mosaico, la técnica consiste en hacer incrustaciones de pequeñas piedras cuando la mezcla se encuentra en estado húmedo.

Básicamente el recubrimiento litema, consiste en una mezcla de tierra con estiércol de vaca. A menudo también se agrega la tierra de los hormigueros, dado que sus propiedades dan una mejor unión entre todos los componentes de la mezcla, gracias a la saliva de las hormigas que actúa como un aglutinante que mejora y refuerza al recubrimiento. (Weissman, 2008, pág. 242)

Los patrones de litema se caracterizan por una simetría de etapas múltiples, que generalmente están dispuestos en celdas cuadradas. Una pared nueva se divide en una cuadrícula para formar las celdas. Cada una se aplica con el mismo patrón, que generalmente se gira o se refleja de una celda a otra. La simetría del patrón general. Por lo tanto, depende de las simetrías presentes en el patrón básico.

---

<sup>55</sup> Los zulúes son un grupo étnico africano de más de diez millones de individuos que habitan principalmente la provincia de KwaZulu-Natal, en Sudáfrica, aunque también se encuentran en pequeñas cantidades en Zimbabue, Zambia y Mozambique. Recuperado de: antropologiaezulues.blogspot.com. Consultado el 23 de junio del 2018.

<sup>56</sup> Los Xhosa son un grupo étnico que habita el sur de la africa, teniendo sus asentamientos importantes en Sudafrica y en algunos países vecinos como Botswana y Lesoto. El idioma de esta comunidad o pueblo también es conocido con el nombre que lleva, xhosa. Recuperado de: mx.globedia.com/xhosa. Consultado el 23 de junio del 2018.



**Figura 24.** Patrones geométricos de los murales llamados litemas o ditemas, originarios del sur de África. Fuente: [www.designindaba.com/articles/point-view/geometric-designs-basotho-called-litema](http://www.designindaba.com/articles/point-view/geometric-designs-basotho-called-litema).

Los colores de los patrones no parecen tener otro significado que el de embellecer los hogares. Esta técnica sirve como una extensión a la identidad de la mujer de basotho, y ayuda a que esta técnica continúe practicándose generación tras generación (Mylene, 2014, pág. 103).

Los grabados imitan principalmente las líneas de surcos de los campos arados; las mujeres de basotho también tienen un papel importante en la agricultura y, por lo tanto, se puede encontrar gran significado en estos grabados. Los patrones son un reflejo de lo que existe en el mundo natural. Las flores, los pétalos y las hojas son los símbolos más comunes y no sólo imitan la forma sino también el color de la naturaleza.

Los litema son efímeros y pueden desecarse y desmoronarse o ser arrastrados por fuertes lluvias. Es común que las mujeres de todo un pueblo apliquen un litema en ocasiones especiales como una boda o una ceremonia religiosa.

Pero, además de ser efímeros al mismo tiempo es un fenómeno estacional. Los tonos de este tipo de decoración reflejan a menudo el paisaje circundante, predominan los tonos brillantes y colores en primavera y verano, mientras que los tonos más ocres se reflejan en las estaciones de otoño e invierno. (Weissman, 2008)

Carina Mylene Beyer, profesora de la Universidad Central de tecnología en el Estado Libre de Sudáfrica, forma parte de un proyecto de investigación que se centra en el *litema*. En su libro *Litema, revival of a disappearing art*, explica de forma detallada el origen, desarrollo y aplicación de esta técnica muy característica y emblemática que sólo se da en el sur del continente africano; ella estudia tanto los patrones geométricos como su simbolismo y su significado cultural.

#### 2.2.4. Shikkui y Arakabe, Japón

Para explicar dos de los recubrimientos de tierra más antiguos de la historia de Japón como lo son el shikkui y el arakabe, es necesario contextualizar en qué momento de la historia nace este sistema constructivo, qué influencias tuvo y cómo fue que se originó.

Durante el periodo Edo, el cual estuvo bajo el sistema de gobierno del shogunato<sup>57</sup> Tokugawa, Japón vivió 250 años de estabilidad que le permitió tener una sociedad con altos estándares de calidad de vida y políticas de paz. Durante esta época se estableció una estructura de gobierno burocrática militar, gobernada por el bakufu<sup>58</sup> y miembros de la familia Tokugawa<sup>59</sup>, que, bajo el control de poder centralizado, dirigían el país (Nakagawa, 2016, pág. 29).

Una nueva visión de gobierno y sociedad emergió en búsqueda de un mandato más comprensivo. Cada persona tenía un lugar distinto en la sociedad y se esperaba que trabajara de forma que cumpliera su misión en la vida. De esta manera el núcleo familiar correspondía a un símbolo de estatus y era el reflejo de la cultura y valores de la sociedad. Se desarrolló un sistema de clases sociales, compuesto por samuráis, artesanos y comerciantes.

---

<sup>57</sup> Los shogunes eran generales que actuaban como gobernantes y los samurais eran caballeros japoneses. Ambos dominaron Japón durante cerca de siete siglos. Japón sufrió una profunda influencia china que se inició hacia el siglo cuarto. Recuperado de: [www.aikidoshogun.wordpress.com/2013/12/27/japon-el-shogunato](http://www.aikidoshogun.wordpress.com/2013/12/27/japon-el-shogunato). consultado el 6 de agosto del 2018.

<sup>58</sup> Sinónimo de shogun.

<sup>59</sup> Clan militar que ejerció el poder en Japón entre 1603 y 1867, ocupando el cargo de shogun. Este «tercer shogunado» (Shogunado Tokugawa o de Edo) fue el último, terminando con él el imperio japonés tradicional. Recuperado de: [www.biografiasyvidas.com/biografia/t/tokugawa](http://www.biografiasyvidas.com/biografia/t/tokugawa) consultado el 6 agosto del 2018.

Fue en el periodo Edo cuando surge la casa tradicional japonesa, muy característica de esta época, debido a la serie de simbolismos y peculiaridades que presenta; y sobre todo porque en este periodo surgen dos recubrimientos que son parte de la cultura constructiva de Japón (Tanaka, 2011, pág. 145).

Por lo general las casas tradicionales sólo tienen una planta y se elevan del nivel del suelo para evitar que la humedad afecte los espacios interiores. Además de eso tienen cubiertas inclinadas para soportar las condiciones climáticas del lugar. La estructura está hecha de madera así que cuando el elemento está deteriorado o dañado por el tiempo, se puede reemplazar con facilidad (Nakagawa, 2016, pág. 58).

Los muros de estas casas se construían tradicionalmente con una estructura de elementos verticales y horizontales de bambú, el cual se recubre con tres o cuatro capas de una mezcla de tierra y paja que al endurecerse constituye el muro sólido y se denomina arakabe (Tanaka, 2011, pág. 146).

Este muro de barro tradicional consiste en embarrar varias capas de una mezcla de tierra arcillosa, agregados y paja en un marco de listones de bambú. La mezcla se aplica generalmente en tres capas consecutivas. La tierra y los agregados deben ser de granulometría fina y las fibras que por lo regular son de arroz o paja de avena deben ser cortas. Esta mezcla siempre se deja reposar un par de semanas para que la paja se suavice y para que la arcilla logre una consistencia deseada.

Acabado final que se le aplica a la mezcla de arakabe se le conoce como shikkui. El nombre deriva de la palabra *suk-wiji*, que significa, cal apagada. La mezcla de shikkui consiste en cal apagada, áridos, fibras naturales y el extracto de alga nori hervida como aglutinante adicional (Weissman, 2008, pág. 245).

En la antigüedad se usaba almidón de arroz en lugar de algas, pero resultaba demasiado costoso. Por esa razón los recubrimientos shikkui se limitaban a usarse únicamente en edificios importantes, como templos, palacios y edificaciones para la nobleza.

Durante el siglo XVI hubo un auge en la construcción de castillos, momento justo en el que se desarrolló la tecnología para reemplazar el almidón de arroz por algas. Esto propició que el uso del shikkui fuera más generalizado y accesible. Antes de 1963, el maestro yesero creaba sus propias mezclas, utilizaba materiales del entorno, hervía las algas, las mezclaba con cal, agregados y la fibra, pero a partir de los años 60 el shikkui comenzó a comercializarse y venderse en bolsas. (Weissman, 2008, pág. 246)

Actualmente, los acabados tradicionales de Japón se han ido retomando, tanto el arakabe como el shikkui. Se debe principalmente al reconocimiento del *síndrome del edificio enfermo*<sup>60</sup> en el Japón industrial, provocado por el uso de materiales de construcción tóxicos que están atrapados en edificios cada vez más herméticos. También se debe a la conciencia del impacto de muchos materiales modernos en el medio ambiente, así como el deseo de mantener las prácticas de construcción vernáculas.



**Figura 25.** Texturas del acabado rugoso arakabe y el acabado fino shikkui. Fuente: [www.kusuminaoki.com](http://www.kusuminaoki.com).

<sup>60</sup> Existen patologías en los edificios que, al afectar el medio atmosférico vital, provocan a su vez, patologías en el organismo del usuario. Dichas afecciones por lo general están relacionadas con los sistemas ocular, respiratorio y dermatológico. Los ocupantes permanentes de “Edificios Enfermos” están expuestos a diversos tipos de patologías causadas por condiciones adversas de humedad y temperatura; medios irritantes volátiles producidos por el sistema de climatización activa, sin dejar de mencionar los efectos negativos que acarrea el hermetismo de los recintos.

La organización mundial de la salud (OMS) ha definido como Síndrome del Edificio Enfermo (SEE), al conjunto de molestias y enfermedades originadas por el mal estado del edificio y que afectan más del 20 % de sus ocupantes. Fue en los años setenta cuando se comenzó a hablar del SEE. (Lozano, 2008, pág. 198)

Hoy en día, en el Japón contemporáneo aún existen maestros que se dedican a este tipo de técnicas, uno de ellos es Kusumi Naoki <sup>61</sup>, artista japonés nacido de una familia artesana de yeso tradicional. Naoki comenzó a aprender el arte del enlucido a partir de los tres años, y a la edad de 23 años estableció su propia compañía. Sus trabajos son muy singulares ya que combinan las técnicas tradicionales japonesas con sus propios estilos originales y creativos. Donde, el artista no solo juega con el material, sino que crea texturas que aparentan dar movimiento al recubrimiento.



**Figura 26.** Kusumi Naoki aplicando el recubrimiento arakabe sobre entramado de bambú. Tomado de: kusuminaoki.com.

---

<sup>61</sup> *Kusumi Naoki*, artista plástico nacido en la isla de Awaji en Japón en 1972, es la tercera generación de una familia de maestros yeseros. Recuperado de: [www.kusuminaoki.com](http://www.kusuminaoki.com). Consultado en agosto del 2018.

### 2.2.5. Relieves policromados, Huacas de Moche, Perú

La costa norte de Perú tiene un paisaje singular, alternado por valles y desolados desiertos. Cinco mil años antes de nuestra era, las sociedades ocuparon y transformaron estos paisajes con una ingeniosa y amplia red de acueductos de tierra. En arquitectura, el formato de este material evolucionó desde amorfos shicras<sup>62</sup> de Caral<sup>63</sup>, hasta los adobes paralelepípedos, tapiales y quincha en Chan Chan<sup>64</sup> (Flanco Jordan, 2016).

La capacidad de manejo de un complicado paisaje, la destreza y el orden geométrico, favoreció la construcción de centros ceremoniales de intensas policromías, como son Sechin y Moche. Así como extensas y notables ciudades como Chan Chan. La arquitectura religiosa Andina y la Moche en particular, es producto del diseño previo de un complejo programa arquitectónico e iconográfico.

Las Huacas de Moche se ubican entre el Cerro Blanco y el río Moche, a siete kilómetros al sureste de la ciudad de Trujillo. El paisaje corresponde a la zona de vida desierto desecado subtropical, carente de árboles, y por lo tanto expuesto a fuertes vientos de carácter abrasivo y contaminante, por arena y partículas que acarrea desde el litoral (Morales, 2016, pág. 22).

Los templos de Huacas de Moche se construyeron a base de unidades modulares adosadas entre sí, en su construcción se usaron aproximadamente cuarenta millones de adobes, que se acomodaban hasta rellenar los espacios del viejo templo y configurar una nueva plataforma, para posteriormente construir un nuevo templo con el mismo patrón arquitectónico de los precedentes.

---

<sup>62</sup> Bloques irregulares de tierra con grava, contenidos en bolsas fabricadas en forma de red.

<sup>63</sup> Caral es la ciudad más antigua del Perú (más de 5000 años desde el presente) y sede de la primera civilización andina que forjó las bases de una organización social propia y singular, que junto a Mesopotamia, Egipto, India, China y Mesoamérica son los focos originarios de cultura en el mundo. Tomado de: [www.arqueologiadelperu.com.ar/caral](http://www.arqueologiadelperu.com.ar/caral). Consultado el 7 de agosto del 2018.

<sup>64</sup> Chan Chan se ubica en el valle de Moche, frente al mar, a mitad de camino entre el balneario de Huanchaco y la ciudad de Trujillo, capital del departamento de La Libertad en la costa norte del Perú. El sitio arqueológico cubre un área aproximada de 20 kilómetros cuadrados. Tomado de: [www.arqueologiadelperu.com.ar/chanchan](http://www.arqueologiadelperu.com.ar/chanchan) consultado en agosto del 2018.

Entre estas estructuras se calcula que existen más de doce mil metros cuadrados de superficies, entre pinturas, altos relieves de complejas iconografías policromadas, ejecutadas exclusivamente en los espacios ceremoniales. Estas iconografías eran códigos, escenas o narraciones asociadas a la función litúrgica<sup>65</sup> del espacio ceremonial. Es decir, todas las estructuras policromadas no eran de carácter decorativo sino más bien religioso.



*Figura 27.* Huaca de la luna, vista de relieves policromados. Fuente: [www.jultom.com](http://www.jultom.com)

Los espacios de servicio o conexión se pintaban de blanco, únicamente los espacios ceremoniales y religiosos eran los que estaban policromados. La técnica pictórica es un temple al cual se le agregaban pigmentos a base de óxidos minerales mezclados con mucílago de cactus<sup>66</sup> para dar una mayor adherencia, estos pigmentos eran aplicados a las superficies de tierra ya cuando estaban secas, con pinceles y brochas de pelo de camélido (Flanco Jordan, 2016).

<sup>65</sup> Según la RAE, la palabra liturgia significa. Orden y forma con que se llevan a cabo las ceremonias de culto en las distintas religiones. Recuperado de: [dle.rae.es](http://dle.rae.es). Consultado el 22 agosto del 2018.

<sup>66</sup> El mucílago de cactus que utilizaban los mochicas era el de la planta conocida como san pedro, este tipo de cactus resulta de uso ceremonial y ancestral para la cultura de los Andes. El San Pedro (*Echinopsis* spp.) es un cactus columnar que se distribuye en el norte del Perú y que tradicionalmente ha sido utilizado en ceremonias de adivinación y medicina folclórica desde épocas prehispanicas hasta nuestros días. [www.jardinesverticales.pe/-san-pedro-planta-sagrada-del-peru](http://www.jardinesverticales.pe/-san-pedro-planta-sagrada-del-peru), consultado en agosto del 2018.

Todas las estructuras con superficies verticales expuestas presentan como acabados pintura mural y relieves policromos. Primero se aplicaba una capa de barro arcilloso, después se añadía una capa delgada de tierra con arena a modo de enlucido, y finalmente el color monocromo o policromo a las superficies lisas y a las que tuvieron relieves.

El complejo arqueológico de Huacas de Moche estuvo en completo abandono y expuesto al cotidiano saqueo por los habitantes circundantes. Fue hasta 1990, cuando el historiador peruano Ricardo Morales Gamarra<sup>67</sup> descubrió los primeros relieves de huaca de la luna y gracias a este hallazgo se inició un proyecto para la conservación de este complejo arqueológico (Morales, 2007, pág. 18).

Desde entonces el proyecto de recuperación y conservación del complejo arqueológico se ha desarrollado a través del estudio de las condiciones ambientales de la zona y las estructuras. El sistema constructivo y la técnica pictórica permiten explicar el comportamiento físico-mecánico de las estructuras y superficies como unidad.

“Entre los agentes externos interdependientes que usualmente afectan un monumento en abandono se encuentran los factores físicos como, la exposición a la intemperie, por ser el factor más agresivo y constante. Desde el descubrimiento de los relieves policromados, estos sufren un proceso de humectación- desecación o dilatación- contracción, cuya inmediata consecuencia se expresa como la exfoliación de la capa pictórica y posterior caída de las costras, proceso que incluso compromete al propio relieve” (Morales, 2007, pág. 272).

Un factor eventual que enfrenta la costa norte de Perú es el fenómeno del niño<sup>68</sup>, este evento resulta de grave peligro ya que se presenta como precipitaciones pluviales con mayor abundancia

---

<sup>67</sup> Licenciado en Historia y Geografía de la Universidad Nacional de Trujillo (Perú) con maestría en Ciencias Biológicas con Mención en Gestión Ambiental de la misma entidad. Ha trabajado en proyectos arqueológicos e históricos en sitios como Chan Chan, Chavín, Kué lap y Sechín, y ha llevado a cabo consultorías para Unesco, Apeco y el Banco Central del Ecuador. Su trabajo ha sido reconocido por entidades como World Monuments Watch, Global Heritage Fund, World Monuments Fund y la Agencia Española de Cooperación Iberoamericana; esta última le otorgó el Premio Internacional iv Reina Sofía (2005) por el proyecto Huaca de la Luna. Actualmente es docente de la Facultad de Ciencias Sociales de la Universidad Nacional de Trujillo y director del proyecto arqueológico Huaca de la Luna.

<sup>68</sup> Es un fenómeno climático cíclico que provoca estragos a nivel mundial, siendo las más afectadas América del Sur y las zonas entre Indonesia y Australia, provocando con ello el calentamiento de las aguas sud americanas.

Su nombre se refiere al niño Jesús, porque el fenómeno ocurre aproximadamente en el tiempo de Navidad en el Océano Pacífico, por la costa oeste del Sur de América. Recuperado de: [www.elclima.com.mx/fenomeno\\_el\\_nino](http://www.elclima.com.mx/fenomeno_el_nino). Consultado el 14 de septiembre del 2018.

entre los meses de verano y las esporádicas lluvias invernales, que resultan de alto riesgo ya que pueden activar la migración de sales contenidas en los adobes, morteros, enlucidos y relieves.

Fenómenos de carácter atmosférico, resultan perjudiciales para complejos ceremoniales como Huacas de Moche debido a que son recintos asentados sobre zonas costeras con alto contenido de sales, lo sorprendente de estos complejos es que después de tantos siglos siguen conservando su policromía, aunque cabe destacar que uno de los factores que más afecta a las estructuras de tierra es la lluvia ya que las desgasta y erosiona. Por eso es importante tener en cuenta el papel que desempeña la humedad en los recubrimientos de tierra.



**Figura 28.** Izquierda, patrones geométricos de Huacas de Moche. **Figura 29.** Derecha, Conservación del color de murales de la cultura moche en Perú. Tomado de: [www.huacasmoches.pe](http://www.huacasmoches.pe).

Es por esta razón que desde épocas ancestrales se ha buscado dar mayor estabilidad a las superficies térreas, buscando materiales naturales que funcionen como aglutinantes para dar mayor dureza y adherencia a los revoques. Huacas de Moche es el vivo ejemplo del buen manejo y estudio de las condiciones ambientales de un entorno.

### 2.3. Recubrimientos ancestrales en México



**Figura 29.** Zona Arqueológica del Sitio de Cacaxtla en Tlaxcala. Esta imagen es un antecedente del uso de la cal y revoques de tierra en las culturas mesoamericanas. Fuente: archivo propio de la autora, 2019.

La necesidad de proteger, recubrir, envolver o revestir un espacio ha existido desde que el hombre buscó un refugio. Los recubrimientos de las antiguas estructuras, gracias a su condición protectora tenían la doble función de ser lo suficientemente resistentes como para controlar acciones mecánicas y biológicas, como el impacto del agua. No solo funcionaban como elementos decorativos sino también formaban parte de todo un sistema y protegían las superficies a las que contenían (Avila & Guerrero, 2018).

La arquitectura prehispánica de México destaca por la extensa difusión del empleo de la tierra como material constructivo. Aunque existen numerosos sitios arqueológicos que utilizan piedra como apoyo estructural, predominan los conjuntos compuestos en su mayoría de edificios de bajareque<sup>69</sup>, tierra modelada<sup>70</sup>, tierra compactada<sup>71</sup>, adobe<sup>72</sup>, que fueron revestidos con mezclas de tierra y cal (Guerrero L. , 2015).

<sup>69</sup> Sistema constructivo que se basa en la combinación de maderas y cañas entre tejidas con un recubrimiento de tierra.

<sup>70</sup> Técnica que consiste en una mezcla que se compacta en el suelo. Recuperado de: [www.archdaily.mx](http://www.archdaily.mx). consultado el 14 de septiembre del 2017.

<sup>71</sup> Técnica que consiste en construir muros con tierra arcillosa, compactada a golpes y empleando un encofrado deslizante para contenerla. Recuperado de: [www.archdaily.mx](http://www.archdaily.mx). consultado el 14 de septiembre del 2017.

<sup>72</sup> El adobe es un tipo de ladrillo o pieza constructiva de fabricación normalmente artesanal que está compuesto principalmente por arcilla y arena. Puede contener limo y se le suele añadir un material fibroso, como paja u otras fibras naturales. En algunos lugares se le añade excremento seco de bovinos en lugar de paja. Recuperado de: [www.patologiasconstruccion.net](http://www.patologiasconstruccion.net). Consultado el 14 de septiembre del 2017.

Los edificios arqueológicos en México desde los más antiguos, hasta los que se encontraban en uso a la llegada de los españoles, ofrecen una gran unidad de concepción debido a que los fines a los que estaban destinados eran muy semejantes en todas partes, y a que las relaciones entre los pueblos que ocuparon el territorio y sus mutuas influencias fueron constantes aún entre lugares muy alejados entre sí. Sin embargo, un análisis aun cuando sea superficial de esas construcciones, demuestra que hay diferencia entre las diversas culturas, en estilo y sistemas constructivos (Marquina , 1964).

En los primeros edificios todavía no se ha podido documentar el empleo de la cal como elemento de construcción, por lo que exteriormente eran acabados con piedras toscamente colocadas, y revestidas con barro o pequeños fragmentos de toba<sup>73</sup> muy comprimidos, que naturalmente no ofrecían la resistencia suficiente.

El uso de la piedra labrada en los revestimientos y el descubrimiento de la cal como material de construcción, ya fuera empleada sola o formando un mortero mezclándola con arena, fue un gran avance en los sistemas de construcción; desde entonces los revestimientos tuvieron una duración mayor y fueron adquiriendo gran variedad de formas (Marquina , 1964, pág. 14).

En la época prehispánica, los muros estaban contruidos de barro con un grueso aplanado, formado por pequeñas piedras, barro y cal, con una parte baja en talud y el resto del muro vertical, aplanados totalmente con estuco y pintados de brillantes colores como sucede en Teotihuacán.

---

<sup>73</sup> Toba. Piedra caliza, muy porosa y ligera, formada por la cal que llevan en disolución las aguas de ciertos manantiales y que van depositando en el suelo o sobre las plantas u otras cosas que hallan a su paso. Recuperado de: [dle.rae.es](http://dle.rae.es), consultado el 14 de septiembre del 2018.

## 2.4. La pintura mural en Mesoamérica



**Figura 30.** Reconstrucción del Templo Rojo, fragmento de la reconstrucción en el museo de sitio de Cacaxtla. Fuente: Archivo propio de la autora

Un legado que dejaron las culturas prehispánicas en la historia latinoamericana, especialmente en la antigua Mesoamérica son sus policromáticos y emblemáticos murales, desde la región andina con la cultura moche, hasta la región del sureste de México con la cultura Maya y sus murales de Bonampak o la región de Cacaxtla en Tlaxcala, por citar algunas.

Lo impresionante de este legado es que, con el paso de los siglos, esos murales existen aún, esto es gracias a las técnicas y aglutinantes que empleaban en los pigmentos y las imprimaturas que hacían sobre estos. Los materiales consolidantes o aglutinantes que empleaban por lo regular eran de origen vegetal, natural o mineral.

Utilizaron cal, fibras, diferentes mucilagos, pelo animal, caolín, pigmentos naturales, estiércol, entre otros materiales. En los últimos tiempos con los nuevos descubrimientos y avances tecnológicos se ha tratado de interpretar la manera en que ejecutaban estos murales.



**Figura 31.** Uso de la cal y óxidos minerales en la pintura mural mesoamericana. Altar A lado occidental de la Zona Arqueológica de Tizatlán en Tlaxcala. Fuente: Archivo propio de la autora, 2018.

Los pobladores del México antiguo vivían dominados por la obsesión de estar en contacto incesante con sus dioses, ya fuera para obtener favores, o para curar de alguna enfermedad extraña. Repetían por ello en mil formas, y bajo cualquier motivo, la imagen de simbólica de esos seres quienes su imaginación depositaba el poder de regir los destinos de la Tierra y regular el curso de la vida, o lo que para ellos era igualmente importante, la muerte (Rodríguez, 1970).

Los artistas prehispánicos eran quienes principalmente abordaban temas cosmogónicos<sup>74</sup>. Por lo general la pintura y la escultura fueron la expresión de sentimientos mágicos y religiosos. Desde la cerámica pintada, las esculturas en los grandes bloques de piedra, casi todo reflejaba la veneración o el temor en el que vivía el hombre frente a los dioses.

El hombre prehispánico, despreciaba la vida, más no por amor a la nada, sino por perpetuarse en otras formas y en otras regiones, y cuando aceptaba el sacrificio del cuerpo era para alimentar con su sangre a los creadores, tan poderosos como dependientes del hombre y de la tierra. No se conoce otra religión en la cual los dioses se hallen a la vez tan investidos de poder y tan presentes en los ámbitos de la vida cotidiana de los pobladores de todas las regiones de México (Rodríguez, 1970, pág. 12).

La necesidad que tenía el hombre de estar en permanente comunión con las fuerzas sobrenaturales se manifiesta por doquier hasta la obsesión de crear y repetir patrones que se ven reflejados en sus construcciones y en muchos de los instrumentos que se utilizaban en la vida cotidiana. Es así como nace la forma de expresión que marcaría la historia del México prehispánico y que es esa comunión y comunicación directa con los dioses, la pintura mural.

La pintura mural llegó a convertirse en la forma de expresión obligatoria de las antiguas culturas, hasta el grado de cubrir por completo ciudades enteras y grandiosas como Teotihuacán. Si las pirámides, con sus líneas dinámicas apuntadas a un lugar misterioso del espacio, recordaban permanentemente al hombre la existencia de fuerzas rectoras, a las

---

<sup>74</sup> La cosmogonía habla de una sucesión de ciclos o eras cósmicas, determinadas por los dioses creadores, según el orden de la temporalidad cíclica. En este proceso, aparecen progresivamente, a partir de un agua primigenia estática, donde todo estaba confundido (caos), los otros elementos, los animales, las plantas y los astros, mientras que el hombre, como parte central del proceso, sufre una evolución cualitativa en espiral, que lo lleva a constituirse en el ser que los dioses necesitan para subsistir. Tomado de Mercedes de la Garza C., "El universo temporal en el pensamiento maya", *Arqueología Mexicana* núm. 103, pp. 38-44.

que era necesario integrarse, el color en sí mismo, que cubría los interiores y exteriores, exacerbaba ese recuerdo, colocando al hombre en un estado de hipertensión constante” (Rodríguez, 1970, pág. 7).

Los códices, las pinturas murales, la escultura policromada, las joyas, los mosaicos, los mantones de pumas. El tatuaje de los cuerpos, las grandes amazonas de flores, por mencionar algunos, son testimonio vivo del culto que los mesoamericanos tributaban al color.

Un reflejo de este tributo al color no sólo se ve en la pintura o vasijas sino también se ve muy reflejado en la poesía náhuatl, que está impregnada de radiantes símbolos de un colorido que hace volar la imaginación. Así como el pintor se alegraba poniendo colores, inventando armonías, diluyendo luces, el poeta náhuatl se llena de voluptuosidad al componer su canción con palabras que van asociadas a ideas del color.

Difícilmente se podrá comprender la pintura mexicana del pasado si no se entiende su simbología, ya que sus combinaciones cromáticas responden, muchas veces, más a convencionalismos mágico- religiosos que a las leyes físicas de contrastes y armonías (Rodríguez, 1970).

#### 2.4.1. Pigmentos, aglutinantes y conglomerantes en la pintura mural mesoamericana.

Hace ya un par de décadas, se desarrolló el Proyecto Templo Mayor de la cultura Mexica en el centro histórico de la Ciudad de México. Surge a partir del descubrimiento de la escultura de Coyolxauhqui, la cual fue vista por primera vez el 21 de febrero de 1978 por un grupo de trabajadores de la Compañía de Luz y Fuerza del Centro, quienes dieron aviso del hallazgo al INAH.

Una de las principales conclusiones del Proyecto Templo Mayor después de varios años de investigación en el recinto sagrado de Tenochtitlan, es que los Mexicas emplearon exactamente la misma paleta cromática y los mismos pigmentos para la pintura mural y la escultura a gran formato (Lourdes Cué Ávalos, num 102, año 2010).



**Figura 32.** Escultura de la Diosa de la Luna Coyolxauhqui, posible cromática que componía este monolito. Tomado de: [www.mexicodesconocido.com.mx](http://www.mexicodesconocido.com.mx)

Tras 38 años de excavaciones arqueológicas en el centro histórico de la Ciudad de México, sólo se ha registrado la presencia del color rojo, rojo vino, ocre, azul, blanco y negro, casi todos de origen inorgánico y cohesionados con aglutinantes orgánicos.

En contraste los documentos pictográficos se distinguen por una paleta más rica y de distinta composición. Un ejemplo de esto es el códice Borbónico, elaborado por tlacuilo de la cuenca de México en la primera mitad del siglo XVI. De acuerdo con un estudio realizado por Élodie Dupey, este documento posee pigmentos de 17 colores diferentes, rojo vivo, rosa vivo, rosa claro, anaranjado, amarillo, malva, azul violáceo oscuro, azul grisáceo claro, azul turquesa, verde oscuro, verde claro, café grisáceo oscuro, café chocolate, negro, gris marrón oscuro, gris claro y blanco. En la gran mayoría de ellos se emplearon colorantes orgánicos (vegetales o animales) que fueron fijados con materiales inorgánicos como sales minerales o arcillas.

En el caso del pigmento rojo, utilizado en las edificaciones de la antigua Tenochtitlan, estaba constituido por aglomerados de partículas granulares con cantidades significativas de hierro. Algunos estudios aclaran que se trata de la hematita<sup>75</sup>, mineral ampliamente difundido en nuestro planeta y que por lo general se encuentra en forma de sedimentos, fracciones finas y en rocas volcánicas.

<sup>75</sup> Es un mineral compuesto de Óxido Ferroso ( $Fe_2O_3$ ) y constituye una importante mena de hierro ya que en estado puro contiene un 70% de este metal, y las mayores cantidades se encuentran en las rocas sedimentarias. Recuperado de: <https://www.ecured.cu/Hematita>. Consultado el 12 de mayo del 2018.

Por otro lado, el pigmento ocre se compone de aglomerados de partículas fibrosas diminutas y aglomerados de partículas casi esféricas, todas ellas con un alto contenido de hierro, fue preparado a base de goetita<sup>76</sup>, mineral cuyas tonalidades van desde el amarillo hasta el anaranjado. Para el pigmento negro se aprovechó tanto como un carbón cristalino, como un material no cristalino que se aprovecha en forma de grafito.

Otro ejemplo que se tiene documentado sobre el uso del color en los murales está en la amplia paleta cromática usada por los pintores de Bonampak. Sin embargo, no todos los sitios mayas presentan un mundo del color tan complejo. En 23 sitios del área maya se han encontrado pigmentos que pertenecen a distintas tradiciones de color, para cuya definición los pigmentos clave son el azul y el verde mayas (Staines, 1998).

El azul maya. Este color representa uno de los grandes avances tecnológicos de Mesoamérica. Es un complejo orgánico-inorgánico estable y no un mineral natural. Los azules llamados “mayas” se fabrican al fijar el tinte orgánico índigo en los minerales arcillosos de paligorskita<sup>77</sup> (también conocida como atapulgita) y saponita, arcillas que solamente se encuentran en la península de Yucatán y Guatemala (Magaloni, Los colores de la selva. Procedimientos, materiales y colores en la pintura mural maya, 2008).

En diversos estudios realizados por el Instituto de Investigaciones Estéticas de la UNAM sobre las pinturas mayas, se han identificado seis tonalidades diferentes de azul maya. Esta observación abre por sí misma una concepción diferente acerca de la plástica maya en el Clásico y del popular pigmento “azul maya”, considerado generalmente un tono único de azul mar Caribe.<sup>78</sup>

---

<sup>76</sup> Goethita es un mineral muy común. Por lo general es un mineral oscuro y no muy bonitos, aunque las muestras de un puñado de lugares (especialmente de Colorado) son notables por sus crecimientos de cristales delicados y bellos o extrañamente formados crecimientos aterciopelados botrioidales y estalactítico. Recuperado de: <http://www.materialesde.com/goethita/>. Consultado el 12 de julio del 2018.

<sup>77</sup> La paligorskita, conocida también como atapulgita, es un filosilicato de magnesio y aluminio. Estas arcillas son un factor clave en el conocido pigmento maya "Azul maya". Los componentes principales del Azul Maya son el Índigo y la Paligorskita, este componente es altamente duradero y capaz de soportar las inclemencias de la naturaleza, es perfectamente capaz de "sobrevivir" ante los ácidos, es por eso por lo que las pinturas murales del área Maya se encuentran en buenas condiciones. Recuperado de: <https://ceramica.fandom.com/wiki/Paligorskita>. Consultado el 12 de julio del 2018.

<sup>78</sup> Información adaptada de: “La pintura mural prehispánica en México. Área Maya”, Instituto de Investigaciones Estéticas, UNAM, Tomo III. 1998.

No obstante, los artistas combinaron diferentes minerales con el pigmento azul maya para lograr tonos diversos. Además, gracias a la investigación de Sonia Ovarlez, hoy sabemos que los azules se oscurecen a medida que se calienta la mezcla de índigo y paligorskita.



**Figura 33.** Representación de la Guerra Maya. Las variaciones de tonos en azul y verde dentro de la pintura mural Maya son muy notorias, sobre todo en los detalles del tocado del Señor de Bonampak. Fuente: <http://negratinta.com/guerra-maya-parte-i-dismitificando-el-mito-del-pacifismo/>.

De acuerdo con los resultados realizados en las investigaciones del Instituto de Investigaciones Estéticas de la UNAM, en un corte estratigráfico<sup>79</sup> de azul maya tomado del cuarto 1 en Bonampak, se pudo notar que la capa de color azul presentó una apariencia de tinte orgánico típica del pigmento azul maya; sin embargo, en su estructura es posible que esta mezcla contenga pequeños cristales de azurita<sup>80</sup>, mineral que sin duda provenía del Centro de México (Staines, 1998).

El verde. Como el azul maya, este color se fabrica al impregnar la arcilla paligorskita en el colorante índigo y luego este tinte se mezcla con algún colorante amarillo orgánico o mineral. El

<sup>79</sup> La Estratigrafía, es una ciencia que estudia la superposición de capas o estratos de la tierra en el terreno con una finalidad arqueológica. Cada capa tiene una edad diferente, y según donde encontremos un objeto podemos establecer su antigüedad. Recuperado de: <https://www.ecured.cu/Estratigraf%C3%ADa>. Consultado el 12 de julio del 2018.

<sup>80</sup> La azurita es un especial mineral de cobre que pertenece concretamente al grupo de los carbonatos y que también se denomina malaquita azul o chesilita. Este mineral se forma normalmente a partir de los depósitos de cobre que se exponen a la intemperie y tiene un color azul que es muy característico. En muchos casos la azurita se encuentra asociada con otros minerales de cobre como la malaquita, que es de color verde, o con la cuprita, que es de color rojo oscuro. Recuperado de: <https://www.mineralesyrocas.com/azurita/>. Consultado el 12 de julio del 2018.

verde iridiscente del plumaje de quetzal que aparece en Bonampak se produce mediante la superposición de dos estratos transparentes de color; este método de fabricación de tonos secundarios requiere, por fuerza, de un aglutinante orgánico que les permita adherirse. En el tocado de Chaan Muan, señor de Bonampak, se aprecia el tono verde del plumaje de quetzal.<sup>81</sup>

- Conglomerantes y aditivos para la superficie de la pintura mural.

La pasta de cal con que se hicieron los soportes de la pintura mural maya constituye uno de los logros tecnológicos más importantes y característicos de esta civilización. Además de ser estéticamente adecuada, ha resistido en buenas condiciones el clima extremo de la selva y sabana tropicales.

Los soportes de cal para la pintura mural presentan la siguiente estructura, una capa que se aplica directamente sobre el muro de piedra caliza llamada mortero y, sobre éste, una capa más delgada y fina llamada enlucido. Sobre estas dos capas que constituyen el soporte, se aplica la capa pictórica (Staines, 1998, pág. 158).

Los constructores y artistas mayas idearon una pasta de cal que sirviera como recubrimiento interno y externo para sus edificios. Esta pasta, además de ser estéticamente adecuada, debía permanecer adherida a los muros en el clima extremo de la selva y sabana tropicales. También sirvió como cementante para pegar piedra contra piedra tanto en la fabricación de muros como en la bóveda maya.

La formulación de una pasta de cal que perdurara a pesar del clima extremo de la selva y sabana tropicales y que fungiera como recubrimiento y al mismo tiempo como cementante fue sin duda uno de los grandes avances tecnológicos del mundo maya. La pasta que usaron los artistas mayas para fabricar los soportes de sus pinturas murales es una mezcla de cal, arenas o agregados.

---

<sup>81</sup> Información adaptada de: “Los colores de la selva. Procedimientos, materiales y colores en la pintura mural maya”, Revista Arqueología Mexicana núm. 93, pp. 46-50, 2008.

En la mayor parte de los casos, los agregados eran *sascab*<sup>82</sup>, pero en otros las arenas pueden ser trozos de cal fraguada, (reutilizaban los estucos y los molían), trozos de calcitas, y raras veces arenas como cuarzos y feldespatos.

La cal se mezclaba con gomas vegetales<sup>83</sup> procedentes de la corteza de ciertos árboles. La cal es el elemento cementante, mientras que las arenas cumplen la función de esqueleto, otorgando la consistencia y rigidez adecuadas a la matriz de la cal.

El empleo de las gomas vegetales es una característica distintiva de la tecnología en el área maya e influye directamente sobre la manera de pintar. Las pastas de cal son conglomerantes ligeros, sin mucha dureza, que por su gran plasticidad cuando están húmedos pueden ser manejados con versatilidad. Estas características han hecho que los estucos mayas sobrevivan a la humedad de la selva tropical y puedan ser usados tanto en esculturas como soportes de pintura (Staines, 1998, pág. 161).

Como ya se mencionó, el uso de la goma vegetal extraída de arboles como el holol, el corchón, el chucum, entre otros, fue una de las prácticas mayas de elaboración de la cal. Los monosacáridos o azúcares de la goma son liberados al mezclar la corteza gomosa con la cal viva. Este procedimiento tiene el efecto de aumentar la solubilidad de los óxidos de calcio y de magnesio y de formar una solución coloidal que fomenta un eficiente fraguado de la cal. (Staines, 1998, pág. 161)

Sin embargo, la técnica y aplicación de los soportes se ven influidos por la naturaleza mineral de la cal. De igual manera, la densidad, la resistencia mecánica y frente a la humedad, así como el estado de conservación de los soportes de las diferentes pinturas murales del área maya dependen en parte, del tipo de roca caliza de la cual se obtiene la cal usada en la fabricación de morteros y enlucidos.

---

<sup>82</sup> El *sascab*, una arena blanca muy fina, pudo haber sido el componente árido más empleado. Este árido se encuentra de forma natural en depósitos del subsuelo y su formación debe a la intemperización de la piedra caliza y la combinación con otros minerales arcillosos presentes en el subsuelo. Recuperado de: <http://es-la.dbpedia.org/page/resource/Sascab>. Consultado el 18 de julio del 2018.

<sup>83</sup> Las gomas vegetales son polisacáridos formados por diversas unidades de azúcares (monosacáridos). Los monosacáridos se separan unos de otros mediante un proceso de hidrólisis que involucra aumento de temperatura y una reacción ácida o básica fuerte. (Staines, 1998, pág. 161)

En la península de Yucatán se encuentran regiones con rocas calizas de naturaleza mineral variada. Las rocas calizas de calcita con un alto contenido de calcio, las calizas de dolomita, con un alto contenido de magnesio, y las rocas calizas de aragonita, el mineral formado por los esqueletos marinos, con un alto contenido de calcio. Así que el desarrollo de una pasta de cal tan peculiar depende, entre otras cosas, del contexto geográfico y de la historia geológica de la zona en donde se desarrollaron las diferentes ciudades mayas.

Los mayas crearon una técnica particular que combina sustancias orgánicas, como mucílago, gomas y tintas vegetales, con sustancias inorgánicas, como diferentes tipos de cal, arenas calcíticas y arcillas blancas con propiedades especiales, y esto les permitió aprovechar sus limitados recursos de una manera óptima. Una de las características de la técnica maya es el adecuado aprovechamiento de los recursos locales.

Otro caso similar del uso de la cal y aglutinantes se observa en el sitio de Cacaxtla, Tlaxcala, cuyo elemento de mayor atracción es la maravillosa calidad plástica de sus pinturas murales, pues son una viva demostración de los vínculos entre las culturas del altiplano y la cultura maya. Esto por un lado aporta una valiosa información, pero abre otras interrogantes, principalmente sobre el origen étnico y cultural de sus habitantes (Lucet, 2013).



*Figura 34.* Escena del lado oriente del mural de La Batalla. Cacaxtla representa un esplendoroso ejemplo de arte mesoamericano donde se combinó la maestría de la representación pictórica con un mensaje ideológico de la mayor trascendencia para la cultura mesoamericana. Fuente: Archivo propio de la autora, 2019.

Las admirables características que se han encontrado en la obra pictórica también se manifestaron en toda la producción sociocultural de los habitantes de Cacaxtla.

Es decir, la obra arquitectónica ha sido muy poco estudiada debido al estado de deterioro en que se encuentran las edificaciones después de tantos años de agresiones destructivas, tanto por la acción de la naturaleza como de los habitantes más recientes del lugar<sup>84</sup>, que ignoraban su presencia y usaron las tierras para los animales y el cultivo, además de que se llevaron las piedras que podían ser reutilizadas en las construcciones del pueblo (Lucet, 2013, pág. 20).

El descubrimiento de los murales de Cacaxtla significó un importante hito en el ámbito de los estudios mesoamericanos, sin embargo, planteó al mismo tiempo nuevas incógnitas. La representación de motivos pictóricos de posible procedencia maya hizo repensar la interacción cultural de diversos grupos humanos en el altiplano central a la caída de Teotihuacán. En particular se reactivó el tema de la identidad Olmecaxicalanca, quienes eran señalados por fuentes etnohistóricas como los habitantes de Cacaxtla, aunque en general se señala que en Cacaxtla se fusionaron las influencias de diferentes regiones de Epiclásico mesoamericano.



**Figura 35.** Mural de la fachada del edificio A en el sitio de Cacaxtla. Los personajes representan del lado izquierdo al hombre jaguar y del lado derecho al hombre pájaro. Se puede observar no solo la riqueza pictórica sino también los espesores de sus recubrimientos los cuales realizaban a base de cal y aplicaban sobre muros de tierra. Fuente: Archivo propio de la autora, 2019.

<sup>84</sup> Este tipo de problemas se conocen como factores antropogénicos de riesgo. El término antropogénico se refiere a los efectos, procesos o materiales que son el resultado de actividades humanas a diferencia de los que tienen causas naturales sin influencia humana. Recuperado de: [https://www.ecured.cu/Contaminantes\\_antropog%C3%A9nicos](https://www.ecured.cu/Contaminantes_antropog%C3%A9nicos). Consultado el 11 de abril del 2019.

La pintura mural de Cacaxtla muestra un conocimiento de los materiales y las técnicas de otras escuelas pictóricas mesoamericanas y se sitúa de manera original dentro de las mejores expresiones en pintura mural de ese tiempo. Los artistas reinterpretan y combinan características esenciales de la pintura mural teotihuacana y de la maya (Magaloni, 2013).

- La técnica pictórica de los murales de Cacaxtla

La técnica pictórica de las pinturas murales de Cacaxtla consistía en aplicar sobre el muro el enlucido, una pasta fina de cal, dándole una textura rugosa para ayudar con la adherencia de los pigmentos. Cuando el enlucido se secaba, se procedía a realizar un trazo del dibujo, generalmente de color rojo.

Después se aplicaba el color dentro del trazo, utilizando mucílago de nopal para aglutinar las películas de color. Los pigmentos rojos, café y amarillo eran de origen mineral, el pigmento blanco era calcita, el negro era carbón vegetal, y el color azul, conocido como el azul maya, era una arcilla blanca llamada paligorskita teñida con índigo. Para concluir la pintura se aplicaba una línea de contorno negro (Brittenham, 2013, pág. 269).

- Los recubrimientos de la pintura mural de Cacaxtla.

La pintura mural se define siempre en relación con la arquitectura porque habita el espacio. Es decir, la pintura se construye a partir de su adecuación a la técnica constructiva. El sitio de Cacaxtla fue construido haciendo muros de tierra y tepetate que son muy susceptibles a la erosión por agua y viento. Por ello los constructores idearon una manera de recubrir los núcleos terrosos y proteger la arquitectura del intemperismo (Magaloni, 2013).

Los muros de tepetate y adobe se repellaron con una mezcla de tierra, arena y cal. Esta mezcla se compactó sobre los muros hasta formar repellados gruesos y muy resistentes de entre cinco y ocho centímetros de espesor, a este repello se le llamó “firme de tierra”<sup>85</sup>. Sobre éste se aplicó una serie de piedras pequeñas a distancias regulares que tienen la función de ayudar a anclar la siguiente capa constructiva.

---

<sup>85</sup> Beatriz Palavicini arqueóloga del sitio, fue quien empleo el término “firme de tierra”. Información recuperada de: (Magaloni, Cacaxtla, la elocuencia de los colores., 2013, pág. 148)

La interacción entre los muros de tierra y morteros de cal se puede observar también en la pintura mural teotihuacana y en la zapoteca. En Teotihuacán el firme de tierra se fabricaba al mezclar lodo, piedra volcánica y cal. Sus espesores llegaban a medir hasta 12 cm, y su dureza era inigualable. En las tumbas 104 y 105 de Monte Alban, los muros de tepetate se cubrían con un mortero de cal, feldespatos y tierra (Magaloni, 2013, pág. 149).

Es decir, estos tres sitios comparten una relación técnica entre núcleos y soportes hechos con tierra y repellados de cal. Los tres sitios, sin embargo, encuentran soluciones distintas para resolver la problemática de adherencia de los estratos de cal sobre los muros de tierra.

Todos los conjuntos de pintura mural en Cacaxtla tienen la misma estratigrafía: un mortero gris, que se aplica directamente sobre el firme de tierra, con muchas cargas duras, y un enlucido fino muy blanco, con arenas transparentes y algunas de color. Esta forma constructiva se mantiene estable en el tiempo.



Figura 36. Esquema de la estratigrafía más común en los muros de Cacaxtla. Fuente: (Gonzalez, 2013, pág. 215)

El mortero en Cacaxtla fue hecho al mezclar cal con arenas feldespáticas y cuarzo. La mezcla de color gris y las cargas tienen diferentes tamaños, desde partículas de medidas considerables y superficies duras, hasta pequeñas cargas duras y suaves. Este estrato es muy importante, ya que a la vez se ancla al firme de tierra que recubre la estructura arquitectónica y recibe el enlucido blanco y fino de cal, que sirve de soporte a las capas de color (Magaloni, 2013, pág. 149).



**Figura 37.** Técnica constructiva de repellos con cal, arena y tierra. En ambas imágenes se puede ver al centro el núcleo de tepetate. Esta cubierto por una capa gruesa, que va de los 5 a los 9 cm, la mezcla de tierra y agregados conforman lo que se llama “firme de tierra”; el cual tiene la función de homogenizar el muro de tepetate. Sobre este se incrustaban piedras repartidas uniformemente en toda la superficie, así el firme podía recibir las siguientes capas de recubrimiento. la primera capa es un mortero de cal y agregados de color gris que mide entre 1 y 2 cm; la segunda, es el enlucido fino de color blanco y representa el acabado final. Los enlucidos miden hasta 1 cm de espesor. Fuente: Archivo propio de la autora, 2019.

El enlucido fino es el soporte que recibe a las capas de color y tiene una función muy importante sobre la expresión artística en pintura mural. En Cacaxtla el espesor promedio del enlucido de cal es de 5 mm, mismo que se adhiere perfectamente al mortero rugoso. Está inspirado en los enlucidos de la pintura maya.

- Enlucidos de tierra en Cacaxtla y aglutinantes naturales.

En Cacaxtla existen tres murales que fueron pintados sobre recubrimientos de tierra compactada. El recubrimiento se fabricaba al mezclar arenas feldespáticas y de cuarzo en abundancia con tierra y poca cal. Las pinturas sobre tierra no son evidencia de un desarrollo técnico o temporal distinto; de hecho, los enlucidos de tierra y cal en la pintura mural hacen una referencia conceptual al interior de la tierra, transformando así el espacio de la representación en una cueva simbólica (Magaloni, 2013, pág. 153).

Los recubrimientos de tierra muestran que los artistas de Cacaxtla fueron expertos en el manejo de estos repellados de tierra, lo que los hace partícipes de una tecnología mural usada en el altiplano desde Teotihuacán y en la pintura mural zapoteca desde el preclásico.

Los estudios realizados en los últimos años revelan que, la cal utilizada en Cacaxtla se fabricaba al mezclar cal viva, ya calcinada con mucilago de nopal. Esta técnica de mezclar mucílagos vegetales o polisacáridos complejos con cal es característica de muchas regiones en Mesoamérica (Magaloni, 2013, pág. 150).

Estos mismos estudios comprueban que la adición de mucílagos ayuda a fabricar cementantes plásticos y eficientes, porque los azúcares guardan humedad al interior de la mezcla, posibilitando un proceso de fraguado lento, mismo que mejora las características mecánicas de la cal y su proceso de cristalización. Solamente un estrato de cal y mucílagos es capaz de mantenerse adherido a la superficie de los muros de la manera en la que los enlucidos lo están en Cacaxtla.

El aglutinante para los enlucidos y pinturas murales fue el mucílago de nopal (Magaloni, 2013, pág. 155). Pues en las capas pictóricas de todos los murales estudiados en Cacaxtla tienen presencia de los polisacáridos que caracterizan al mucílago de nopal. Estos son azúcares complejos que se disuelven con dificultad en un líquido altamente alcalino como el agua de cal<sup>86</sup>, más no alcanzan a solubilizarse con agua simple.

El mucilago de nopal como aglutinante en las mezclas tanto en pinturas como en enlucidos, tiene la capacidad de cristalización de la cal en su proceso de fraguado y la propiedad de guardar dentro de sí las partículas de pigmento en las pinturas. La cal trabajada con mucílagos vegetales tarda mucho en secar, esto ayudaba a los pintores de Cacaxtla a tener más tiempo de aplicar el color sobre las superficies enlucidas.

---

<sup>86</sup> Para tener un agua de cal y formar una solución con el mucilago de nopal, es necesario que se deje reposar el mucílago con agua y un poco de pasta de cal por un periodo mínimo de 48 horas para que este genere una mayor concentración. Esto se explica a mayor detalle en el capítulo 3 de este trabajo de investigación en donde se muestra la caracterización de los materiales para recubrimientos de tierra.

El aglutinante de nopal permitía preparar un líquido denso con pigmento que posibilitaba a los artistas agregar detalles continuamente y tener la capacidad de aplicar capas delgadas, diluidas en agua y otras más gruesas. La técnica de pintar murales parece haber sido entonces muy similar a la manera zapoteca y la maya; por una parte, en Cacaxtla, como en las pinturas murales de las tumbas de Monte Albán, se utiliza el mucílago de nopal como aglutinante. Por otra parte, también es similar a la manera maya de pintar, porque ambas escuelas usaban mucílagos vegetales mezclados con cal (Magaloni, 2013).

Los mayas usaban los mucílagos que extraían de las cortezas de árbol para mejorar las características de fraguado, haciendo un cementante más plástico que tiene gran capacidad de guardar agua dentro de su estructura. Además, ambas tradiciones buscaban crear enlucidos muy blancos de cal y agregados.

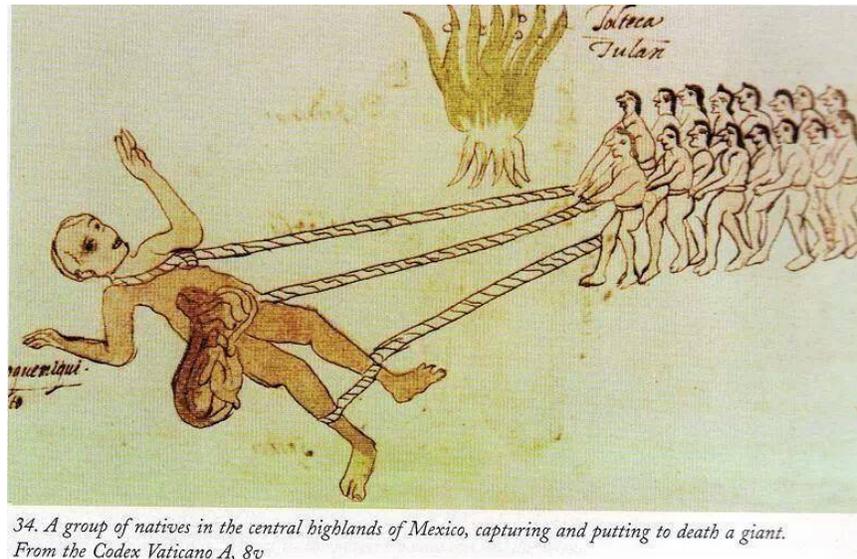
Se puede decir que tanto la técnica maya, zapoteca y la pintura mural de Cacaxtla es original y representativa de Mesoamérica utiliza el principio de la carbonatación de la matriz de cal para fijar el color, pero a su vez usa las propiedades de aglutinantes que dan los mucílagos vegetales al ser mezclados con la cal. Estos principios nos ayudan a retomar este conocimiento ancestral y ver su viabilidad de aplicación para generar recubrimientos más confortables y amigables con el medio circundante.

#### 2.4.2. Teotihuacán, la ciudad pintada

No se sabe a ciencia cierta quiénes fueron, ni de dónde vinieron los fundadores de Teotihuacán, tampoco se sabe exactamente qué idioma hablaban y cómo se llamaban a sí mismos. Lo que se sabe de ellos está escrito en la forma de sus pirámides, en el trazo de su urbe y en la pintura de sus murales.

Los sabios aztecas de la época de la conquista informaron a Sahagún sobre datos antiguos de su pueblo, y tenían “por cosa cierta” que Teotihuacán había sido edificada por gigantes, los míticos

*quinametzin*<sup>87</sup>, pues “solamente gigantes podrían haber construido a mano, los grandiosos montes que parecen naturales y no lo son” (Sahagún, 1961). Y de gigantes es la urbe tan grandiosa que los teotihuacanos comenzaron a construir, no muy lejos del lago de Texcoco.



**Figura 38.** Un grupo de indígenas, arrastrando el cuerpo de un gigante Quinametzin, imagen del códice Vaticano A. Fuente: [www.ancient-code.com](http://www.ancient-code.com).

La zona arqueológica de Teotihuacán, con sus monumentos, casas, palacios, calzadas, la ciudad, no era un simple centro ceremonial, sino una verdadera metrópoli, se extendía sobre un área de 142,2 Kilómetros cuadrados y contaba con una población que algunos calculan en trecientos mil habitantes (Rodríguez, 1970).

La pirámide de la luna no es ni la más alta ni la más importante. Pero la plaza monumental que se abre en la base de sus escalinatas, se extiende una imponente perspectiva de cuatro kilómetros de largo por cuarenta y cinco metros de ancho y que constituye el eje norte-sur de la ciudad.

Esta avenida, bautizada por los aztecas con el nombre de Mixcaotl<sup>88</sup> estuvo bordeada, de un lado y del otro, por una sucesión de templos y palacios que se elevaban sobre basamentos piramidales.

<sup>87</sup> *Quinametzin* es un término que se refiere a una raza de gigantes en la mitología de Mesoamérica, particularmente entre los pueblos nahuas. En la mitología mexicana con la leyenda de los soles, los quinametzin fueron la humanidad creada durante el sol de lluvia. Recuperado de: <http://www.laopinion.net/los-quinametzin-los-gigantes-prehispanicos/>. Consultado el 30 de junio del 2018.

<sup>88</sup> Conocida popularmente como “La Calzada de los muertos”.

Al este de la imponente perspectiva, y en rigurosa perpendicularidad, se encuentra la pirámide del sol, la cual mide aproximadamente 65 metros de altura y cubre una superficie de 225 metros por lado en la base. Orientada según el movimiento del sol en el día de su paso por el cenit del lugar, esta pirámide es la clave del urbanismo de Teotihuacán (Sahagún, 1961).

Al sur de la avenida, y siempre perpendicular a su eje, se extiende el cuadrángulo, de 400 metros de cada lado, al que se le ha dado el nombre de ciudadela. Dentro de este recinto delimitado por una plataforma sobre la cual se apoyan los basamentos piramidales, se levanta el templo de Quetzalcóatl, cuyo frente está literalmente cubierto por esculturas de serpientes emplumadas y mascararas del dios de la lluvia Tlaloc.

Después de estos y otros monumentos, se encuentran los innumerables templos, casas de culto y palacios; por lo general estos palacios tenían como centro un gran patio cuadrangular descubierto, rodeado de habitaciones, con pórticos, a los cuales se accedía por medio de escaleras con alfardas (Rodríguez, 1970).



**Figura 39.** Ilustración que muestra los posibles colores que vestían a la ciudad de Teotihuacán. Tomado de: [arqueologiamexicana.mx](http://arqueologiamexicana.mx)

Toda esa grandiosa ciudad, de edificios tan imponentes como la pirámide del sol y de avenidas tan amplias como la calzada de los muertos estaba recubierta de pintura con estucos, murales y elementos policromáticos que llenaban de vida esta urbe, de ahí el nombre de Teotihuacán, la ciudad pintada.

La técnica más usada para la aplicación de pinturas y revoques, consistía en que, sobre el muro que se había construido con piedras y barro, se extendía una gruesa capa de barro de unos diez centímetros de espesor mezclado con pequeños fragmentos de tezontle; sobre esa capa se aplicaba un nuevo recubrimiento de una mezcla muy fina, con una gran proporción de cal de dos a cuatro milímetros de grosor, y cuando estaba fresca, comenzaban a trazar, los motivos principales de la composición, corrigiendo después este dibujo con una línea rojo de color muy suave.

Posteriormente llenaban los campos con tintas, usando colores de origen mineral, entre ellos rojo oscuro, rojo claro, amarillo, gris, azul y verde; parece que se pintaba solamente el espacio en el cual era posible hacerlo, mientras el aplanado estaba húmedo, de un modo semejante a lo que, en el procedimiento llamado *al fresco*<sup>89</sup>, se llama tareas (Marquina , 1964).

Los colores se aplicaban con agua, eran absorbidos por el aplanado y después contorneados con una línea roja oscura que, lo mismo que las partes verdes, se pintaba cuando ya estaba seco el aplanado. En algunos casos parece que la pintura todavía fresca se bruñía con una piedra muy fina, hasta que adquiría dureza y brillo, que hacían al mural más resistente a los agentes exteriores.

Otro procedimiento que se ha encontrado en las pinturas se asemeja más a la técnica que actualmente se llama *al temple*<sup>90</sup>, es decir, que el color se aplica sobre una superficie seca, por medio de un pegamento, en este caso una especie de engrudo, goma o mucílago; los colores ofrecen una gran variedad de tonos, que se extienden formando capas muy delgadas y muy quebradizas,

---

<sup>89</sup> Se llama fresco porque la pared se cubre de yeso con varias capas de cal, y cuando la última capa está todavía húmeda, es cuando se pinta sobre ella. Así los pigmentos se quedan integrados químicamente en la propia pared, lo cual aumenta mucho su durabilidad. Es lo que se conoce como «buon fresco». Recuperado de: [historia-arte.com/tecnicas/fresco](http://historia-arte.com/tecnicas/fresco). Consultado el 9 de agosto del 2018.

<sup>90</sup> La técnica del temple consiste en utilizar huevo con agua destilada y pigmentos en polvo. Esta pintura tan fácil de fabricar se ha utilizado desde los egipcios, en el arte medieval, gótico, renacimiento, y en muy diversos lugares del mundo. Añadiendo barnices y veladuras se convierte en la técnica pictórica histórica. Recuperado de: [www.pinturayartistas.com/temple-tecnica-pictorica-historica](http://www.pinturayartistas.com/temple-tecnica-pictorica-historica). Consultado el 9 de agosto del 2018.

sobre un aplanado muy fino de barro, en el que los dibujos se trazan con líneas muy delgadas en color negro (Marquina , 1964).

Como no se conocía el dibujo en perspectiva, las figuras aparecen generalmente en un solo plano; cuando se requería presentar una escena más complicada, se colocaban los personajes a diferentes alturas, como si hubieran estado situados en diversos lugares del plano. Fue en el año 2003, gracias a los hallazgos encontrados en el Templo de Quetzalcóatl por el Laboratorio de química arqueológica y de conservación del Instituto de Investigaciones Antropológicas de la UNAM, donde se pudo documentar y determinar más a fondo los materiales utilizados en los murales y enlucidos, así como su posible técnica de aplicación.<sup>91</sup>

Uno de los hallazgos importantes que apporto esta investigación en el año 2003 fue que se encontró el uso de mucílago de *opuntia ficus* o comúnmente llamada baba de nopal, en pisos, murales y recubrimientos. Posiblemente los teotihuacanos lo aprovechaban como aglutinante y se lo agregaban a los estucos y a las pinturas murales, o lo utilizaban en la preparación de enlucidos en paredes y fachadas, de tal manera que éstas adquirirían cierto grado de dureza para resistir a los factores atmosféricos.<sup>92</sup>

## 2.5. Mestizaje constructivo, los acabados en muros tras la conquista de México

La conquista de México por contingentes de un pueblo tan impetuoso y místico como el pueblo español, tuvo que provocar una ruptura terriblemente dramática en la lenta evolución de las culturas mesoamericanas. Religión, lengua, costumbres, régimen social, tecnología, todo fue cambiando en un breve lapso, por hombres que supieron aprovechar la crisis interna del imperio azteca y de los pueblos sometidos por éste.

---

<sup>91</sup> Información rescatada de: Boletín UNAM-DGCS-337, la UNAM coadyuva al rescate de ruinas y monumentos, 6 de mayo del 2008.

<sup>92</sup> Ídem.

El arte en Mesoamérica había alcanzado un alto nivel de expresión, pero sufrió también, como era inevitable un cambio decisivo. Las pirámides fueron sustituidas por templos que eran verdaderas fortalezas; las ceremonias al aire libre fueron cambiadas por liturgias esotéricas en el interior de enormes templos; la antigua religión, con sus numerosos dioses ligados a las fuerzas de la naturaleza, fue remplazada por una religión cuya simbología expresaba más directamente al hombre (Rodríguez, 1970).



**Figura 40.** Sotocoro de la iglesia de Tecamachalco, Puebla. Fuente: [artecolonial.wordpress.com/pintor-tlacuilos](http://artecolonial.wordpress.com/pintor-tlacuilos)

Con la pintura mural ocurrió algo semejante. Sabiendo por experiencia que la pintura monumental, sobre grandes paredes lisas en el exterior de las pirámides y en el interior de los templos o de los palacios, constituía una forma de expresión de los pueblos de Mesoamérica, los españoles hicieron cubrir las paredes de sus iglesias y de sus conventos con impresionantes frescos.

Para realizar los nuevos frescos en las iglesias había que recurrir a los maestros *tlacuilos*<sup>93</sup>, quienes en esa época de la conquista abundaban, ellos realizaban su trabajo siempre bajo la vigilancia y control de los conquistadores.

---

<sup>93</sup> Los tlacuilos eran pintores-escribanos indígenas que tienen su origen en la época prehispánica. Se especializaban en la elaboración de obras pictóricas y su tarea consistía en pintar, mediante símbolos, elementos importantes para el pueblo mesoamericano. GONZÁLEZ MORALES, Leonardo Abraham "Los tlacuilos y la construcción del espacio novohispano en el siglo XVI" Revista Digital Universitaria [en línea]. 1 de abril de 2015, Vol. 16, No.4. Recuperado de: <<http://www.revista.unam.mx/vol.16/num4/art29/index.html>> ISSN: 1607-6079. Consultada el 8 de mayo del 2018.

Para ello, los españoles crearon varias escuelas de artes y oficios, donde algunos frailes aficionados a la pintura enseñaron a los indígenas no sólo la técnica del fresco, que ellos bien conocían y practicaban, sino las nuevas modalidades del dibujo, mucho más naturalista que el suyo, así como la perspectiva, la composición, y, sobre todo, la nueva y para ellos extraña temática (Rodríguez, 1970).

La primera escuela, llamada precisamente de artes y oficios, fue instituida por Fray Pedro de Gante<sup>94</sup> en el Convento de San Francisco de México, y otras dos más en el convento de Texcoco. Se enseñaba en ellas a los indígenas a copiar imágenes de santos y estampas de escenas religiosas traídas de Europa, particularmente de España e Italia, las mismas que después debían ser reproducidas al fresco en las paredes de los templos y de los conventos.

Obligados a copiar las imágenes, los tlacuilo indígenas lo hicieron con bastante eficacia pintando los principales templos y conventos de México en el siglo de la conquista. Algunas de estas pinturas son imponentes por su grandeza y llaman la atención del espectador actual por la ingenuidad con que el pintor indígena recreó temas que eran ajenos a su mentalidad y tradición artística.

Entre las escuelas y fundaciones conventuales que hicieron los franciscanos en la primera mitad del siglo XVI, se encuentra la que corresponde al antiguo pueblo prehispánico de Tecamachalco, Puebla. El 13 de agosto de 1541 Fray Diego de Estremera guardián del convento de Tepeaca, realizó la primera incursión a Tecamachalco, lugar habitado por indígenas popolocas<sup>95</sup>; y antes de finalizar el año Fray Francisco de las Navas bautizó a un gran número de indígenas e hizo la fundación a cargo de su nombre (Celestino Solís, 1992).

---

<sup>94</sup> Misionero franciscano al servicio de España, nacido en Flandes en 1486 y muerto en la ciudad de México en 1572. Dedicó su vida a la enseñanza de los indios de México con tal entrega y calidad, que muchos autores modernos lo han calificado de "primer maestro de América". Recuperado de: [www.mcnbiografias.com](http://www.mcnbiografias.com). Consultado el 6 de junio del 2018.

<sup>95</sup> El grupo étnico denominado popoloca jugó un papel muy importante en el desarrollo de la cultura mesoamericana. Según los estudios llevados a cabo en 1964 por MacNeish, los antiguos popolocas, los proto-otomangues, iniciaron la cultura agrícola hace 7.000 años, lo que hasta entonces era un paisaje natural se transformó en uno cultivado, al principio fueron el chile, el amaranto, aguacate, calabaza, izote, nopal, ciruela, maguey, mezquite, etc., y poco más tarde el maíz, lo que permitió el desarrollo económico y sociocultural de las grandes civilizaciones en Mesoamérica. (Celestino Solís, 1992)

El mismo año corresponde la elección del sitio en el que se levantaría la iglesia y el convento, los cuales se dedicaron a la Asunción de la virgen. A semejanza de otros conventos del siglo XVI, el de Tecamachalco fue un centro importante de cultura. Pues poseía grandes valores arquitectónicos y escultóricos en su interior. Sin embargo, la iglesia franciscana ocupa un lugar importante en la historia del arte virreinal mexicano, gracias a las pinturas que conserva en la bóveda del sotocoro, inspiradas en el antiguo testamento (Camelo Arredondo, 1964).

Estas pinturas poco comunes fueron atribuidas al tlacuilo de Tecamachalco Juan Gerson, y fueron dadas a conocer en 1932 por Manuel Toussaint<sup>96</sup>, mismo que atribuyó que las pinturas eran de Gerson. Estas pinturas representan escenas del viejo testamento sino prohibidas al menos no recomendadas por las autoridades de la iglesia en los primeros siglos de la colonia. Y no solo recrean escenas del viejo testamento; al parecer están inspiradas en la biblia protestante, que paso en su tiempo inadvertida. Estas pinturas están realizadas al óleo sobre tela adherida a la bóveda. Son murales, aunque no frescos (Rodríguez, 1970).

No obstante, que se conoce el nombre del autor de las pinturas, cuando fueron descubiertas por Manuel Toussaint comenzó el problema sobre la nacionalidad y origen de dicho autor. Para Toussaint el autor de las pinturas era de origen flamenco y en su hipótesis decía que Juan Gerson había recorrido Italia antes de llegar al nuevo mundo. Otro investigador de la época George Kubler también negaba de la identidad indígena de Gerson, pues decía que las pinturas eran muy parecidas a los grabados del pintor alemán Alberto Durero<sup>97</sup>, y que posiblemente Gerson era de origen europeo (Camelo Arredondo, 1964).

Quien se dio a la tarea de investigar el origen iconográfico de las pinturas fue George Kubler quien llegó a la conclusión de que Gerson tuvo a la vista grabados en madera de la Biblia de Wittenberg, para realizar casi todo su trabajo, con excepción de la escena de los Testigos del Templo, en donde utilizó una fuente italiana.

---

<sup>96</sup> Pinturas coloniales en Tecamachalco, revista de revistas, México, octubre 9 de 1932.

<sup>97</sup> Albrecht Dürer; Nuremberg, actual Alemania, 1471 - id., 1528. Pintor y grabador alemán. Fue sin duda la figura más importante del Renacimiento en Europa septentrional, donde ejerció una enorme influencia como transmisor de las ideas y el estilo renacentistas, a través de sus grabados. Se formó en una escuela latina y recibió conocimientos sobre pintura y grabado a través de su padre, orfebre, y de Michael Wolgemut, el pintor más destacado de su ciudad natal. Recuperado de: [www.biografiasyvidas.com/biografia/d/durero](http://www.biografiasyvidas.com/biografia/d/durero). Consultado el 2 de septiembre del 2018.

En el caso de Juan Gerson, es probable que este conto con varias fuentes graficas para sus pinturas; sin embargo, parece ser que la mayor parte de estas, salieron de un ejemplar de la Biblia impreso en Lyon, Francia en 1551 de las veintiocho pinturas con las que cuenta la bóveda, veintiuna provienen de esta edición (Camelo Arredondo, 1964).

En 1964 un grupo de investigadores del Instituto Nacional de Antropología e Historia<sup>98</sup>, se dieron a la tarea de buscar el origen de los materiales empleados para estas pinturas. Durante esa investigación encontraron la presencia de unas fibras distintas a las que poseen las telas que empleaban ordinariamente los pintores de esa época.

A través de un análisis científico de estas fibras se determinó que el material de las pinturas era papel amate, el mismo papel que utilizaban los pobladores mesoamericanos para crear sus códices, este evento estuvo presente como mudo testigo de la supervivencia de las tradiciones prehispánicas en la obra de Juan Gerson, quedando descartada la duda sobre el origen del pintor, pues nadie mejor que un indígena podía haber utilizado el mismo material que sirvió durante tanto tiempo para conservar las tradiciones ancestrales.



**Figura 41.** Detalle de las pinturas del sotocoro del templo de Tecamachalco, Puebla. A la izquierda la representación de la Torre de Babel imagen muy peculiar, ya que es una de las pocas obras pictóricas que muestran el oficio de la construcción durante el siglo XVI. A la derecha representación de la Jerusalén Celestial. Fuente: Archivo propio de la autora, 2018.

<sup>98</sup> (Camelo Arredondo, 1964) Juan Gerson. El tlacuilo de Tecamachalco, Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH), México, México.

Dentro del proceso de transculturación operado en México, una vez calmada la violencia de la conquista, la obra de Juan Gerson se presenta como un valioso ejemplo, mediante el cual se puede constatar dicho proceso, en el terreno particular de las artes plásticas. Juan Gerson no es el único artista indígena que haya asimilado amplia y prontamente la cultura occidental; no se tienen datos documentados sobre la existencia de más tlacuilos, los pocos datos que se conservan están guardados en las memorias de códices o relatos de la conquista. Es por ello por lo que el caso de Gerson es el más notable, respecto a la transculturación de la pintura (Camelo Arredondo, 1964).

Otro ejemplo de pintura mural en el siglo XVI se encuentra en el Convento de san Miguel Arcángel<sup>99</sup> en el estado de Hidalgo, estos murales fueron pintados por manos indígenas, y lo que tienen en común con los murales de Juan Gerson es que ambos tienen un tratamiento peculiar de la perspectiva (Kubler, 2012, pág. 451).

El mural que conserva la ahora Iglesia de Ixmiquilpan es un mural prehispánico diseñado por un grupo de Tlacuilos de la época. En este mural se aprecia una cosmovisión única en el mundo, ya que se conjugan desde guerreros náhuas del México prehispánico, hasta seres sobrenaturales pertenecientes a las leyendas europeas, tales como el centauro y el dragón (Vergara, 2010).



**Figura 42.** Mural con una influencia muy notoria de la pintura mural mesoamericana. Fuente: [www.masdemx.com/2016/02/un-mural-antiguo-sobre-la-mitologia-otomi-esta-guardado-al-interior-de-esta-iglesia/](http://www.masdemx.com/2016/02/un-mural-antiguo-sobre-la-mitologia-otomi-esta-guardado-al-interior-de-esta-iglesia/).

<sup>99</sup> Ahora se le llama Iglesia de Ixmiquilpan.

La pintura refleja en sí un combate entre lo que parecen ser hombres y monstruos; hombres armados con filos de obsidiana, cuya vestimenta personifica animales como el águila, el jaguar o el coyote, luchando contra bestias mitológicas<sup>100</sup> y otros hombres con arcos que personifican los chichimecas. Esta obra mural representa un híbrido y una transición entre un legado del arte mesoamericano y el proceso de evangelización que sufrieron los habitantes del México antiguo por parte de las órdenes religiosas de Europa.



**Figura 43.** Detalle del mural de Ixmiquilpan en donde se puede notar la influencia cromática y artística de la pintura mural mesoamericana. Fuente: [www.vamonosalbable.blogspot.com/2013/11/el-templo-de-san-miguel-y-sus-pinturas.html](http://www.vamonosalbable.blogspot.com/2013/11/el-templo-de-san-miguel-y-sus-pinturas.html).

- Influencia pictórica y técnica en recubrimientos posteriores a la conquista de México

Gracias al excelente conocimiento y manejo de la cal durante la etapa prehispánica, esta técnica de enlucidos, recubrimientos y pinturas con cal continuo en etapas posteriores a la conquista de México. Durante la etapa virreinal se buscó proteger las fachadas de cantería de templos y diversas edificaciones con pinturas a la cal, pigmentadas con óxidos minerales.

<sup>100</sup> Los murales tratan de afianzar ideológicamente a los otomíes en la causa hispana contra los nómadas, pues es sabido que contingentes importantes de indígenas (tarascos, otomíes, tlaxcaltecas y otros) participaron en las guerras de conquista del septentrión novohispano. Las escenas de guerra pretenden también evocar la pugna ancestral entre nómadas y sedentarios en la frontera de Mesoamérica. Los monstruos representan seres demoniacos que luchan en el bando chichimeca, lo que equivale a satanizar a este pueblo. Pese a la ayuda maligna que reciben los chichimecas, los sedentarios triunfan, y esto corresponde a modelo edificante de la psicomaquia, (la lucha entre el bien y el mal en la que debe triunfar el primero), caracterizando a esta conflagración como una guerra santa. (Vergara, 2010, pág. 10)

Pero fue en el siglo XVIII, cuando ocurre la última etapa misional novohispana<sup>101</sup>, uno de los aspectos en que destacan a los espacios de religión durante este siglo es la extensión de la evangelización hacia el norte de la Nueva España con el consecuente establecimiento de parroquias y catedrales.

El proceso de expansión del sistema misional hacia el norte o hacia las zonas de difícil acceso conto con el apoyo del gobierno virreinal, y no solo por fervor religioso sino por el interés de la Corona española en la colonización y poblamiento del vasto territorio bajo su mandato. Entre 1751 y 1768 bajo el cargo de Fray Junípero de Serra se fundan las misiones en el territorio de la Sierra gorda de Querétaro.

En ese lapso se fundaron las misiones de Jalpan, Landa, Conca, Tilaco, y Tancoyol, en el territorio de la Sierra gorda de Querétaro, iniciando la construcción de Iglesias y templos. Lo espectacular de estas construcciones es la policromía de sus fachadas y la expresión del barroco en su máximo esplendor.



**Figura 44.** Fachada policromada de la Misión de Landa en la Sierra Gorda de Querétaro. Fuente: <http://templosmisionesqueretaro.blogspot.com/p/blog-page.html>.

<sup>101</sup> El concepto de misión se refiere al poder o la facultad que se otorga a una persona para desempeñar un cometido en un nuevo territorio. En arquitectura usamos el término misión para referirnos a los establecimientos religiosos cuya finalidad era evangelizar a la población en los lugares más remotos. En este sentido, son misiones tanto las construcciones conventuales del siglo XVI como las últimas del primer tercio del siglo XIX, puesto que, en ambos casos, se trata de un conjunto edilicio construido ex profeso para apoyar las actividades relacionadas con la evangelización. (Chanfón, 2004, pág. 385)

Fray junípero organizó y adiestró a los indígenas para que éstos levantaran las misiones con sus propias manos. Aunque los monumentos de cal y canto presentan ya las características ornamentales y arquitectónicas de las construcciones barrocas de su tiempo, cabe destacar que siguen el mismo plan de los conventos del siglo XVI: una plaza, un atrio, cuatro capillas posas en las esquinas y al centro la cruz atrial; al fondo la iglesia abovedada, con planta de cruz latina y al centro y cúpula al centro, y por último el sencillo claustro que hospedaba a los frailes.<sup>102</sup>



**Figura 45.** Detalle de la ornamentación y policromía de la fachada en la Misión de Landa en la Sierra Gorda de Querétaro. Fuente: <https://www.flickr.com/photos/frenchop/6840102786/in/photostream/>.

Lo que ha hecho famosas a estas misiones es su ornamentación y su colorido al exterior de sus iglesias, ejecutada en piedra y argamasa<sup>103</sup> policromadas; por desgracia los retablos originales han desaparecido.

<sup>102</sup> Información adaptada de: Revista México Desconocido en línea. “Historia y encanto de las misiones de la Sierra Gorda (Querétaro)”, 20 de agosto del 2010. Recuperado de: <https://www.mexicodesconocido.com.mx/historia-y-encanto-de-las-misiones-de-la-sierra-gorda-queretaro.html>. Consultado el 11 de abril del 2019.

<sup>103</sup> Mezcla de arena, cal y agua que tiene como objetivo unir piezas o ladrillos en obras de albañilería. Recuperado de: <https://www.ecured.cu/Argamasa>. Consultado el 12 de junio del 2018.

Las 5 misiones construidas en la Sierra Gorda de Querétaro tienen elementos que destacan escenas bíblicas, el fin de los frailes franciscanos era evangelizar a los pueblos del norte de la República por medio de imágenes impactantes, por eso la riqueza en la ornamentación de sus fachadas barrocas.

En todas las fachadas policromadas de las misiones se puede observar un mestizaje constructivo, esto es lo que hace diferente el arte Virreinal del Europeo, el reflejo de la mano indígena y el duro desapego que sufrieron estos por dejar de lado sus creencias ancestrales.

Es decir, los pobladores indígenas no querían desprenderse de sus creencias y estratégicamente colocaban elementos de origen prehispánico dentro de fachadas o pinturas; y por otro lado los colonizadores implementaron nuevos sistemas constructivos enseñando a los colonizados nuevas técnicas constructivas, del mismo modo eso funciono como estrategia para la evangelización de los pobladores, bajo esos acontecimientos fue como se fusionaron ambas técnicas constructivas, generando un nuevo estilo muy propio y característico de México.



**Figura 46.** Detalle ornamental de la fachada de la Misión de Tilaco en la Sierra Gorda de Querétaro. Dedicada a San Francisco de Asís, fue construida entre 1754 y 1762 y dirigida por Fray Juan Crespi. Es la más pequeña y sencilla de las cinco y en su fachada. Fuente: <https://www.flickr.com/photos/frenchop/6839503698/in/dateposted>.

Si bien, el uso de la cal siguió cobrando importancia durante el virreinato y en etapas posteriores; la necesidad de proteger las superficies ante agentes atmosféricos continuo por cientos de años, hasta que después de la revolución industrial el uso de la cal como conglomerante para estucos, pinturas y recubrimientos tuvo un declive significativo, más aún con la llegada del cemento al mercado de la construcción.

## 2.6 Ventajas y limitaciones del uso de la tierra como material en recubrimientos arquitectónicos.

Para proponer la tierra como un material viable en la construcción, es importante conocer las características, ventajas y limitaciones que este material puede tener. No sólo en materiales como la tierra es importante tener conocimiento de sus características, sino que esta misma regla aplica para todo material propuesto para la arquitectura.

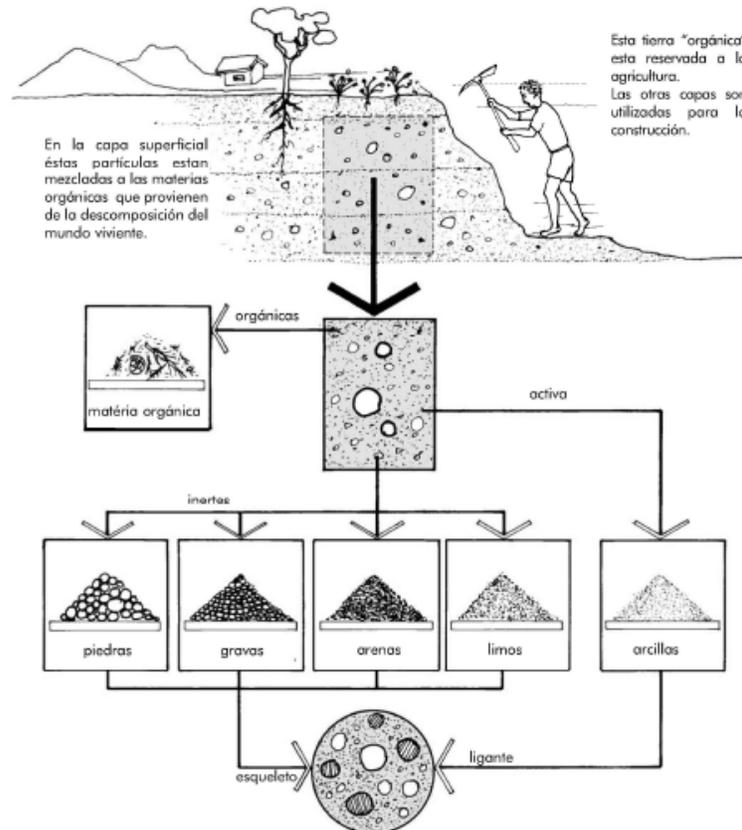
Señalando al principio de esta investigación, a la tierra utilizada como material de construcción se le han dado diferentes nombres, barro, tierra cruda, arcilla, lodo, etc., sin embargo, para este trabajo se decidió dejar el término como tierra. Para entender mejor las funciones de este material es importante mencionar las ventajas y limitaciones que conlleva el uso de la tierra en sistemas constructivos de recubrimiento, que a continuación se enlistan.

- No es un material de construcción estandarizado.

El material proviene de la erosión mecánica y química de la roca madre, esta roca se disgrega en partículas minerales de dimensiones variables desde las gravas hasta los polvos arcillosos.

No todos los tipos de tierra son apropiados para construir, por lo tanto, se debe seleccionar la tierra adecuada para cada técnica constructiva. La tierra como material de construcción es una mezcla de arcilla, limo y arena y algunas veces puede contener una cantidad considerable de grava o gravillas. La composición y las propiedades de los diferentes tipos de tierra dependerán de las condiciones locales, es decir, del lugar que se extraiga el material.

Las propiedades de la grava, arena y limos son totalmente diferentes a las de la arcilla. Estos son simplemente agregados que no tienen fuerza de cohesión, y se forman a partir de la erosión de las piedras, o por el movimiento del agua. El agua es un componente clave, ya que es el elemento que activa las fuerzas de cohesión de la mezcla de tierra.



**Figura 47.** Extracción de la tierra, composición y granulometría. Fuente (Gatti, 2012)

Existen diferentes tipos de tierra, según la importancia en cantidad de uno de los componentes: tierra arenosa, limosa, gravosa o arcillosa. Dentro de sus propiedades destacan tres, la propiedad de cohesión, plasticidad y compactación. La composición de la tierra depende del lugar de donde se extrae, puede contener diferentes cantidades y tipos de arcilla, limo, arena y agregados.

- Se contrae al secar.

A través de la evaporización del agua de amasado<sup>104</sup>, necesaria para activar la capacidad de aglomerante de la arcilla y para poder ser manipulada la mezcla, pueden aparecer fisuras. La retracción lineal durante el secado oscila entre el 3-12% en técnicas de tierra húmeda, en este caso como los recubrimientos. La retracción se puede disminuir reduciendo la cantidad de agua y arcilla, optimizando la composición granulométrica o mediante el empleo de aditivos (Minke, 2001, pág. 16).

- No es impermeable.

Uno de los agentes climatológicos que afectan a la tierra es la lluvia. La tierra debe estar protegida contra la lluvia especialmente cuando se encuentra en estado húmedo. Los muros de tierra pueden protegerse con aleros, barreras impermeabilizantes o tratamientos superficiales. Por otro lado, la tierra tiene muchas ventajas en comparación con los materiales de construcción industriales.

- Regula la humedad ambiental

Una de las características importantes de la tierra es la higroscopicidad, pues toda superficie de tierra tiene la capacidad de absorber y liberar humedad más rápido y en mayor cantidad que otros materiales de construcción. Por eso regula el clima interior.<sup>105</sup>

- Almacena calor

Al igual que otros materiales densos, la tierra almacena calor. En zonas climáticas donde las diferencias de temperaturas son amplias, o donde es necesario almacenar la ganancia térmica por vías pasivas, el barro puede balancear el clima interior.

- Es reutilizable

---

<sup>104</sup> En el capítulo 1 se describe el significado del término “agua de amasado”.

<sup>105</sup> Experimentos llevados a cabo en el laboratorio de construcciones experimentales de la Universidad de Kassel, Alemania, demostraron que cuando la humedad relativa en un ambiente interior aumenta súbitamente de 50% a 80%, los bloques de tierra pueden absorber 30 veces más humedad que los ladrillos cocidos en un lapso de dos días. Aun cuando se colocan en una cámara climática a 95% de humedad relativa durante 6 meses los adobes se humedecen, pero no se ablandan. (Minke, 2001, pág. 17)

La tierra puede volver a utilizarse ilimitadamente. Solo necesita ser triturada y humedecida con agua para ser reutilizada. La tierra en comparación con otros materiales no será nunca escombros que contamine el medio ambiente.

- Economiza materiales de construcción y costos de transporte

Generalmente la tierra que se encuentra en la mayoría de las obras producto de la excavación de cimientos puede ser utilizada en la construcción. Si el material no contiene suficiente arcilla deberá mezclarse con arena lo que significa modificar la composición del barro. En comparación con otros materiales de construcción se puede disminuir considerablemente los costos si se utiliza el suelo excavado. Aun cuando este deba ser transportado a otros lugares resulta más económico que los materiales industriales.

- Material de construcción fomenta la sostenibilidad

Las técnicas de construcción con tierra pueden ser ejecutadas por personas no especializadas en construcción, es suficiente la presencia de una persona experimentada controlando el proceso de construcción. Estas técnicas son ideales para fomentar la sostenibilidad, en primer lugar, porque son técnicas constructivas que pueden ejecutarse con herramientas sencillas y económicas, reduce los costos y lo más importante utiliza los materiales de la región, lo que mantiene más estable y en equilibrio con el medio ambiente.

- Efecto de la tierra en el balance de la humedad

Un material poroso tiene la capacidad de absorber humedad del ambiente y liberarla, ofreciendo un balance de humedad en el ambiente interior. El contenido de humedad del material depende de la temperatura y de la humedad del ambiente. La efectividad de ese proceso de balance depende también de la velocidad de la absorción y liberación de humedad.

Por ejemplo, experimentos desarrollados en la Universidad de Kassel, muestran que la primera capa de 1.5 cm de un muro de adobe es capaz de absorber aproximadamente 300 g de agua por m<sup>2</sup> de la superficie del muro en 48 horas si la humedad del ambiente incrementa súbitamente de 50% a 80%. En cambio, la piedra silicocacárea y la madera de pino de un mismo espesor absorben solamente 100 g/m<sup>2</sup> aproximadamente, el revoque 26-

76 g/m<sup>2</sup> y el ladrillo cocido solo 6-30 g/m<sup>2</sup> en el mismo periodo. Los resultados demuestran que los bloques de barro (adobes) absorben 50 veces más que los ladrillos cocidos a altas temperaturas (Minke, 2001, pág. 20).

- Desventajas

Los prejuicios contra el uso de la tierra como material de construcción son contradictorios y generalmente son el reflejo del desconocimiento sobre las ventajas y vulnerabilidades del material. Para muchas personas resulta difícil concebir que un material natural como la tierra no necesite ser procesado y que en muchos casos la excavación ofrezca un material que puede ser utilizado directamente para construir.

Por otro lado, se tiene un mal concepto sobre los sistemas constructivos de tierra, muchas personas están muy casadas a la idea de entre más pesado el material más resistente es, este concepto ha sido influenciado gracias a la industrialización y los materiales populares en el mercado de la construcción como cementos y concretos.

Existe otra afirmación popular de las estructuras de tierra con respecto a que gusanos o insectos puedan vivir en muros de tierra, esta afirmación es infundada ya que los muros de tierra son macizos. Los insectos solo pueden existir si hay huecos en los muros de bahareque o de adobe.

En Sudamérica el mal de Chagas que conduce a la ceguera proviene de insectos que viven en muros de bahareque. Los huecos se pueden evitar construyendo muros de tierra apisonada o bloques de tierra con juntas totalmente rellenas. Asimismo, si la tierra contiene demasiado aditivo orgánico como en el caso de la arcilla alivianada con paja con una densidad menor de 600 kg/cm<sup>3</sup>, se pueden alojar en su masa pequeños insectos y atacarla (Minke, 2001, pág. 22).

Las paredes macizas de tierra son difíciles de limpiar, por eso es necesario usar una capa protectora para evitar daños abrasivos a la superficie. Es en momentos como este que el papel de los recubrimientos es muy importante ya que todo muro sin revocar necesita de ellos para proteger las estructuras de agentes antrópicos, y al mismo tiempo aprovechar las cualidades higroscópicas de la tierra.

La arquitectura de tierra tiene limitaciones técnicas que se pueden resolver mediante un diseño apropiado, pues si algo falla no es culpa necesariamente del material sino de un mal manejo de una técnica o sistema constructivo. Por eso es necesario prever y tomar en cuenta una buena solución en cuanto al diseño adecuado para este tipo de edificaciones, tanto para acabados como para estructuras.

## 2.7 Tierra y sostenibilidad.

Los problemas ambientales causados por el hombre en el proceso de producción de bienes de consumo, así como la producción sostenible del espacio urbano, se hicieron evidentes a finales del siglo XX, lo que dio como resultado la sensibilización de la sociedad sobre la urgente necesidad de revertir esta situación. Instalada la crisis de los modelos de construcción establecidos, la arquitectura y a construcción con tierra retorno como una alternativa sostenible, fomentando la búsqueda y la oferta para la capacitación de profesionales interesados en entender nuevos paradigmas (Neves, 2011).

La palabra sostenibilidad o sostenible es una palabra que se encuentra sujeta a una serie de críticas y debates. Para entender dicha palabra es necesario consultar los primeros textos, producto de conferencias, tales como, la conferencia de Estocolmo, por las naciones unidas en 1972, donde se toca por primera vez este tema, o la conferencia de Rio de Janeiro en 1992, estudiar el origen de esta palabra ayuda a entender el inicio y evolución del concepto de sostenibilidad, ya que todas las críticas y debates a los que se ha visto expuesto con el paso del tiempo fueron tomando diversos enfoques.

En tales textos se puede apreciar una diversidad de enfoques, donde más allá de indigestarse en un mundo de información, es indispensable tener una percepción organizada de lo que se entiende en las distintas posiciones de un mismo concepto.

La arquitectura tradicional es heredera del conocimiento empírico, producto de la experimentación ancestral de los pueblos indígenas en sus construcciones. Este cúmulo de experiencias sintetiza la

búsqueda constante de los pueblos por satisfacer las necesidades básicas de adaptación al medio natural, esta búsqueda hace que este conocimiento, sea un conocimiento dinámico, ya que este es constantemente readaptado, renovado y expandido (Guerrero L. F., 2014).

Los referentes empíricos están presentes en la práctica arquitectónica tradicional, cuyos referentes contienen los siguientes elementos de sostenibilidad<sup>106</sup>:

- a. Continuidad. En el uso ancestral de conocimientos constructivos.
- b. Conservación. Del conocimiento ancestral, parte del patrimonio cultural indígena.
- c. Uso de diversos materiales locales, extraídos del escenario mega-diverso de flora y fauna donde se inserta.
- d. Poca o nula dependencia externa de materiales, y conocimientos constructivos con lo cual se robusta la autosuficiencia y relativa dependencia de las comunidades rurales.
- e. Costos de la construcción acordes con el contexto económico.
- f. Mecanismos de reciprocidad, continuidad de prácticas solidarias tradicionales.
- g. Conservación del conocimiento “in situ”, porque se transmite de manera práctica, de generación en generación.
- h. Participación de una gran parte de integrantes adultos, hombres y mujeres e cada familia involucrados en los proyectos de construcción.
- i. Diversidad de soluciones arquitectónicas.

Hoy en día existen métodos para medir las dimensiones de la sostenibilidad de manera cualitativa. La preocupación por el medio ambiente y su conservación ha sido un tema que se ha ido explorando por casi más de 3 décadas. Innumerables han sido los aportes científicos y tecnológicos e innumerables ha sido la literatura que aborda el concepto de sostenibilidad.

Por otro lado, en lo referente al concepto de *arquitectura sustentable* Pedemonte y Yarque (2009) consideran que este tipo de concepto se ha convertido en el paraguas que cubre una diversidad de tendencias arquitectónicas y mencionan: la arquitectura bioclimática, la arquitectura solar, la natural, la bioambiental, la eco arquitectura, la arquitectura verde, el Greenbuilding, la alta eficiencia energética, nuevos materiales, ciclo de vida, gestión participativa, autoconstrucción y

---

<sup>106</sup> Información recuperada de: (Guerrero L. F., La sostenibilidad de la vivienda tradicional, 2014)

ecovillas. Entre las distintas tendencias se puede identificar que son opuestas entre sí, desde las que privilegian la investigación científica hasta los que valorizan la ejecución práctica.

En esta tendencia de añadir a los conceptos el calificativo “sustentable”, para referirse de una manera más específica, es necesario revisar la literatura que hace claro este concepto de sostenible sobre todo en la vivienda. Parte de la metodología para medir la sostenibilidad parte de la identificación de criterios de sostenibilidad, primero de una manera muy general y después de una manera específica, es decir se trata de medir de lo general a lo particular de una forma cualitativa.

En los últimos diez años existe esfuerzos por medir la sostenibilidad de la vivienda, la mayor parte de estos centran sus criterios en la sostenibilidad ambiental, en especial lo referente al ahorro de energía, transporte, emisiones, agua, ciclo de vida de los materiales y recursos naturales.

En menor medida y de forma aislada se encuentran los trabajos de investigación que analizan otras dimensiones. La sostenibilidad económica, bajo criterios de accesibilidad y producción y la sostenibilidad cultural bajo los criterios de identidad, continuidad, cambio y transmisión de conocimiento en el seno de las comunidades. Y por último la dimensión institucional bajo criterios de gobernanza y autonomía.

Como conclusión puede agregarse que es necesario fortalecer los componentes de sostenibilidad, económica, social, ambiental y cultural en los nuevos proyectos de intervención del estado en coparticipación de los habitantes de un lugar.

Por último las preocupaciones ambientales que caracterizan a la década de los sesenta del siglo pasado, impulsan a proponer, cambios en la forma de ver y diseñar nuestro entorno. Cinco décadas después nos hemos dado cuenta de que nuestro entorno tiene un sinnúmero de dimensiones que deben trabajarse al mismo tiempo que la búsqueda de la sostenibilidad, y que, para llegar a ella, debemos medir que tan lejos se está de llegar.

Algunos accesorios, un poco de pintura verde, y un poco de pasto en las azoteas distan mucho del lugar a donde se quiere llegar, un lugar autónomo, auto independiente con equidad, calidad de vida, continuidad de la diversidad cultural, conservación y manejo sustentable de los recursos naturales.



CAPÍTULO 3

# ESTRUCTURA Y CARACTERIZACIÓN DE UNA EPIDERMIS DE TIERRA

F I S U R A C I Ó N

### **CAPÍTULO 3. ESTRUCTURA Y CARACTERIZACIÓN DE UNA EPIDERMIS DE TIERRA**

Dentro de la arquitectura en general, es importante conocer el origen y las propiedades físico-mecánicas de los materiales que se proponen, así como también sus ventajas y limitaciones. Para la construcción con tierra sucede lo mismo, a pesar de que la edificación con tierra se ha desarrollado a partir de la transmisión de conocimientos empíricos, no deja de ser de suma importancia conocer las propiedades más destacadas de los suelos para su empleo en la arquitectura de tierra.

La arquitectura de tierra engloba toda la serie de estructuras en las que el suelo natural es acondicionado mediante procesos de humidificación, transformación y secado al sol, para edificar elementos constructivos que hagan posible la habitabilidad de los espacios. La base de este proceso tecnológico radica en la capacidad de las partículas que integran la tierra de ser alteradas mediante sencillos mecanismos que permiten modificar la forma del conjunto y que le confieren solidez y estabilidad fisicoquímica dentro de rangos de equilibrio específicos (Guerrero L. , 2007, págs. 184-185).

La tierra es un producto de la erosión de las rocas en la corteza terrestre. La erosión ocurre fundamentalmente a través de la pulverización de las rocas provocada por movimientos glaciales, del agua y el viento, por la expansión y contracción térmica de las rocas o por la expansión del agua congelada en las grietas de las rocas.

Adicionalmente los ácidos orgánicos existentes en las plantas, reacciones químicas producidas por el agua y el oxígeno provocan también la erosión de las rocas. La composición y variedad de las propiedades de la tierra dependen del lugar donde se encuentra.

La tierra es una mezcla de arcilla, limo y arena, que algunas veces contiene agregados mayores como grava. En ingeniería las partículas se definen dependiendo de su diámetro: partículas con diámetros menores a 0.002 mm se denomina arcilla, entre 0.002 y 0.06 mm limo, y entre 0.06 y 2 mm arena. Partículas mayores se denomina gravas (Minke, 2001).

### 3.1. Naturaleza de las arcillas

La arcilla actúa como aglomerante para unir partículas mayores en la tierra como lo hace en el concreto el cemento. La granulometría de la tierra está compuesta de arcillas, limos, arenas y otros agregados como grava. El término arcilla se define a partir de distintos puntos de vista (García Romero & Suárez Barrios, 2002).

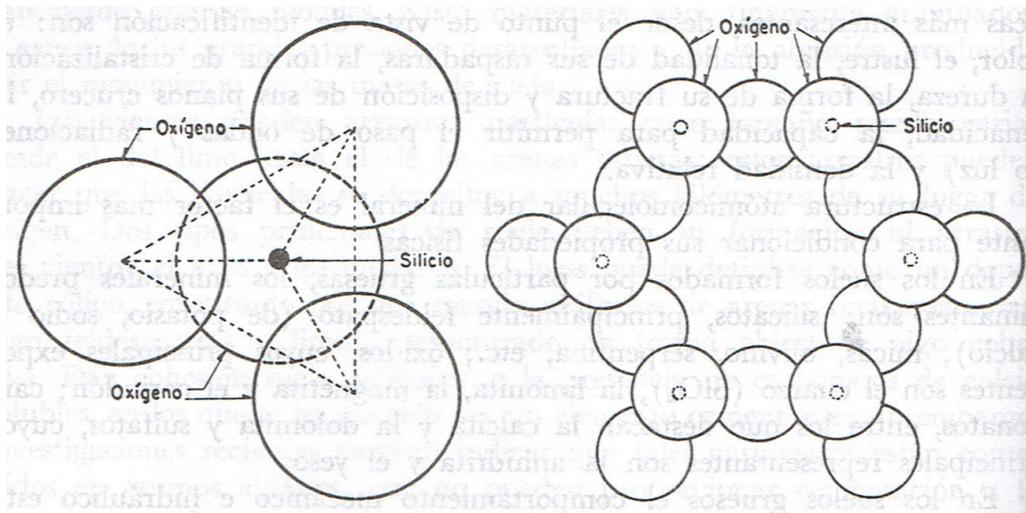
- **Geológico o mineralógico**, las arcillas son minerales naturales que se formaron hace varios millones de años y que reúnen las características peculiares de composición y formación relacionadas con el curso y evolución de la Tierra.
- **Artístico**, constituyen los materiales plásticos o los pigmentos que permiten expresar mediante formas y composiciones de color, un estado de alma y conciencia que puede ser bello.
- **Utilitario y económico**, son un grupo de minerales industriales con diferentes características mineralógicas y genéticas y con distintas propiedades tecnológicas y aplicaciones.

La arcilla es producto de la erosión del feldespato<sup>107</sup> y otros minerales. El feldespato contiene óxido de aluminio, un segundo óxido metálico y bióxido de silicio. Las arcillas son pequeñas laminas muy blandas que se hacen plásticas al contacto con el agua, siendo frágiles en seco y con una gran capacidad de absorción. Químicamente las arcillas están constituidas por silicatos de aluminio hidratados. Estos minerales tienen casi siempre una estructura cristalina definida, cuyos átomos se disponen de láminas: la silícica y la alumínica (Juárez, 2017).

La primera está formada por un átomo de silicio, rodeado de cuatro átomos de oxígeno, disponiéndose el conjunto en forma de tetraedro (Figura 49). Estos tetraedros se agrupan en unidades hexagonales, sirviendo un átomo de oxígeno de vínculo entre cada dos tetraedros. Se forma un esquema de unidad hexagonal (Figura 48). Las unidades hexagonales se repiten indefinidamente formando una red laminar.

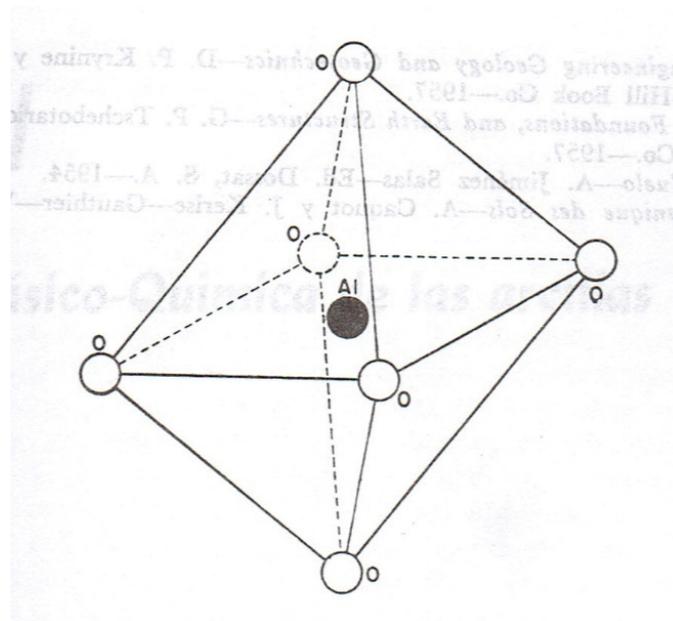
---

<sup>107</sup> Los feldespatos son un grupo de minerales formados por silicatos dobles de aluminio y de calcio, sodio, potasio, algunas veces de bario o mezclas de esas bases. Es de la familia de los tectosilicatos. Recuperado de: <https://www.camimex.org.mx/index.php/secciones1/sala-de-prensa/uso-de-los-metales/feldespato/>. Consultado el 7 de marzo del 2018.



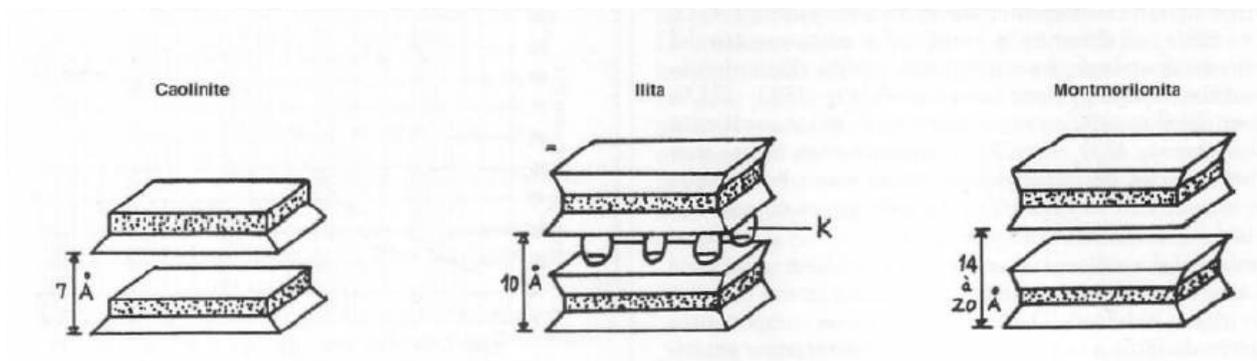
**Figura 48.** Esquema de la estructura de la lámina silícica. Fuente: (Juárez, 2017)

Las láminas aluminicas están formadas por retículas de octaedros, dispuestos con un átomo de aluminio al centro y seis de oxígeno alrededor. Ahora el oxígeno es el vínculo entre cada uno de los dos octaedros vecinos, para construir la retícula. De acuerdo con su estructura reticular, los minerales de arcilla se clasifican en tres grupos.



**Figura 49.** Estructura de la lámina aluminica. Fuente: (Juárez, 2017)

La naturaleza de las arcillas es inmensa, ya que existe una amplia variedad de minerales arcillosos, como la ilita que son arcillas poco comunes. Las arcillas se encuentran también mezcladas con otros componentes químicos, en especial con óxido de hierro, componentes como este les da un color característico que puede ser desde ocre hasta rojo; la presencia de manganeso le dan un color marrón, mientras que la presencia de sustancias orgánicas da un color marrón oscuro o negro. Gracias a esta pigmentación que le dan diferentes componentes químicos a la arcilla hace que aumente su cohesividad interlaminar (Figura 50).



**Figura 50.** Estructura de los tres minerales arcillosos más comunes y su distancia intralaminar. Fuente: (Minke, 2001, pág. 24)

La caolinita está constituida por dos láminas y posee una capacidad aglutinante baja debido a que cada capa de hidróxido de aluminio esta conectada a una capa de óxido de silicio. La mayoría de las arcillas tienen cationes intercambiables. La capacidad aglutinante y la resistencia a la compresión de la tierra dependen del tipo de arcilla y cantidad de cationes (Minke, 2001, pág. 24).

El término arcilla no sólo tiene connotaciones mineralógicas, sino también de tamaño de partícula, en este sentido se consideran arcillas todas las fracciones con un tamaño de grano inferior a 0.002 mm. Según esto todos los filosilicatos pueden considerarse verdaderas arcillas si se encuentran dentro de dicho rango de tamaños, incluso minerales no pertenecientes al grupo de los filosilicatos (cuarzo, feldespatos, etc.) pueden ser considerados partículas arcillosas cuando están incluidos en un sedimento arcilloso y sus tamaños no superan las 0.002 mm (Garcia Romero & Suárez Barrios, 2002).

Para entender mejor las características, naturaleza y clasificación de las arcillas, la siguiente tabla muestra la clasificación de las arcillas, de acuerdo con su estructura laminar.



| <b>CLASIFICACIÓN DE LAS ARCILLAS</b> |   |
|--------------------------------------|---|
| <b>CAOLINITAS</b>                    | Están formadas por una lámina silícica y otra aluminica, que se superponen indefinidamente, la unión entre todas las retículas es lo suficientemente firme para no permitir la penetración de moléculas de agua entre ellas. Las arcillas caolinitas serán relativamente estables en presencia del agua.                                    |
| <b>MONTMORILONITAS</b>               | Están formadas por una lámina alimínica entre dos silícicas, superponiéndose indefinidamente. En este caso la unión entre las retículas del mineral es muy débil, por lo que las moléculas de agua pueden introducirse a la estructura con facilidad. Estas arcillas en presencia del agua presentaran fuerte tendencia a la inestabilidad. |
| <b>BENTONITAS</b>                    | Son arcillas del grupo montmoriloníticas, originadas por la descomposición química de las cenizas volcánicas y presentan una expansividad típica del grupo en forma particularmente aguda, lo que las hace sumamente críticas en su comportamiento mecánico.  |
| <b>ILITAS</b>                        | Estan estructuradas análogamente que las montmorilonitas, pero su constitución interna manifiesta tendencia a formar grumos de materia, que reducen el área expuesta al agua por unidad de volumen; por ello su expansividad es menor que las montmorilonitas.  |

*Tabla 4. Clasificación de las arcillas. Adaptado de (Juárez, 2017)*

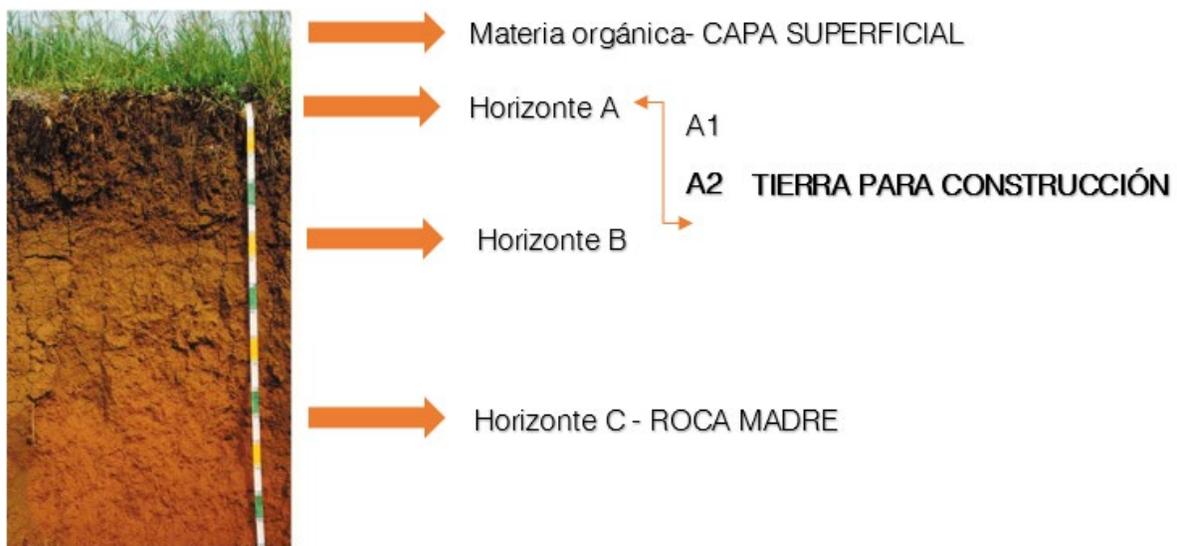
Las arcillas son constituyentes esenciales de gran parte de los suelos y sedimentos debido a que son, en su mayor parte, productos finales de la meteorización de los silicatos que, formados a mayores presiones y temperaturas, en el medio exógeno se hidrolizan.

### 3.2.Composición del suelo y clasificación según el SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos)

Suelo es el término aplicado a todo material de la corteza terrestre proveniente de la descomposición de las rocas, constituido por elementos minerales u orgánicos que dependen de la composición química y mineralógica de la roca de origen, de las características del relieve, de los diferentes climas y de la exposición a las intemperies. La clasificación de los suelos a través de sus propiedades físico, químicas y mineralógicas es tratada de acuerdo con los fundamentos de la ciencia de los materiales, tanto en el campo de la geología, de la mecánica de suelos, de la agronomía, como de las vías terrestres. (Neves, Faria, Rotondaro, Salas, & Hoffmann, 2009)

En el caso de la arquitectura y construcción con tierra<sup>108</sup> el suelo recibe diversas denominaciones tales como, tierra cruda, tierra sin cocer, tierra por construir, pero como se menciona en el capítulo anterior para fines de esta investigación se adoptó el término tierra.

Los suelos apropiados para la construcción están ubicados generalmente en el estrato intermedio del suelo, a una altura de 50 cm a y 2 m de profundidad, este estrato es el más adecuado ya que posee una capacidad granulométrica que permite mantener estables los suelos. Esta capa, de acuerdo con la edafología<sup>109</sup>, corresponde al horizonte A2. (figura 51)



**Figura 51.** Estratos y horizontes del suelo. Fuente: Esmeralda Avila Boyas

Es importante evitar el uso de la capa superficial del suelo, ya que esta capa presenta materia orgánica, y es muy frecuente de que el material vegetal o animal este vivo y se active con los cambios de humedad generados durante el proceso constructivo (Guerrero L. , 2007, pág. 185).

<sup>108</sup> Denominación dada a toda producción arquitectónica que emplea el suelo como la materia prima.

<sup>109</sup> Ciencia que estudia la naturaleza del suelo en tanto que hábitat de las plantas.

### 3.2.1. Composición granulométrica

La tierra se caracteriza por sus componentes: arcilla, limo, arena y grava. Con anterioridad se habló de la naturaleza de las arcillas en donde se explicaron las características y función estos minerales. Para el caso del limo, arena y grava, las propiedades son totalmente distintas a la de la arcilla, pues estos son sólo componentes sin fuerza aglutinante y están formados a partir de rocas erosionadas.

El suelo está constituido básicamente por partículas que pueden ser agrupadas de acuerdo con las dimensiones de su granulometría, cada grupo o franja de dimensiones presenta características propias que indican su comportamiento como material de construcción (Neves, Faria, Rotondaro, Salas, & Hoffmann, 2009).

Los límites de tamaño de las partículas que constituyen un suelo ofrecen un criterio obvio para su clasificación descriptiva del mismo. Estas partículas son clasificadas como grava, arena, limo y arcilla. La composición granulométrica del suelo es representada a través de un diagrama denominado curva de distribución granulométrica, que muestra la relación entre la cantidad y dimensión de las partículas.

Esta curva de distribución granulométrica se determina a través de dos ensayos, para las partículas más grandes se utiliza un ensayo de tamizado, y para las partículas más finas se utiliza un método de análisis por sedimentación.

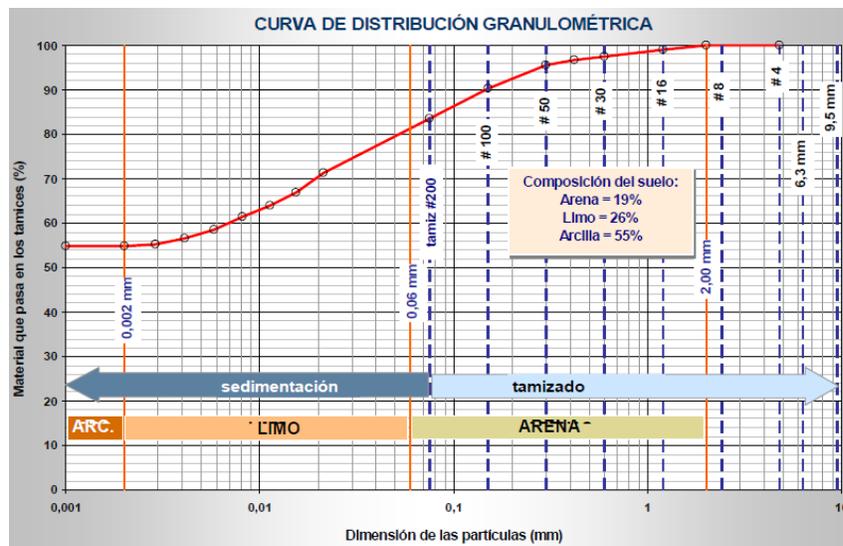


Figura 52. Ejemplo de la curva de distribución granulométrica. Tomado de: (Neves, Faria, Rotondaro, Salas, & Hoffmann, 2009)

El ensayo de tamizado sirve para determinar la cantidad porcentual de las partículas que pasan o son retenidas en los tamices de calibres normalizados. Mientras que, en análisis por sedimentación, se mide la velocidad de decantación de las partículas dispersas en el agua, en función de la variación de la densidad de la solución, calculándose sus proporciones en la muestra.

La siguiente tabla muestra la clasificación granulométrica del suelo, más utilizada a escala internacional.

| CLASIFICACIÓN GRANULOMÉTRICA DE LOS SUELOS |                 |  |
|--|-----------------|--|
| CLASIFICACIÓN DE PARTÍCULAS                | TAMAÑO EN MM    | CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES                      |
| GRAVA                                      | 2 - 20 mm       | Elemento inerte y resistente                     |
| ARENA GRUESA                               | 2.0 – 0.2 mm    | Elemento inerte, sin cohesión                    |
| ARENA FINA                                 | 0.2 – 0.02 mm   | Elemento inerte, sin cohesión                    |
| LIMO                                       | 0.02 – 0.002 mm | Sin cohesión. Resistencia menor a la de la arena |
| ARCILLA                                    | 0.002 – 0.0002  | Fuerte cohesión, expande en presencia de agua.   |
| ULTRA-ARCILLA                              | < 0.0002        | Coloide  |

Tabla 5. clasificación granulométrica de los suelos. Adaptado de (Juárez, 2017)

### 3.2.2. Plasticidad y límites de consistencia (Límites de Atterberg)

Existen suelos que según su grado de humedad adoptan una consistencia característica, que desde épocas antiguas se ha denominado plástica. En el estudio de mecánica los suelos le llaman plasticidad.

“En mecánica de suelos puede definirse la plasticidad como la propiedad de un material por la cual es capaz de soportar deformaciones rápidas, sin rebote elástico, sin variación volumétrica apreciable, y sin desmoronarse ni agrietarse” (Juárez, 2017, pág. 127).

Según el grado de humedad del suelo, este puede ser líquido, plástico o sólido. El aspecto y la consistencia de los suelos y, en particular de las arcillas presentes, varían de manera muy nítida conforme la cantidad de agua que contiene. Atterberg<sup>110</sup> hizo ver, que la plasticidad no era una propiedad permanente en las arcillas sino circunstancial y dependiente de su contenido de agua. Según su contenido de agua con orden decreciente, un suelo susceptible de ser plástico puede estar en cualquiera de los siguientes estados de consistencia, definidos por Atterberg. (Juárez, 2017)

- **Estado líquido**, con las propiedades y apariencia de una suspensión.
- **Estado semilíquido**, el suelo se comporta plásticamente.
- **Estado semisólido**, el suelo tiene la apariencia de un sólido, pero aún disminuye de volumen al estar sujeto a secado.
- **Estado sólido**, el volumen del suelo no varía con el secado.

Estos estados son fases generales por las que pasa el suelo al irse secando. Sin embargo, Atterberg desarrolló unos ensayos en donde estableció bajo el nombre general de límites de consistencia para medir el grado de humedad del suelo.

A partir de eso Atterberg determino, que la frontera entre los estados semilíquido y plástico se encontraba el *limite líquido* (LL), y la frontera entre los estados plástico y semisólido se encontraba el *limite plástico* (LP). La diferencia entre los valores de los límites de plasticidad se llama *índice de plasticidad*. (IP) (Juárez, 2017)

$$IP = LL - LP$$

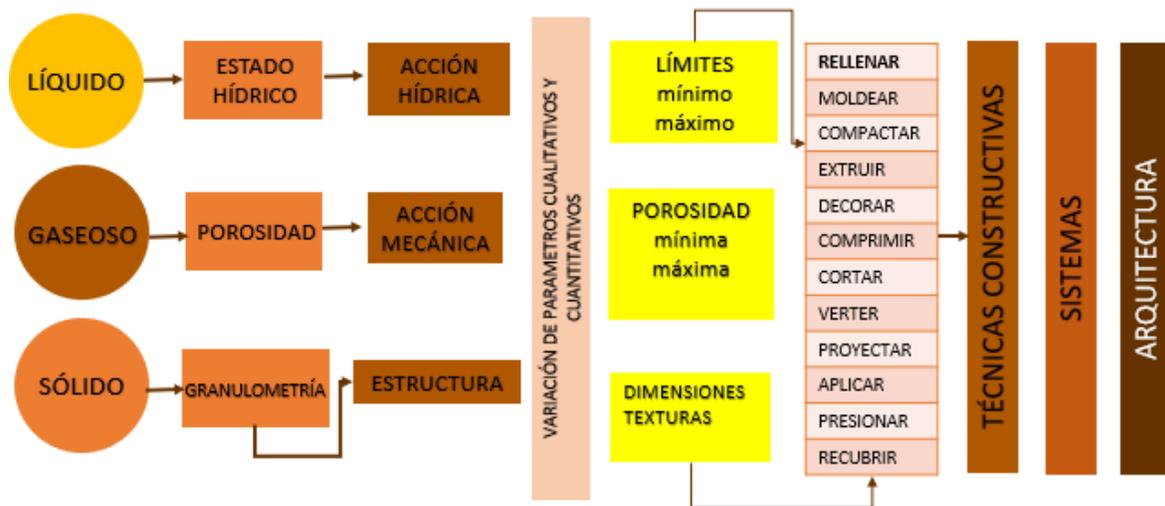
Los límites de consistencia dependen generalmente, de la cantidad y del tipo de arcilla que presente el suelo. El índice de plasticidad es únicamente, dependiente de la cantidad de arcilla. Aplicado estos parámetros en un caso de estudio, se puede caracterizar el suelo por su índice de plasticidad y su límite líquido.

---

<sup>110</sup> Los límites de Atterberg (límites de consistencia de suelos de grano fino) fueron desarrollados a comienzos del siglo XX por el pedólogo sueco Albert Mauritz Atterberg (1846-1916). Recuperado de: [geotecnia-sor.blogspot.com/2010/11/consistencia-del-suelo-limites-de](http://geotecnia-sor.blogspot.com/2010/11/consistencia-del-suelo-limites-de). Consultado el 7 de agosto del 2017.

**Estados Hídricos**

Dentro de los estados de consistencia, existe otra clasificación denominada estados hídricos, la cual permite saber el comportamiento del material en sus tres estados de la materia, dependiendo de la cantidad de agua que se le agregue al material y de la acción mecánica que se genere. Con esta clasificación también se permite tener una primera idea de que técnica constructiva resulta apropiada para el tipo de suelo que se tiene.



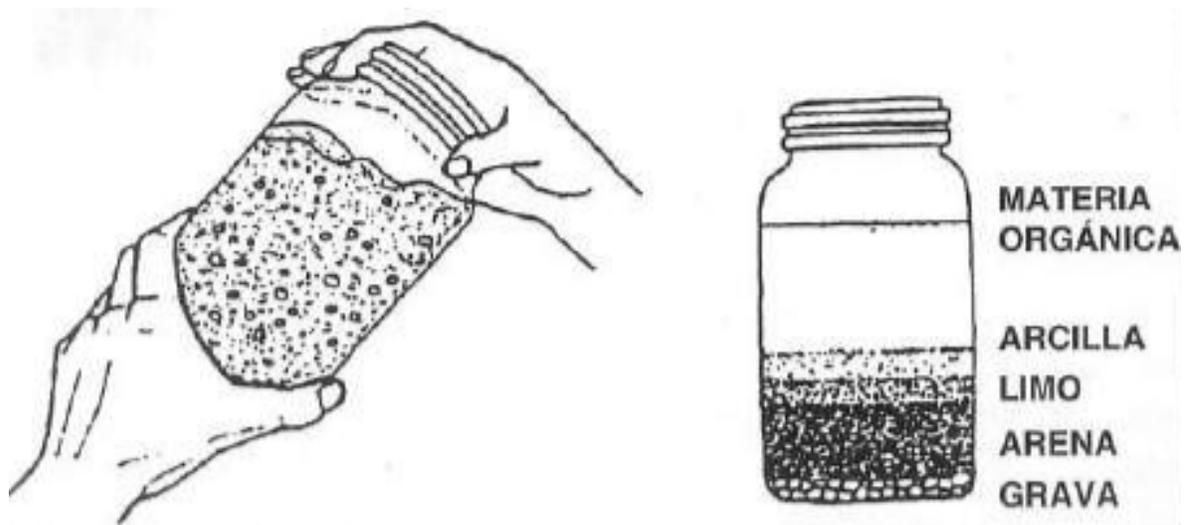
*Figura 53.* Estados Hídricos de la tierra y su comportamiento ante la acción mecánica. Fuente: Esmeralda Avila Boyas

3.2.3. Ensayos previos para determinar la consistencia de la tierra.

Los ensayos que se realizaron no son concluyentes, pues son de carácter cualitativo. Sin embargo, ayudan a tener un primer acercamiento de la consistencia y composición del material, así como, determinar si la mezcla es aceptable para una aplicación específica. Para la fase experimental de este trabajo se inició con una caracterización de la tierra por medio de dos ensayos, conocidos como ensayo de sedimentación y ensayo de cohesividad.

- Ensayo de sedimentación

El ensayo de sedimentación consiste en agregar en un frasco 50% de agua y 50% de tierra, posteriormente este se agita y se deja reposar sobre una superficie plana. Posteriormente después de dejar el frasco reposar por un par de horas las partículas mayores se asientan primero en el fondo y las más finas arriba. A partir de esta estratificación se puede estimar la proporción de los componentes. Con este ensayo únicamente se pueden ver los diferentes estratos con ligeros cambios en la distribución granulométrica, sin embargo, estos datos no determinan la proporción de arcilla, limo, arena y grava. Para tener un detalle más exacto y cuantitativo es necesario realizar pruebas en laboratorios especializados en geotecnia, mecánica de suelos, y dinámica de partículas.



**Figura 54.** Esquema del ensayo de sedimentación. Fuente: (Minke, *Manual de construcción con tierra. La tierra como material de construcción y sus aplicaciones en la arquitectura actual.*, 2001)

La prueba de sedimentación que se realizó en la muestra de tierra a utilizar se observó que la tierra tenía un alto contenido de arcilla sobre el resto de los materiales, este dato ayudo a tener una primera idea de las características del material.



**Figura 55.** Resultado del ensayo de sedimentación. Se pudo notar a primera instancia el alto contenido de arcilla del material. Fuente: Archivo propio de la autora, 2017.

- Ensayo de cohesividad

El ensayo de cohesividad sirve para determinar la consistencia de una mezcla y a su vez para comparar la cantidad de agua que esta consume. Esta prueba únicamente funciona cuando la tierra no contiene componentes de más de 2 mm de grosor.

El ensayo consiste en conformar con la mano una barra con un espesor aproximado de 1.5cm y una longitud de 20cm, posteriormente se coloca la barra sobre una hoja de papel y se va empujando a modo de que la barra cuelgue y comience a tener puntos de rotura. Cada punto de rotura se mide con una regla graduada y se compara cada fracción.

Las fracciones de la barra indican una posible consistencia de la mezcla, de acuerdo con (Minke, 2013, pág. 11). “Para revoques resultan sólo apropiadas longitudes de rotura de 5 a 8 cm”, es decir el ensayo de cohesión sirve para tener una ligera idea de qué sistema constructivo se puede adecuar de a acuerdo con la consistencia y la longitud de los fragmentos de la barra.

El ensayo de cohesividad se repitió varias veces para evitar posibles fallas derivadas del amasado o ejecución de las barras. Cada fragmento tuvo un punto de rotura de 12cm lo que indicó una vez más que el material utilizado tenía un elevado contenido de arcilla, por ello no resultaba muy adecuado para revoques debido a que una mezcla con un alto contenido de arcilla puede

presentar problemas de retracción, fisuras o agrietamientos. Así que, la tierra a utilizar tenía que compensarse con agregados de arena para equilibrar la mezcla y poder tener una consistencia más adecuada para su aplicación en revoques.<sup>111</sup>



Figura 56. Ensayo de cohesión de la muestra de tierra utilizada para la fase experimental. Fuente: Luis Guerrero, 2017.

### 3.2.4. Selección y determinación del tipo de suelo, para la fase experimental

Hoy en día existen organismos especializados que se encargan de interpretar la morfología de las partículas que conforman los suelos, estos organismos se denominan como, clasificaciones de suelos. Entre las más aceptadas, se encuentran, la taxonomía de los suelos de USDA<sup>112</sup>, FAO UNESCO<sup>113</sup> y SUCS<sup>114</sup>, siendo esta última clasificación la utilizada durante la investigación para conocer las características y composición del suelo para posteriormente ser utilizado como material de construcción, en este caso destinado a recubrimientos arquitectónicos.

Cualquier tipo de suelo, con excepción de los altamente orgánicos o con presencia predominante de arcillas expansivas, como es el caso de la montmorilonita, puede ser utilizado como material de construcción. El reconocimiento preciso de suelos adecuados a la construcción se hace a través de diversos ensayos de laboratorio.

<sup>111</sup> La compensación de mezclas de tierra se ve en este capítulo en el apartado 3.3

<sup>112</sup> Soil Taxonomy. United States Department of Agriculture. [www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/main/soils/survey/class/taxonomy](http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/main/soils/survey/class/taxonomy)

<sup>113</sup> Food and Agriculture Organization (FAO) and United Nations Educational, scientific and cultural Organization. (UNESCO).

<sup>114</sup> Sistema Unificado de Clasificación de suelos

La ciencia de mecánica de suelos se encarga de realizar ensayos de caracterización del suelo, con estos ensayos se obtienen resultados cuantitativos de las características del suelo y facilitan la identificación de la tierra ideal para ser utilizada como material de construcción (Neves, Faria, Rotondaro, Salas, & Hoffmann, 2009).

La tierra utilizada para realizar los ensayos, análisis y caracterización de materiales en esta investigación fue tomada de la zona de Tepecoacuilco, Guerrero, al sur de la República Mexicana. Gracias al estudio de mecánica de suelos realizado por la Universidad Nacional Autónoma de México, se obtuvieron resultados medibles para conocer al tipo de suelo y a que clasificación correspondía, de acuerdo con el sistema unificado de suelos (SUCS).

Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

| Obra: Guerrero, Tepecoacuilco. Muestra 1          |                   |       |       |                    |                     |                     |   |                                    |
|---|-------------------|-------|-------|--------------------|---------------------|---------------------|---|------------------------------------|
| Muestra   | Granulometría (%) |       |       | Límite líquido (%) | Límite plástico (%) | Índice plástico (%) | SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de suelos) | Descripción                        |
| Muestra de Tepecoacuilco Guerrero, suelo natural. | Grava             | Arena | Finos | 63.3               | 26.3                | 38                  | CH  | Arcilla, limo arenoso, café claro. |

Tabla 6. Resultado de la muestra 1. Y clasificación del suelo de acuerdo con el SUCS. Fuente: archivo de la autora, 2018.

De acuerdo con los resultados, se trata de una Arcilla, limo arenoso, café claro, correspondiente al tipo “CH” del sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS). Con relación a la gráfica abajo mostrada, el grupo CH corresponde a la zona arriba de la línea A, definida por un Límite líquido mayor al 50%. (Juárez, 2017, pág. 156)

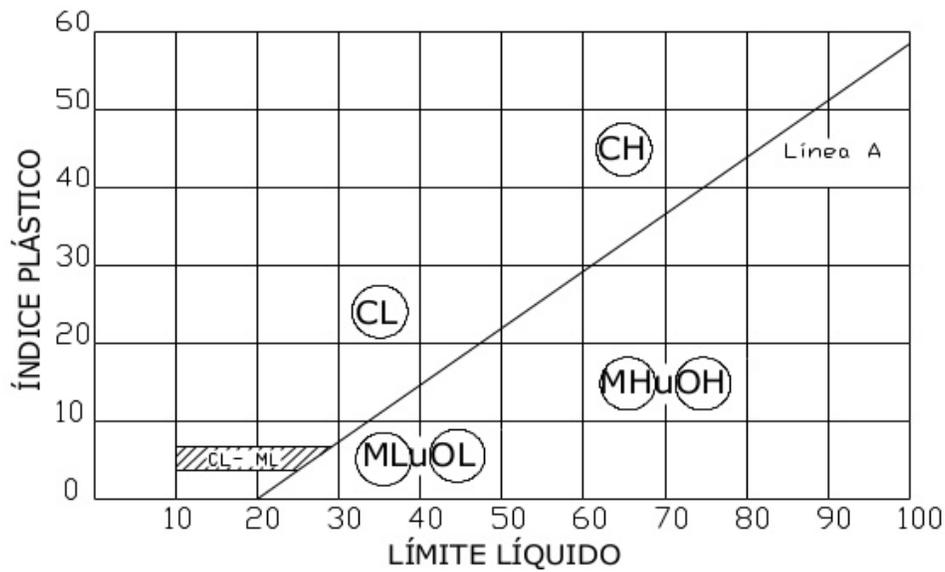


Figura 57. Carta de plasticidad para determinar a qué clasificación de suelos pertenece la muestra. Fuente: (Juárez, 2017)

### 3.3. Procesos de compensación y estabilización

Para abordar el tema de la compensación es importante explicar uno de los fenómenos que ocurren en materiales porosos como la tierra al entrar en contacto con el agua, es decir, siempre hay que tener en consideración los efectos que provoca el agua en una mezcla de tierra, pues esta hace pasar a la tierra de un estado sólido a un estado plástico<sup>115</sup>.

Dos fenómenos que ocurren en una mezcla de tierra es la expansión y la retracción, el primero ocurre cuando la tierra entra en contacto directo con el agua perdiendo así su estado sólido; mientras que el segundo, tiene que ver con los agrietamientos y fisuras que puede presentar el material durante su secado después de tener contacto con el agua. Ambos fenómenos son desventajosos para las mezclas de tierra. “La magnitud de la expansión y la retracción dependen del tipo y cantidad de arcilla del material, así como también de su distribución granulométrica de limo y arena” (Minke, 2001, pág. 29).

<sup>115</sup> Ver apartado 3.2.2 de este capítulo en donde se habla de los límites de consistencia del suelo.



**Figura 58.** Ensayo de retracción y expansión para observar el patrón de agrietamiento de las mezclas de tierra con diferentes proporciones de arena. Fuente: Esmeralda Avila Boyas

Para verificar la retracción y expansión del material y poder tener un acercamiento de que proporción de arena agregar para el proceso de compensación, se realizaron una serie de muestras (Figura 57) las cuales fueron aplicadas sobre una baldosa de barro lisa y se dejaron secar a la intemperie. Una vez que endurecieron se verificó cuál fue la mezcla que presentaba un patrón de agrietamiento menor o nulo, pero conservando su integridad a la abrasión manual. Se determinó que la proporción 1:1,5 (tierra-arena) era la ideal para ser empleada en el resto de los experimentos.

### 3.3.1 Compensación

Es habitual que sean priorizados el empleo de la tierra del propio local donde se hará la construcción y la utilización de un solo tipo de tierra. Sin embargo, algunas veces, la tierra resultante de una mezcla de dos o más tipos de suelo produce mejores resultados. En general, la mezcla de diferentes tipos de suelo ocurre cuando la tierra del local es muy arcillosa, o muy

arenosa, y cuando la incorporación de menor cantidad de otro suelo mejora las propiedades que le hacen falta.

Este proceso de mejoramiento de la tierra propia del lugar se hace con el fin de compensar, algún componente del cual dicha tierra carezca o lo contenga en menor cantidad; a este proceso de mejoramiento de suelo se le llama, método de compensación. Para determinar si la tierra a utilizar necesita compensarse es importante conocer a que clasificación de suelo pertenece la muestra ya sea por un estudio de mecánica de suelos o por métodos de campo como el método de la determinación al tacto.

El método de la determinación al tacto es un método de campo muy común y que ayuda a conocer la textura del suelo al tacto, este sistema de clasificación al tacto se basa en manipular con los dedos una porción de la muestra en estado seco y/o húmedo, para experimentar la rugosidad, la plasticidad, identificar el tamaño de las partículas visibles, entre otras características. A partir de estas observaciones se presenta un sistema de claves de clasificación que permiten identificar los aspectos táctiles y visuales de la muestra (Neves, Faria, Rotondaro, Salas, & Hoffmann, 2009).

Para el caso particular, se hizo una prueba en un laboratorio de mecánica de suelos, lo que ayudo a identificar y saber a qué clasificación de suelo pertenece la muestra de tierra. Como ya se mencionó la tierra utilizada resulto ser una tierra muy arcillosa con un alto grado de plasticidad; cabe mencionar que este tipo de tierras arcillosas, son responsables de los movimientos de retracción y expansión, que se observan cuando hay variaciones de humedad. Estos movimientos de las arcillas provocan fisuras que pueden generar lesiones internas y/o superficiales, permitiendo la penetración de agua y la ocurrencia de manifestaciones patológicas que, en consecuencia, contribuyen para la pérdida de resistencia del material y la degradación del muro.

Un mejoramiento de las características de la tierra, para el caso de los recubrimientos se realiza para evitar o reducir las fisuras provocadas por la retracción, como ya se mencionó en los párrafos anteriores, las fisuras de retracción en superficies de barro expuestas a la intemperie y en contacto directo con la lluvia deben evitarse debido a la creciente erosión. La retracción durante el secado depende del contenido de agua, del tipo y la cantidad de minerales arcillosos y de la distribución granulométrica de los agregados (Minke, 2001).

Tener un material con alta o media plasticidad, provoca agrietamientos y desprendimientos, por su retracción al secado. En lo que respecta a los recubrimientos no es conveniente utilizar este tipo de tierra en su estado natural, por lo que fue necesario compensarla, agregando volúmenes de arena con granulometría de 2 mm. Añadiendo proporciones de arena a la tierra, se reduce el contenido relativo de arcilla y por lo tanto se reduce el promedio de retracción al secar.

Gracias a esta compensación, lograda a partir de una serie de ensayos, se determinó la proporción adecuada de 1:1,5 tierra: arena, la cual tuvo un mejor comportamiento ante la retracción; pues de una clasificación CH se logró compensar la materia prima hasta transformarla en clasificación SC. De acuerdo con el estudio de mecánica de suelos, los resultados de la muestra después de agregar volúmenes de arena fue el siguiente:

| Obra: Guerrero, Tepecoacuilco. Muestra 2                                      |                   |       |       |                    |                     |                     |   |   |
|---|-------------------|-------|-------|--------------------|---------------------|---------------------|---|---|
| Muestra   | Granulometría (%) |       |       | Límite líquido (%) | Límite plástico (%) | Índice plástico (%) | SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de suelos) | Descripción                               |
|   | Grava             | Arena | Finos |                    |                     |                     |   |   |
| Tepecoacuilco Guerrero, suelo compensado<br>Proporción 1: 1.5 (tierra: arena) |                   | 81    | 19    | 23.4               | 15.0                | 8.4                 | SC  | Arena, arcillo limosa, café y gris claro. |

Tabla 7. Resultado de la muestra 2. Y clasificación del suelo de acuerdo con el SUCS. Fuente: Archivo de la autora, 2018.

La clasificación SC, corresponde a un tipo de suelo con un porcentaje de arena mayor en comparación con el porcentaje de arcilla. Esta compensación realizada se consideró como definitiva para la realización de las probetas. La compensación con arena de una tierra arcillosa ayuda a hacerla más permeable y a minimizar la fisuración producida por la retracción volumétrica durante el secado.

### 3.3.2 Estabilización

Existen métodos para mejorar las propiedades de la tierra y poder así conseguir una protección adicional, mayor endurecimiento o resistencia. A lo largo de la historia se ha buscado dar mayor estabilidad, dureza y resistencia a los componentes de tierra, por lo que se han utilizado diferentes tipos de aglutinantes que no sólo favorecen la adhesividad de los revoques, sino también ayudan a que tengan la consistencia necesaria para resistir la erosión y el contacto con el agua.

Se trata de métodos que a través de siglos de experiencia han permitido la alteración de la respuesta constructiva de la tierra mediante el agregado de componentes adicionales que subsanan su posible vulnerabilidad. Además, estas técnicas pueden dar un beneficio adicional al incrementar las capacidades de suelos cuyas relaciones granulométricas sean de por sí adecuadas (Guerrero L. , 2007, pág. 188).

Estos métodos de mejoramiento de las propiedades de la tierra se llaman, métodos de estabilización. La expresión estabilización de suelo se refiere, a todo proceso a través del cual el suelo mejora sus características, adquiriendo así propiedades necesarias a la finalidad que se destina. Se vuelve necesario, para recubrimientos o muros de tierra expuestos a la intemperie y a la lluvia sin ninguna protección el uso de estabilizantes se vuelve necesario.

Entre las funciones más comunes de los aditivos utilizados como estabilizantes están: facilitar el fraguado del aglomerante por absorción de agua, retardar el fraguado del aglomerante al reducir el agua, permitir el fraguado en ambientes muy húmedos, Mantener la humedad durante más tiempo para facilitar la carbonatación de la cal, reforzar el mortero y ejercer una acción consolidante.

Estos procesos de estabilización se clasifican en cuatro categorías, con las siguientes denominaciones y características:

- **Estabilización por consolidación** consiste en adicionar al suelo una sustancia capaz de solidificar los granos de arena y las partículas arcillosas a forma de obtener un esqueleto interno que haga oposición a la capacidad de absorción de agua por una arcilla. Los estabilizadores más conocidos para esta clasificación son: el

cemento portland; la cal, virgen o hidratada; la mezcla de cal y cemento; o también una mezcla de cal con cenizas.

- **Estabilización por armazón.** Consiste en agregar al suelo un material de cohesión (granos o fibras), que permita asegurar, por fricción con las partículas de arcilla, una mayor firmeza al material. La resistencia mecánica final del material es reducida, pero se gana una estabilidad y durabilidad. No hay determinación específica para los materiales a ser empleados, pues depende de la disponibilidad y de las adaptaciones locales. Pueden ser citadas principalmente las fibras vegetales.

- **Estabilización por impermeabilización.** Consiste en envolver las partículas de arcilla por una capa impermeable, volviéndose estables y más resistentes a la acción del agua. El material más conocido desde tiempos ancestrales es el bitumen, utilizado en emulsión, que a pesar de la gran superficie específica de la arcilla, requiere una cantidad muy pequeña para obtener buenos resultados. Uno de los inconvenientes del uso de este material es la pérdida de plasticidad, a pesar de ganar en cohesión, lo que requiere mayor cantidad de agua para amasar y limita las técnicas constructivas a ser utilizadas. Pueden ser utilizadas otras sustancias como, aceite de coco, savias de algunas plantas, el látex y los residuos del prensado del aceite de oliva.

- **Estabilización por tratamiento químico.** Consiste en agregar al suelo diversas sustancias capaces de formar compuestos estables con los elementos de la arcilla. Los productos químicos varían de acuerdo con la composición química de la propia arcilla. Por lo tanto, en ese caso, es necesario un análisis químico de la misma. La cal además de agente cementante, funciona como estabilizador químico, actuando con los minerales amorfos o arcillosos del suelo, formando compuestos puzolánicos (Neves, Faria, Rotondaro, Salas, & Hoffmann, 2009).

De acuerdo con los procesos descritos anteriormente, para esta investigación se decide utilizar, la estabilización por consolidación. Se utilizan dos agentes estabilizantes, el mucílago de *Opuntia ficus* y el hidróxido de calcio, los cuales se describen en el siguiente apartado.

### 3.4. El mucílago de *Opuntia Ficus* como estabilizante en recubrimientos de tierra

Es importante conocer las características de los materiales a utilizar, sus limitaciones, ventajas, así como, sus propiedades mecánicas. En apartados anteriores ya se describió el tipo de tierra a utilizar, el lugar de su extracción y a que clasificación pertenece, también se hizo la descripción del proceso de compensación realizado para mejorar las propiedades de la tierra y reducir la retracción, para evitar fisuras y garantizar una buena adherencia. Seguidamente, se describen los materiales utilizados como estabilizantes, para mejorar la estabilidad, adherencia y durabilidad de los recubrimientos propuestos.

Para hablar del mucílago de *Opuntia*, es importante conocer las partes y características de esta planta, pues el mucílago no se da en todas las partes de la penca, ni en el fruto ni en la flor, por eso es necesario saber cómo es la composición fisiológica de la planta popularmente conocida como nopal.

El género *Opuntia* es el más extenso y de más amplia distribución en América de la familia de cactáceas. Se han registrado entre 191 y 215 especies de *Opuntia* silvestres, de los que 62 son endémicos, una cantidad que hace suponer que el territorio mexicano es el centro de origen de la especie (Noriega, 2015).

La reproducción de esta especie, a diferencia de la mayoría de las plantas, es que absorben el dióxido de carbono necesario para su metabolismo por la noche. Así evitan la pérdida de agua, lo que les ha permitido colonizar ambientes áridos. Su amplia distribución se debe sobre todo a la facilidad con la que se propagan, que debe ser por fragmentación (al caer una penca al suelo, sus areolas producen raíces y originan una nueva planta) o bien por semilla (menos frecuente, pero da lugar a plantas más vigorosas y genéticamente distintas). Los nopales pueden crecer postrados en el suelo, o erguidos y ramificados generando una corteza con aspecto de árbol.

|            |                |
|------------|----------------|
| Reino      | Plantae        |
| División   | Angiospermae   |
| Clase      | Dicotyledonae  |
| Orden      | Opuntiales     |
| Familia    | Cactaceae      |
| Subfamilia | Opuntioideae   |
| Tribu      | Opuntiae       |
| Género     | <i>Opuntia</i> |
| Subgénero  | Platyopuntia   |
| Especie    | Ficus Indica   |

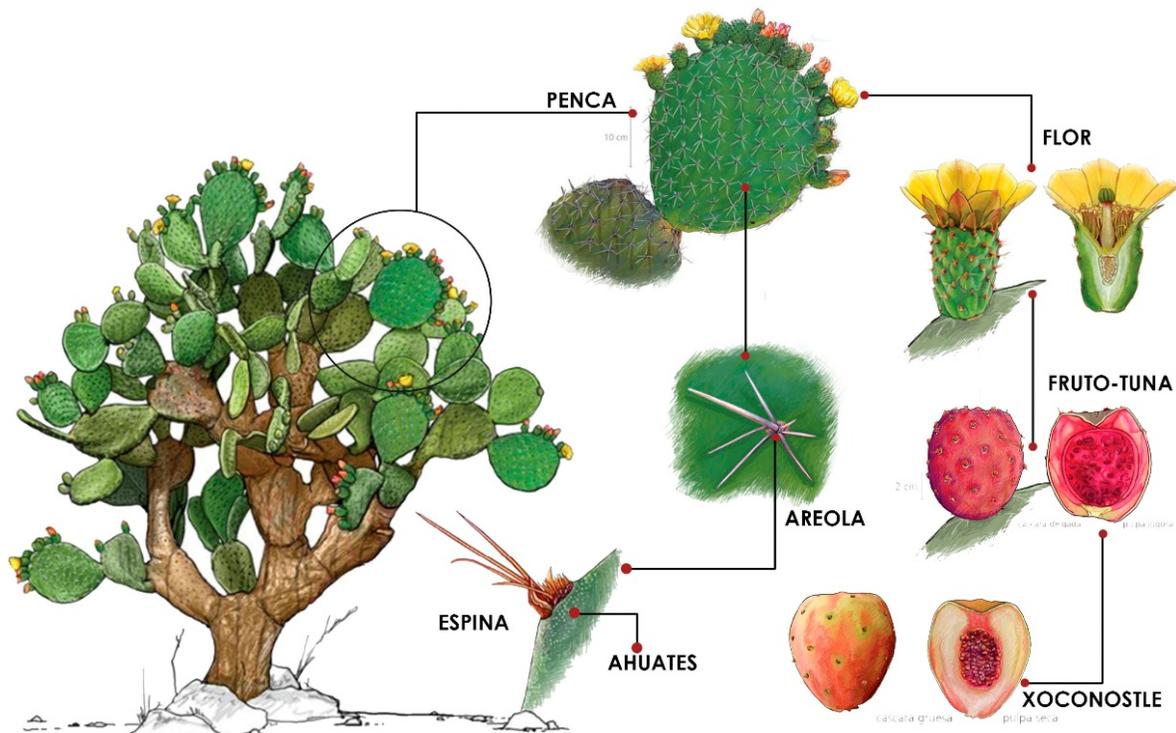
Tabla 8. Taxonomía de la planta opuntia ficus. Adaptado de: (Noriega, 2015)

- Estructura de la *Opuntia Ficus*

La estructura del Nopal se compone a partir de los siguientes elementos:

- Penca. También conocidos como *cladodios*, las pencas son tallos fotosintéticos de cutícula gruesa y cerosa que evita la evapotranspiración.
- Flor. Las flores del nopal tienen estambres que se mueven al contacto con un polinizador. Esto provoca que el polen llegue a otras plantas o que la flor se auto polinice.
- Fruto. Llamada *nochtli* en Nahuatl, la tuna cuando madura es un fruto turgente y dulce. En su cavidad tiene centenares de semillas y su desarrollo lleva de tres a seis semanas. Al madurar por más tiempo la tuna pasa a convertirse en xoconostle.
- Areola. Estructura propia de las cactáceas en la que nacen las espinas y que puede dar lugar a otra penca, a una flor o a raíces.
- Espina. Crecen en las areolas junto con minúsculas hojas que desaparecen conforme las espinas aumentan de tamaño y se endurecen.
- Ahuates. También llamados gloquidias, estas diminutas espinas se desprenden fácilmente y son características de la especie de las *opuntias* (Noriega, 2015).

En la figura 58 se muestra esquemáticamente la estructura de un nopal con todos sus elementos.



**Figura 59.** Representación esquemática de los elementos que componen la planta *Opuntia Ficus* (adaptado de. Consejo Mexicano de nopal y tuna/ red nopal/conabio, México, 2009)

Posteriormente a la revisión de la estructura y composición de la planta, se puede describir de manera más detallada lo que es el mucílago de opuntia y que función cumple dentro del campo de la construcción y en especial en la construcción tradicional.

- Función, composición y estructura del mucílago de nopal

La función que desempeña el mucílago en el campo de la construcción es de aglutinante o cementante y ayuda a mantener unidas las partículas dentro de una mezcla. Esta sustancia ha sido utilizada desde la época prehispánica en regiones como Teotihuacan y Cacaxtla<sup>116</sup>. Hoy en día algunas investigaciones en materiales como morteros de cemento y concretos han utilizado el

<sup>116</sup> Ver capítulo 2. Para referencia de Teotihuacan y Cacaxtla

mucílago de *Opuntia Ficus* buscando incrementar la resistencia a la compresión, disminuir la absorción de agua e incrementar los tiempos de fraguado del material (Aranda, 2013).

El mucílago está conformado por polisacáridos producidos por el metabolismo normal de las cactáceas y otras plantas en forma de reservas nutritivas localizadas en las raíces y hojas, siendo estas últimas utilizadas como agentes de retención de agua. El extracto viscoso del mucílago de opuntia se ha caracterizado como un polisacárido compuesto de proporciones variables de D-galactosa, L-arabinosa, D-xilosa y L-ramnosa, siendo estos los principales monosacáridos neutros. Por otro lado, los azúcares y ácidos urónicos que son parte de los mucilagos contienen grupos de hidroxilos en gran cantidad, por lo que son parcialmente solubles al agua.<sup>117</sup>

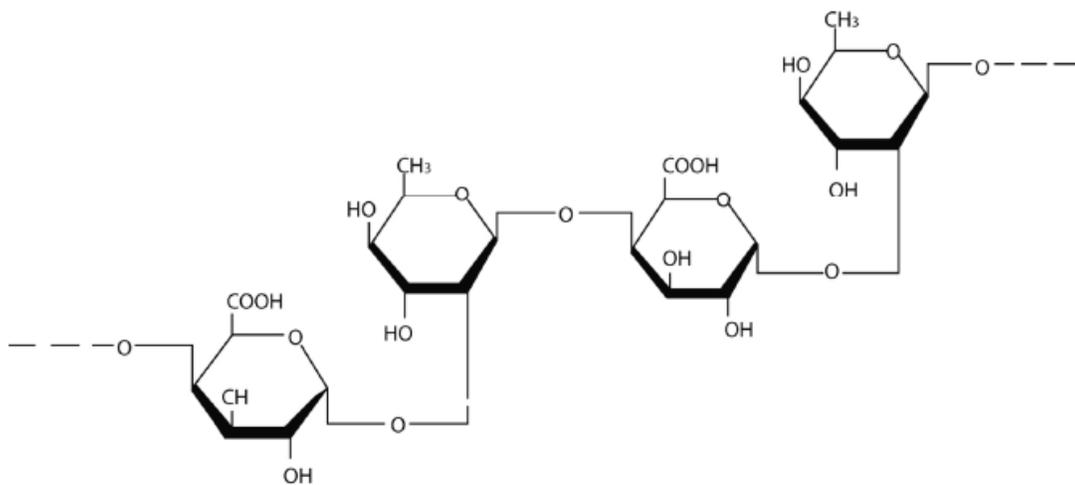


Figura 60. Núcleo de la molécula del mucílago de opuntia ficus. Fuente: (Cruz, 2013)

El mucílago de nopal ha sido utilizado como aditivo en morteros de cal debido a que previene el rápido secado del mortero<sup>118</sup> ayudando a la retención necesaria de la humedad que este requiere para fraguar adecuadamente sin fisurarse (Pérez, 2009).

<sup>117</sup> Información tomada de la investigación, “Formulación de un mortero de inyección con mucílago de nopal para la restauración de pintura mural”: (Pérez, 2009, pág. 10)

<sup>118</sup> En la pintura mural mesoamericana el uso del mucílago como aglutinante fue muy popular debido a que reaccionaba como un retardante al fraguado, lo que permitía a los pintores mesoamericanos detallar sus murales sin la premura del tiempo. Ver Pintura mural mesoamericana en el capítulo 2 de este trabajo.

Entre las características del mucílago destaca su potencial de actuar como un retardante al fraguado, disminuye el porcentaje de retracción en las mezclas y aumenta la fluidez de un mortero. Las mezclas con mucílago resultan con un mejoramiento en su adherencia con respecto a otros morteros de agua. en general el uso de mucílago de *opuntia* como estabilizante mejora las propiedades físicas de las mezclas.

- Extracción del mucílago de *Opuntia Ficus*

En México se han empleado diferentes ingredientes orgánicos, siendo el mucílago de opuntia uno de los más comunes, especialmente en el altiplano central. Cada lugar extrae, añade o usa de manera distinta la penca de nopal y la cantidad de agua para formar la solución. El mucílago de nopal ha sido utilizado en México, ya que previene el rápido secado de los morteros permitiendo que se retenga la humedad necesaria para evitar el agrietamiento durante el proceso de fraguado.

Tradicionalmente se acostumbra a extraer el mucílago del *Opuntia Ficus*, que en México se conoce genéricamente como “nopal” (Hollis, 2002) colocando sus pencas troceadas dentro de un recipiente con agua. De este modo en cuestión de minutos el agua se va tornando espesa y pegajosa a medida que el mucílago se desprende de la pulpa.

Sin embargo, esta técnica tradicional presenta al menos tres inconvenientes. El primero es que al entrar en contacto el mucílago<sup>119</sup> con el agua, inicia su proceso de fermentación por lo que su duración es limitada. El segundo problema es que una vez mezclado con agua es imposible determinar la cantidad de mucílago presente. Finalmente, se trata de un procedimiento altamente impactante en el medio ambiente porque gran parte de la penca del nopal que no está en contacto con el agua se pudre y se desperdician grandes volúmenes de producto y de agua. Por ello, la forma experimental en la que se realizó la extracción del mucílago fue en “seco”, es decir, a partir de prensado manual directo del material vegetal.

El mucílago de nopal se obtuvo a partir de pencas de nopal maduras cosechadas de un antiguo asentamiento de Hueyotlipan, Tlaxcala, México. Se seleccionó esta especie ya que es una de las más abundantes en la zona central del país además de tener un alto contenido de mucílago (Barrios,

---

<sup>119</sup> El mucilago de *opuntia ficus*, es un polisacárido altamente ramificado.

1997). La extracción consistió en el raspado cuidadoso de las paredes de pencas que fueron previamente partidas a lo largo en dos caras. De este modo, de un nopal de 1,8 kg de masa, se consiguió extraer 800 ml de mucílago concentrado. La consistencia del mucílago fue de muy alta viscosidad y el color de la solución era verde intenso.



*Figura 61.* Opuntia Ficus después de su extracción. Fuente: Esmeralda Avila Boyas (2017)

Para formar la solución mucílago-agua se realizó una prueba de campo de viscosidad a partir de agregar 50 ml del concentrado en 5 litros de agua, dejando reposar la solución por un periodo de 48 horas. Una vez reposada, se toma un pequeño volumen con el puño y se eleva a fin de medir la longitud del hilo del material viscoso que cuelga desde la mano. Si el hilo se interrumpe antes de llegar a un metro de longitud significa que la solución requiere mayor cantidad de mucílago. La solución estará lista en el punto en el que la longitud del hilo no se interrumpa hasta una altura de un metro.



**Figura 62.** Izquierda, prueba del hilo para determinar la viscosidad del mucílago. **Figura 63.** Derecha, elevación del hilo para medir viscosidad. Fuente: Esmeralda Avila 2017.

Como resultado de esta prueba se obtuvo la viscosidad deseada y se utilizó esta relación para la realización de todas las muestras que se habrían de comparar con los testigos que fueron mezclados solamente con agua.

### 3.5. El Hidróxido de calcio como estabilizante en recubrimientos de tierra

El uso de la cal como estabilizante en la arquitectura de tierra tiene origen desde la construcción de aquellas estructuras milenarias como los zigurats de la antigua ciudad de UR. La cal era empleada para dar mayor durabilidad a los edificios de tierra; siendo utilizada como mortero para unir mamposterías, así como también, como revoque para protección de pisos, muros, cubiertas de viviendas y templos.

Una de las ventajas de la cal es que incrementa la resistencia mecánica a compresión y la absorción hídrica reduce la retracción volumétrica. El uso de la cal también tiene como ventaja proteger a las superficies terreas de los agentes climatológicos al tiempo que permite el intercambio natural de aire y vapor de agua en el entorno, gracias al cual se conserva el equilibrio higrotérmico de los espacios (Guerrero , Roux, & Soria, 2010, pág. 46).

La cal presenta la cualidad adicional de no modificar la porosidad de la tierra, con lo que se mantiene tanto su capacidad de adherirse a otros materiales constructivos. Es importante hacer notar que se requiere muy poca cantidad de cal para estos procesos. Se ha comprobado que agregar volúmenes excesivos no incrementa la resistencia del material resultante e incluso puede generar efectos imprevistos al inhibirse la forma natural de trabajo de las arcillas.

La cal es un material que posee ventajas de tipo ecológico sobre el cemento por requerir menor tiempo y temperatura de calcinación para su fabricación, por presentar cualidades higiénicas y por no interferir en el flujo natural de aire y vapor de agua que requieren las estructuras de tierra. Es obvio que la cal es un material que tiene un impacto sobre el medio

ambiente, pero este es mucho menor que el de otros productos industriales utilizados en la construcción, además de que la bajísima proporción que necesita para estabiliza la tierra minimiza radicalmente este impacto (Guerrero , Roux, & Soria, 2010, pág. 49).

Aunque existen investigaciones del uso del cemento para estabilizar<sup>120</sup> algunos sistemas constructivos de tierra, el comportamiento químico del cemento junto con la tierra es desfavorable. Debido a que, los sulfatos presentes en el cemento como aquellos que actúan como consecuencia de infiltraciones poseen el grave inconveniente de que con el tiempo forman sales que, al entrar en contacto en estado húmedo con la fase de aluminato-tricálcico presente en este material, lo degradan paulatinamente y las consecuencias no son muy recomendables.<sup>121</sup>

Es importante conocer cuáles son los procesos de interacción entre la cal y la tierra, para poder tener una idea de la cantidad y proporción de cal a utilizar para un proceso de estabilización. Seguidamente, se hace una descripción de los cuatro procesos de interacción y la reacción química entre la cal y la tierra.

- Intercambio iónico

Las arcillas suelen tener cationes de sodio, potasio y magnesio que atraen con fuerza el agua como resultado de un desequilibrio en sus cargas superficiales. Si se le incorpora cal a la tierra, se integran iones de calcio que remueven a los de sodio, potasio y magnesio, con lo que compensan las cargas superficiales y se controla la atracción del agua. Cuando se agrega óxido de calcio a un suelo arcilloso, el calcio reemplaza al sodio y las partículas de arcilla se transforman en hidratos cálcicos de sílice y alúmina.

---

<sup>120</sup> Gernot Minke en su Manual de construcción en tierra, menciona el uso del cemento como estabilizante para sistemas constructivos de tierra, sin embargo, toma en cuenta algunas consideraciones para el uso de este material. (Minke, Manual de construcción con tierra. La tierra como material de construcción y sus aplicaciones en la arquitectura actual., 2001)

<sup>121</sup> Información adaptada de: (Guerrero , Roux, & Soria, Ventajas constructivas del uso de la tierra comprimida y estabilizada con cal en México, 2010, pág. 49)

- Floculación

Después de algunas horas de haber agregado cal al suelo, las partículas de arcilla pierden agua, se agrupan y se comportan como componentes de mayor tamaño con lo que se desplaza la curva granulométrica hacia la “zona gruesa” y se consigue un comportamiento más estable del conjunto.

- Acción puzolánica

Proceso lento en el que reacciona la cal con los óxidos presentes en las arcillas generando silicatos y aluminatos de calcio que tienen un alto poder cementante.

- Carbonatación

Es la reacción más lenta en la que el hidróxido de calcio se combina con el dióxido de carbono  $\text{CO}_2$  del aire y forma cristales que atrapan a los minerales a su alrededor aumentando la cohesión del conjunto. Esta reacción solo se presenta en las zonas superficiales del material que son las que están en contacto con la atmosfera. El dióxido de carbono del aire y el agua de amasado forman ácido carbónico que reacciona con el hidróxido de calcio para formar carbonato de cálcico, cuya resistencia al agua solo es limitada (Guerrero , Roux, & Soria, 2010, pág. 49).<sup>122</sup>

Dentro de estos procesos, los primeros dos tienen una reacción inmediata y actúan a través de la modificación de los límites de Atterberg del suelo. Sin embargo, los dos últimos se desarrollan durante periodos prolongados y generan la cementación del material.

Como ya se mencionó, para utilizar la cal como estabilizante se requieren poca cantidad de esta, pues un factor fundamental del proceso de estabilización con cal deriva de la cantidad de cal que se agrega a la tierra, la cual depende de la proporción y tipo de arcillas presentes en el suelo.

“Se ha podido comprobar que la adición de cantidades excesivas de cal no provoca modificaciones apreciables. A este límite de situación se le denomina: punto de fijación o retención de la cal”(Guerrero , Roux, & Soria, 2010, pág. 51).

Existen varios procedimientos para identificar un punto donde el contenido de cal que se agrega a la tierra no produce ninguna mejora. Uno de dichos procedimientos es el de la prueba de Eades

---

<sup>122</sup> Ver procesos de endurecimiento de la cal en el capítulo 1 de este trabajo.

& Grim con base en la Norma ASTM-D-6276<sup>123</sup>, que consiste en la determinación del porcentaje de cal necesario para la estabilización de suelo, tomando como variable el pH.

Esta prueba se utiliza para la estabilización de los suelos, y ayuda a la determinación del porcentaje de cal necesario para la estabilización del suelo tomando como variable el pH. Cuando el valor ph de la muestra es de 12.4, indica que es la cantidad necesaria de cal para estabilizar el suelo a tratar.

En investigaciones realizadas en el 2010 por la Universidad Autónoma Metropolitana se realizó una evaluación sobre la validez de la prueba Eades & Grim para determinar si los porcentajes que marca la norma son los adecuados para estabilizar los suelos, sin embargo los mismos investigadores concluyeron que los porcentajes adecuados fueron de 3%, 6% y 10% utilizando una cal en polvo, siendo el de 10% el que mejores resultados dio y el cual no se encuentra dentro de los rangos establecidos por la norma. Lo que abre una línea de investigación basada en el diseño de pruebas para el análisis del pH de la cal para determinar un porcentaje más exacto.<sup>124</sup>

El tema del uso de estabilizantes abre un abanico de posibilidades. Durante generaciones se han empleado aditivos de distintas fuentes, algunas de origen químico, otras de origen animal, vegetal o sintético. Sin embargo, lo ideal es utilizar materiales que sean de fácil acceso y estén disponibles en una región con el fin de fomentar la sostenibilidad y tener un buen aprovechamiento de estos recursos sin afectar el entorno.

Para la fase experimental de este trabajo se utilizó un porcentaje de cal de 10% en todos los ensayos y mezclas realizadas, como ya se explicó en párrafos anteriores, si se excede más del 10 % la cal ya no funciona como estabilizante.

---

<sup>123</sup> Standard Test Method for Using pH to Estimate the Soil-Lime Proportion Requirement for soil Stabilization. ASTM-D 6276 – 99a

<sup>124</sup> Investigación realizada en el 2010 por la Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco. (Guerrero , Roux, & Soria, Ventajas constructivas del uso de la tierra comprimida y estabilizada con cal en México, 2010)

### 3.6. Efecto del mucílago de *Opuntia* en combinación con la cal

Gracias a todo el legado ancestral que dejaron las culturas mesoamericanas con respecto a la aplicación de enlucidos y recubrimientos, y el buen manejo de mucílagos en combinación con la cal como aglutinantes, permitió que se erigieran murales monumentales como los de Cacaxtla. De todo ese conocimiento ancestral, el campo de la restauración ha sido una de las áreas en donde se han estudiado los efectos que tiene la adición de diferentes cantidades de mucílago sobre el comportamiento mecánico en los morteros de cal.

En diversas investigaciones, se ha estudiado el comportamiento de la unión de estos dos componentes. Los resultados que se han notado es que a menor concentración de mucílago<sup>125</sup> hay una mayor interrupción en la red tridimensional formada por el hidróxido de calcio, lo que ocasiona una disminución en el desempeño de las propiedades mecánicas de un mortero.

Este efecto, derivado de la concentración del mucílago vuelve a las pastas de mortero más quebradizas, sin embargo, se ve disminuido si se deja concentrar el mucílago por más tiempo. En otras palabras, a mayor concentración la red tridimensional del mucilago se compenetra con la red de hidróxido de calcio, lo que provoca que el comportamiento mecánico de los morteros mejore paulatinamente (Pérez, 2009).

Como ya se mencionó, en los últimos años se han desarrollado investigaciones sobre el comportamiento del mucilago y cal especialmente desde el campo de la conservación en México, con el fin de proporcionar el sustento científico en cuanto al mejoramiento en el proceso de extracción del mucílago de nopal, así como de las propiedades físico-mecánicas de las pastas de cal con este aditivo. (Cruz, 2013, pág. 189)

En este sentido, son varias las propiedades de los morteros o pastas a base de cal que son mejoradas con la incorporación del mucílago, entre dichas propiedades destacan las siguientes:

---

<sup>125</sup> Se refiere a concentración del mucilago al periodo de horas que se deja la solución agua-mucilago reposar, dicho periodo puede ir desde las 24 horas hasta las 72 horas.

- **Fluidez**

En la pasta a base de cal, la fluidez se ve aumentada durante su preparación y aplicación, ya que el mucílago, al actuar como fluidificante en la pasta, mantiene suspendidas las partículas sólidas (hidróxido de calcio) gracias a los enlaces que se crean entre los hidroxilos de ambas moléculas.

- **Consistencia y manejabilidad**

Aumenta el tiempo en el que la pasta se mantiene manipulable y con una consistencia adecuada para su aplicación, es decir, facilita su manejo, lo que se debe al hecho de que el mucílago mantiene en suspensión la pasta por un tiempo mayor en comparación con el tiempo que permite el agua común.

- **Adhesividad al soporte**

La adición del mucílago a la pasta mejora la adherencia de ésta al soporte y a los materiales con los que entra en contacto. Se ha visto que es mejor que la adhesividad verificada con morteros adicionados únicamente con agua común.

- **Contracción**

Este aditivo permite controlar la contracción de la pasta de cal, disminuyendo la aparición de fisuras y grietas, debido a que el mucílago aumenta el tiempo de fraguado, permitiendo un secado gradual.

- **Proceso de carbonatación**

El mucílago adicionado mejora el proceso de carbonatación al funcionar como un retardante del fraguado, permitiendo un acomodo mejor de los cristales de carbonato de calcio.

- **Dureza**

La dureza o resistencia al rayado que ofrece la superficie de la pasta una vez fraguada aumenta, lo que va en relación con el mejor acomodo de los cristales gracias al mayor tiempo de fraguado promovido por el aditivo.

- Acabado

La adición del mucílago a la pasta de cal facilita superficies de textura más lisa y poro más cerrado, y al someterlas a procesos como el bruñido se obtienen superficies muy tersas en cuanto a su acabado, en comparación con el que se logra con pastas sin este aditivo. En ello influye el tiempo más amplio de manejabilidad y la mejor plasticidad que confiere el mucílago a la pasta durante su aplicación (Cruz, 2013, pág. 189).

### 3.7. Recubrimientos de tierra

Para hablar de una epidermis de tierra y antes de partir hacia la parte experimental de este trabajo, es necesario conocer las generalidades de los recubrimientos de tierra, así como su composición, preparación de superficies y modos de aplicación.

Los recubrimientos de tierra están compuestos primordialmente por arena y limo, con solo una pequeña cantidad de arcilla necesaria para activar la cohesividad y adherencia. Es difícil establecer una proporción estandarizada para un recubrimiento, ya que no solo influyen en las proporciones de arena, limo y arcilla, sino principalmente en la granulometría de la arena, el contenido de agua, el tipo de arcilla, la forma de preparación, el tipo y cantidad de aditivos.

Por este motivo, es necesario realizar recubrimientos de prueba con mezclas variadas para poder determinar cuál es la más adecuada con las características necesarias para utilizarla como un revoque. Los recubrimientos de tierra se adhieren muy bien no solo en superficies de tierra sino también se pueden aplicar sobre diferentes superficies, tales como, tabiques de barro recocido, bloques de cemento, superficies de concreto, módulos de bahareque, etc.

Debido a que un recubrimiento de tierra no reacciona químicamente con la superficie donde se aplica, la superficie debe ser lo suficientemente rugosa con el objeto de obtener una adherencia física adecuada. Para lograr dicho objetivo es necesario tratar la superficie de tal manera que se obtenga una buena adherencia. Para ello, se deben tomar en cuenta las siguientes recomendaciones.

- Todo el material suelto se debe quitar raspando la superficie.
  - La superficie debe ser suficientemente rugosa, de ser necesario se debe humedecer y raspar.
  - Previo a la aplicación del recubrimiento es necesario humedecer la superficie con el fin de que esta se ablande y expanda de tal manera que el mortero pueda adherirse.
  - El mortero debe lanzarse con fuerza para que se impregnen las partículas de tierra del recubrimiento con las capas exteriores de la superficie. Alcanzando así también una mejor cohesividad provocada por el impacto.
  - Si se requiere aplicar un recubrimiento de un espesor mayor a 1.0 o 1.5 cm, este se aplicará en dos o tres capas para evitar fisuras en el secado.
  - Para reducir las fisuras de retracción durante el secado, el mortero debe contener suficiente arena gruesa o fibra.
  - Para mejorar la dureza de la superficie, se puede añadir a la mezcla de la capa fina aditivos como estiércol de vaca, cal, mucílago de nopal, caseína u otros.
  - Para obtener una superficie más dura y mejorar la resistencia a la abrasión húmeda, se debe aplicar una capa de pintura a la cal.
  - Al utilizar recubrimientos de tierra se deben tomar en cuenta los cambios de las propiedades físicas provocados por la adición de aditivos o pinturas especialmente respecto a la resistencia a la difusión del vapor.
- 
- Composición de un recubrimiento de tierra.

Uno de los problemas que puede presentar un recubrimiento de tierra son las fisuras, para obtener un recubrimiento sin fisuras la mezcla debe contener una buena proporción de arena. Por otro lado, para obtener una buena cohesividad, las fuerzas adhesivas de los minerales de arcilla deben activarse suficientemente mediante una cantidad de agua y amasado (Minke, 2001).

Durante el apartado en donde se trató la composición granulométrica en este mismo capítulo, se menciona la importancia derivada de la cantidad de agua que se le agrega a una mezcla para revoques de tierra, pues esta es un factor fundamental dentro de los estados hídricos de la tierra, ya que es la encargada de activar la cohesividad de las arcillas.

Como prueba previa para comprobar las características de un recubrimiento de tierra se puede hacer un ensayo muy sencillo de adherencia. En él se aplica un revoque con un espesor de 2 cm sobre la superficie de un ladrillo liso. El revoque debe quedarse pegado al ladrillo colocado de manera vertical, hasta su secado total lo cual puede tardar de 2 a 4 días.

Si se desprende por sí mismo en una sola pieza, entonces contiene mucha arcilla y se debe rebajar con arena gruesa. Si se desprende en pedazos al golpear el ladrillo con un martillo, entonces no posee la suficiente cohesividad y se debe enriquecer con arcilla. Si se queda pegado y muestra fisuras finas, entonces es arcilloso y debe ser ligeramente rebajado con arena gruesa.

Sin embargo, este puede ser empleado sin rebajarlo en la primera capa de un revoque de dos capas. Si la superficie no muestra fisuras y no se desprenden al golpear el ladrillo con un martillo, entonces es la mezcla adecuada (Minke, 2013, pág. 13).

Entre los problemas que pueden ocurrir en un recubrimiento de tierra están, la adherencia a la superficie, el efecto del agua, el proceso de secado, la retracción y las fisuras. Los daños en recubrimientos de tierra pueden aparecer debido a diferentes retracciones en el secado y a la expansión térmica, así como por efecto del agua y por efectos mecánicos.

Si un revoque se contrae durante el proceso de secado, o no tiene adherencia con la superficie, entonces puede suceder que se desprenda de la pared. Estas partes débiles pueden ser localizadas fácilmente golpeando el revoque con el puño. Si una gran cantidad de agua se condensa en un muro, entonces el barro se expande desconchando el revoque o la pintura.

Este daño también puede ocurrir si hay condensación de grandes cantidades de agua en la superficie exterior de un muro de barro o si se infiltra aguas del exterior al muro a través de grietas o huecos.

### 3.8. Determinación de mezclas para aplanados

Para la parte experimental, se elaboraron cuatro mezclas con diferentes dosificaciones, teniendo como referente principal una mezcla de tierra natural sin compensar. Se realizaron tres tipos de probetas, las primeras se hicieron sobre un molde cuadrado de aglomerado de madera con un espesor de 0.5 cm y con un área de 10 x 10 cm, a las que se nombró “probetas de tableta”. Las segundas muestras se llamaron “probetas cúbicas”, las cuales fueron realizadas en un molde de acero inoxidable, para estas probetas se formaron cubos de 5 x 5 x 5 cm. Por último, se hicieron unas “probetas de revoque”, las cuales, fueron colocadas sobre diferentes superficies con un espesor de 0.4 cm.

Los materiales para la elaboración de las mezclas y sus características se describen a continuación:

- **Suelo:** suelo extraído a 60 cm de profundidad, de la comunidad de Tepecoacuilco en el estado de Guerrero, al sur de la República mexicana. De acuerdo con la edafología el suelo extraído pertenece al horizonte A2. La clasificación del suelo de acuerdo con el Sistema Unificado de Suelos (SUCS) y al estudio de mecánica de suelos, el material extraído corresponde al tipo CH, tratándose de una arcilla limo arenosa- café claro.
- **Agregados:** arena sílice de granulometría fina
- **Estabilizantes:**

Cal en polvo parcialmente hidratada tipo Quimex 90, fabricada por grupo CALIDRA y caracterizada por una presencia mínima de 90% de hidróxido de calcio.

Mucilago de opuntia ficus, recolectada de la zona del altiplano central en Hueyotlipan Tlaxcala.

- **Hidrante:** agua potabilizada

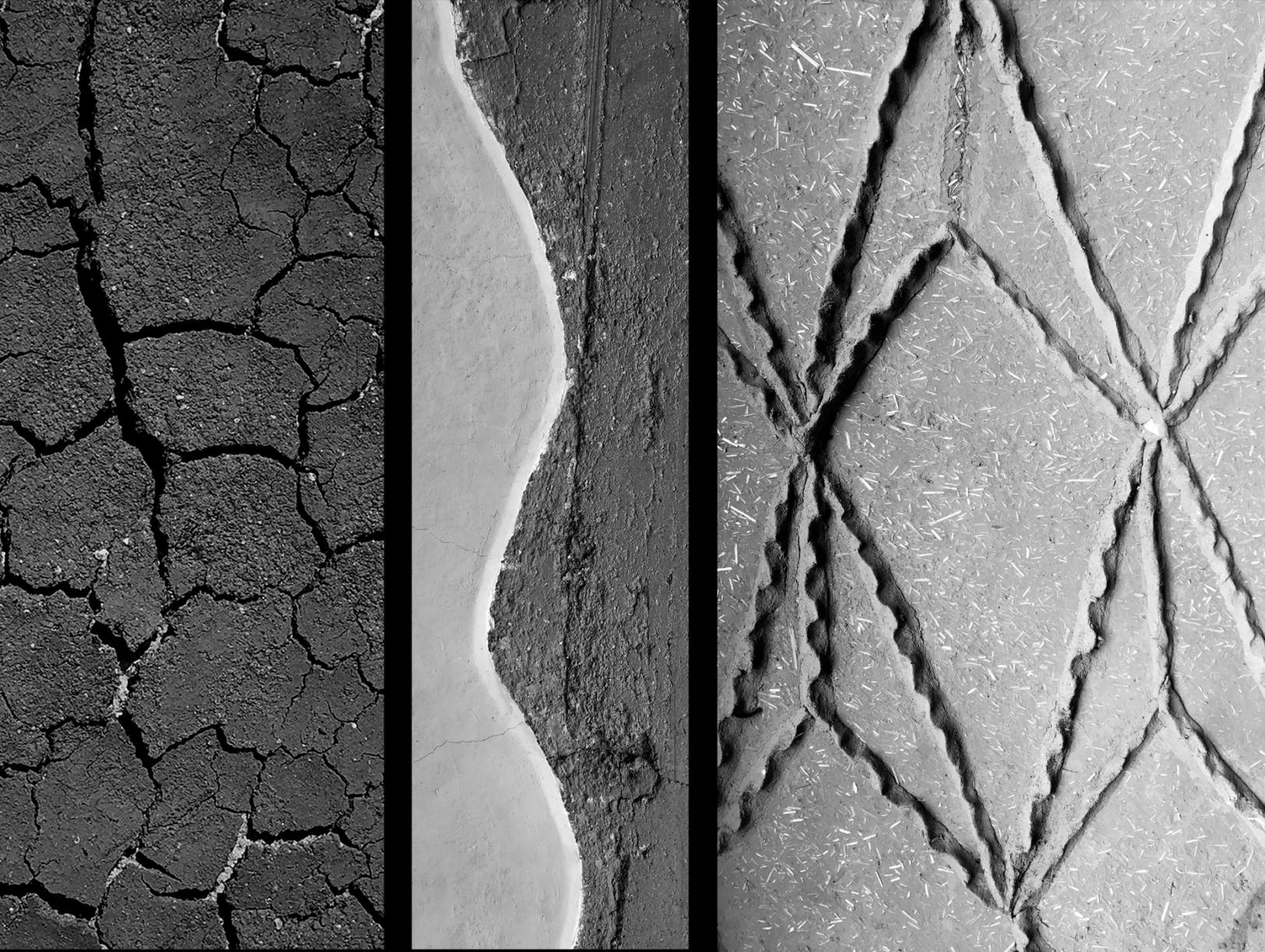
Es importante aclarar que el tipo de cal que se utilizó fue una cal hidratada debido a que el acceso a este tipo de cal es más fácil y económico, sin embargo, el grado de pureza de ésta disminuye a diferencia de una cal viva cuyo grado de pureza es mayor.

En la tabla 9 se muestran las mezclas que se realizaron y las variantes entre los dos estabilizadores propuestos, que son el hidróxido de calcio y el mucílago de opuntia.

| Mezcla | Componentes                                  |
|--------|--|
| 1      | Tierra + agua                                |
| 2      | Tierra + arena + agua                        |
| 3      | Tierra + arena+ agua + mucílago              |
| 4      | Tierra + arena + agua + cal (10%)            |
| 5      | Tierra + arena + agua + mucílago + cal (10%) |

**Tabla 9.** Determinación de mezclas estabilizadas para la aplicación sobre diferentes superficies.

En el siguiente capítulo se da a conocer el comportamiento de dichas mezclas, así como, la serie de experimentos que se realizaron en tres tipos de probetas propuestas. El objetivo es encontrar una mezcla ecológica y económicamente adecuada utilizando materiales del entorno, que dicha mezcla pueda ser aplicada sobre diferentes superficies, que cuente con una adherencia admisible y sobre todo que mejore las cualidades de confort higrotérmico dentro de los espacios, para así poder reducir el uso de materiales industrializados que traen consecuencias a la salud.



## CAPÍTULO 4

# ANÁLISIS Y COMPORTAMIENTO DE LAS MEZCLAS PARA RECUBRIMIENTOS DE TIERRA

R E V O Q U E

## **CAPÍTULO 4. ANÁLISIS Y COMPORTAMIENTO DE LAS MEZCLAS PARA RECUBRIMIENTOS DE TIERRA**

Como ya se mencionó en el capítulo anterior, una parte matriz de este proyecto de investigación se centra en su fase experimental, pues uno de los objetivos es proponer un sistema de revoque que sea viable de aplicación tanto en superficies de tierra como en otro tipo de paramentos. Para cumplir con ello, es necesario conocer, verificar y comprobar todo lo que se ha encontrado en los saberes tradicionales y en los hallazgos ancestrales, que, si bien son conocimientos que se han transmitido de forma empírica, con lo cual resulta necesario traducir estos saberes a una forma más científica para probar de una manera más precisa su eficacia.

Para probar la eficacia de aquellos saberes tradicionales es necesario realizar pruebas y distintos ensayos a los revoques de tierra, con el fin, de analizar su comportamiento tanto físico como mecánico, y poder así determinar que proporciones, materiales y técnicas de aplicación se adecuan para que estos cumplan su función como agentes protectores sobre distintas superficies.

Parte de las actividades de esta investigación se realizaron en el Laboratorio de Materiales Tradicionales de la Escuela Nacional de Conservación Restauración y Museografía (ENCRyM-INAH), así como también, en el Laboratorio de Entornos Sostenibles LES de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), mientras que el resto de los ensayos se desarrollaron en el laboratorio de materiales de la Universidad Autónoma Metropolitana unidad Xochimilco.

Hoy en día, en el país no se cuenta con una normatividad específica para la arquitectura de tierra y mucho menos para los sistemas de revoques de esta naturaleza. Debido a la falta de estándares para recubrimientos de tierra se tomaron como referente técnico los lineamientos de las normas aplicadas en morteros de cemento, morteros de cal y diferentes pastas.

Las pruebas que determinan la consistencia de la mezcla se desarrollaron bajo la norma oficial mexicana NMX-C-057-ONNCCE<sup>126</sup> y la ASTM C-305-99.<sup>127</sup>

Para definir el tiempo de fraguado inicial y final se utilizó como referencia la norma oficial mexicana NMX-C-059-ONNCCE<sup>128</sup> y la ASTM C-807-03<sup>129</sup>. Para establecer la cantidad de arena como agregado para compensar la mezcla se utilizó la norma ASTM C-778-002.<sup>130</sup> Para determinar el mezclado se utilizó la norma ASTM-C-595<sup>131</sup>, y para comparar la retención de agua se usó como referencia la norma ASTM C-1535-04<sup>132</sup>.

Para las pruebas de penetración de agua mediante el tubo de Karsten se empleó una adaptación de las normas, DIN 4117<sup>133</sup> y DIN1048<sup>134</sup>, debido a que no existe un estándar nacional al respecto y porque se trataba simplemente de contar con un referente comparativo a falta de estándares mexicanos.

---

<sup>126</sup> NMX-C-057-ONNCCE. Industria de la construcción –cementantes hidráulicos- determinación de la consistencia normal. México: Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y la Edificación, S.C. 2015.

<sup>127</sup> ASTM C-305-99. Standard practice for mechanical of hydraulic cement pastes and mortars of plastic consistency. USA: ASTM International, 1999.

<sup>128</sup> NMX-C-059-ONNCCE. Determinación del tiempo de fraguado para cementantes hidráulicos (método de Vicat). México: Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y la Edificación, S.C. 2017.

<sup>129</sup> ASTM C-807-03. Standard test method for time of setting of hydraulic cement mortar by modified Vicat needle. USA: ASTM International, 2003.

<sup>130</sup> ASTM C-778-002. Standard specification for standard sand. USA: ASTM International, 2002.

<sup>131</sup> ASTM C-595. Standard specification for blended hydraulic cements. USA: ASTM International, 2018.

<sup>132</sup> ASTM C-1535-04. Standard practice for application of exterior insulation and finish systems class. USA: ASTM International, 2006.

<sup>133</sup> DIN 4117. Damp-proofing of buildings against ground moisture. Germany: DIN 1960-11

<sup>134</sup> DIN 1048. Pressure balance method. Germany: DIN 1993.

#### 4.1. Revoques de tierra, propiedades y consideraciones previas a los ensayos.

Como bien se ha mencionado en capítulos anteriores, entre la granulometría de los suelos, uno de los componentes importantes es la arcilla, la cual está compuesta por un silicato de aluminio<sup>135</sup>. Para el caso de los recubrimientos, la arcilla endurece por la evaporación del agua, y su adherencia es puramente mecánica pues las partículas finas de la misma se unen a los de componentes de mayor granulometría como lo son las arenas y limos.

Un recubrimiento de tierra es una mezcla de aglomerante de arcilla y arenas, a la mezcla se le pueden agregar diferentes tipos de materiales que sirven como estabilizantes o refuerzos en las mezclas (fibras vegetales o animales), los cuales ayudan a dar una mayor dureza y resistencia a los recubrimientos.

Es importante mencionar que, todas las arcillas se expanden al hidratarse y se retraen al secarse, lo que puede provocar la formación de fisuras. El grado de modificación del volumen depende del contenido de arcilla y del tipo de minerales incluidos en ésta (Reichel , Hochberg, & Köpke , 2004, pág. 43).

El fenómeno de fisuración, en recubrimientos no es muy favorable ya que la presencia de fisuras con el paso del tiempo puede provocar el desprendimiento de estos, dejando a las superficies sin ninguna protección. En algunos casos cuando se aplican dos capas de revoque, la primera capa siempre se deja agrietar esto con el fin, de que al recibir el acabado final con la segunda capa se tenga una buena adherencia y se permita tener una superficie lisa y uniforme.

Los recubrimientos de tierra tienen propiedades que favorecen la regulación del clima interior; absorbe la humedad del aire y la libera de nuevo; también retienen el calor. Entre otras propiedades están, su capacidad de absorber y eliminar olores, así como, propiedades antialérgicas. Gracias a estas propiedades se buscan recubrimientos que ayuden a mejorar el confort del medio circundante y al mismo tiempo, que contribuyan con el medio ambiente gracias al bajo impacto que tienen este tipo de sistemas sobre el entorno.

---

<sup>135</sup> Los silicatos son el grupo de minerales de mayor abundancia, pues constituyen más del 95% de la corteza terrestre, además del grupo de más importancia geológica por ser petrogénicos, es decir, los minerales que forman las rocas. Todos los silicatos están compuestos por silicio y oxígeno. Estos elementos pueden estar acompañados de otros entre los que destacan aluminio, hierro, magnesio o calcio. Recuperado de: glosarios.servidor-alicante.com. Consultado el 2 de febrero del 2019.

## 4.2. Elaboración de probetas.

Una parte fundamental dentro de la metodología experimental es la realización de muestras, dichas muestras deben cumplir con ciertas características para ser evaluadas y poder así obtener resultados al ser sometidas a diferentes ensayos. Para clasificar dichas muestras se les asignó el nombre de probetas, estas fueron realizadas con un mismo tipo de tierra; la clasificación de mezclas estudiadas se determinó al final del capítulo anterior.

Se realizaron tres tipos de probetas de forma manual, quedando definidas como, *probetas de revoque*, *probetas de tableta* y *probetas cúbicas*. Cada probeta fue realizada con diferentes características debido a que, fueron realizadas con el fin de ser evaluadas bajo diferentes ensayos.

### 4.2.1. Probetas de revoque.

Las *probetas de revoque* corresponden a la parte más importante de la investigación, ya que, éstas son aplicadas a la intemperie sobre superficies arquitectónicas reales, con este tipo de probetas se puede tener una primera idea sobre el comportamiento de cada mezcla para recubrimientos. Estas muestras permiten evaluar la adherencia, retracción, fisuración, desgaste y erosión que puede presentar un revoque ante las acciones del clima, como lluvias, rayos solares y viento.

Se realizaron un total de 15 probetas de 15 x 15 cm, con un espesor de 1 cm para ser evaluadas sobre superficies de tierra, bloques de cemento y tabique rojo recocido. Se realizó una probeta por cada mezcla establecida en la tabla 9 que se muestra en el capítulo anterior, siendo evaluadas y monitoreadas por un periodo de tres meses.

Las muestras estuvieron sometidas a una serie de lluvias que se presentaron entre los meses abril a octubre del año 2018, este factor ayudó a complementar la evaluación y el comportamiento de los recubrimientos y a su vez ayudó a determinar cuál mezcla respondía positivamente a las inclemencias del clima.

En la sección 4.4 de este capítulo se explica de manera detallada la evaluación y características que presentaron estas probetas al ser monitoreadas durante varios meses, así como, el comportamiento que tuvieron al ser aplicadas en diferentes superficies. Es importante mencionar que la aplicación de estas muestras se debe hacer con una llana metálica humedeciendo previamente la superficie a recubrir.



**Figura 64.** Aplicación de probeta de revoque sobre una superficie de bloques de cemento. Fuente: Esmeralda Avila (agosto del 2018)

#### 4.2.2. Probetas cúbicas.

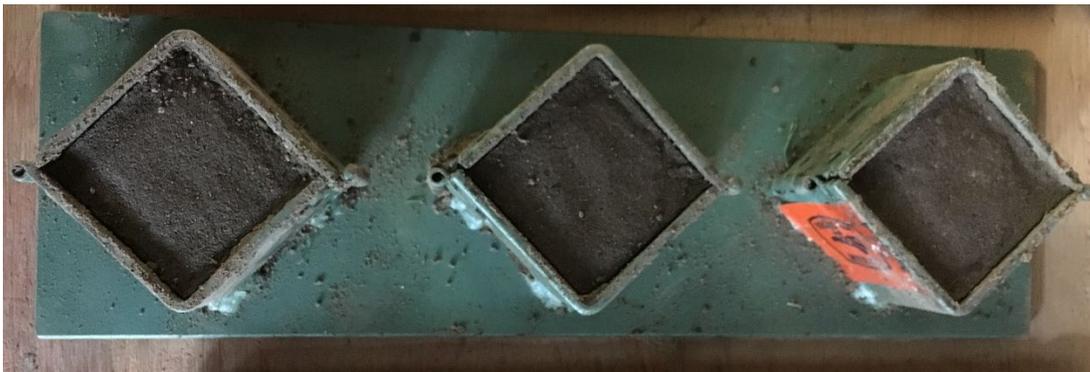
Para el caso de estas probetas a falta de estándares mexicanos, se hizo una adaptación de la norma ASTM C-109/C109-M07<sup>136</sup>. Teniendo probetas con las siguientes dimensiones 5cm x 5cm x 5 cm, dando un total de 125 m<sup>3</sup>. Para este tipo de muestras se realizaron un total de 12 piezas, cuatro piezas por mezcla y solo se realizaron tres mezclas, mismas que se muestran en la tabla 10. La razón de únicamente realizar tres mezclas fue con la intención de tener como variantes la tierra en su estado natural y la tierra estabilizada con hidróxido de calcio y mucílago de opuntia ficus, con el fin de, evaluar la resistencia mecánica de cada componente.

<sup>136</sup> ASTM C-109/ C109M-07. Standard test method for compressive strength of hydraulic cement mortars (using 2-in-or [50 mm] cube specimens). USA: ASTM International, 2007.

| Numero de Mezcla correspondiente | Componentes                       |
|----------------------------------|-----------------------------------|
| 1                                | Tierra + agua                     |
| 3                                | Tierra + arena+ agua + mucílago   |
| 4                                | Tierra + arena + agua + cal (10%) |

**Tabla 10.** Mezclas utilizadas para probetas cúbicas. Archivo: Esmeralda Avila, 2018.

Para realizar las probetas se utilizó un molde metálico proporcionado por el laboratorio de materiales tradicionales de la ENCRYM. La elaboración de las probetas se realiza de forma manual, comenzando por formar pequeñas esferas de aproximadamente 1 cm de diámetro, cada esfera se va colocando dentro del molde y compactando suavemente a las paredes del molde con un pisón de madera, este proceso se repite hasta formar un cubo, como se observa en la figura 51.



**Figura 65.** Molde metálico para probetas cúbicas. Fuente: Esmeralda Avila (marzo del 2018)

Al terminar el llenado total de los moldes, las probetas se dejan secar durante 24 horas para posteriormente ser desmoldadas. El tiempo de secado para este tipo de muestras va de 14 días a 28 días, una vez transcurrido este tiempo las muestras han alcanzado su máxima resistencia y pueden ser sometidas a diferentes ensayos. Las siguientes tablas muestran las proporciones y dosificaciones que se utilizaron por cada mezcla para la elaboración de las muestras.

| <b>Mezcla 1</b> |                 | <b>Tierra + Agua</b> | <b>Cantidad de probetas</b> |
|-----------------|-----------------|----------------------|-----------------------------|
| <b>material</b> | <b>Cantidad</b> |                      | <b>3 piezas</b>             |
| Tierra          | 750 gr          |                      |                             |
| Agua            | 250 ml          |                      |                             |

**Tabla 11.** Cantidad de material utilizado y proporciones para la elaboración de las probetas de acuerdo con el tipo de mezcla. Fuente: Esmeralda Avila (15 de marzo del 2017)

| <b>Mezcla 3</b> |                          | <b>Tierra + arena+ agua + mucílago</b> | <b>Cantidad de probetas</b> |
|-----------------|--------------------------|--|-----------------------------|
| <b>material</b> | <b>Cantidad</b>          |  | <b>3 piezas</b>             |
| Tierra – Arena  | 750 gr proporción 1: 1.5 |  |                             |
| Agua + mucílago | 200 ml                   |  |                             |

**Tabla 12.** Cantidad de material utilizado y proporciones para la elaboración de probetas de acuerdo con el tipo de mezcla. Fuente: Esmeralda Avila (8 de marzo del 2018)

| <b>Mezcla 4</b>           |                          | <b>Tierra + arena + agua + cal (10%)</b> | <b>Cantidad de probetas</b> |
|---------------------------|--------------------------|--|-----------------------------|
| <b>material</b>           | <b>Cantidad</b>          |  | <b>3 piezas</b>             |
| Tierra – Arena            | 750 gr proporción 1: 1.5 |  |                             |
| Agua                      | 310 ml                   |  |                             |
| Hidróxido de calcio (10%) | 75 gr                    |  |                             |

**Tabla 13.** Cantidad de material utilizado y proporciones para la elaboración de probetas de acuerdo al tipo de mezcla. Fuente: Esmeralda Avila (20 de marzo del 2018)

Como se puede observar en las tablas 11 a la 13, la cantidad de agua utilizada entre cada mezcla fue variando considerablemente, este parámetro sirvió como una comparativa para determinar tentativamente con que componente se podría reducir el consumo de agua y así poder tener una primera visión de la mezcla con mejores cualidades ambientales.



**Figura 66.** Probetas cúbicas después del periodo de secado, ENCRYM, Ciudad de México. Fuente: Esmeralda Avila (12 de abril del 2018)

#### 4.2.3. Probetas de tableta.

Estas muestras fueron denominadas probetas de tableta, debido al espesor con el que fueron hechas. Se realizaron dos dimensiones de tabletas, las primeras fueron de 10cm x 10 cm con un espesor de 0.5 cm y fueron elaboradas para los ensayos de absorción y liberación de humedad, así como también, para ensayos de retracción volumétrica. Las segundas tabletas se elaboraron de 20cm x 20cm con un espesor de 0.5 cm y fueron elaboradas específicamente para las pruebas de conductividad térmica. En la tabla 14 se muestran las mezclas que corresponden a las tabletas de 10cm x 10 cm x 0.5 cm.

| Mezcla | Componentes                               |
|--------|---|
| 1      | Tierra + agua                             |
| 2      | Tierra + arena + agua                     |
| 3      | Tierra + arena+ agua + mucílago           |
| 4      | Tierra + arena+ agua + cal 10%            |
| 5      | Tierra + arena+ agua + cal 10% + mucílago |

**Tabla 14.** Mezclas correspondientes para la elaboración de probetas de tableta de 10 cm x 10 cm x 0.5 cm de espesor. Probetas elaboradas para ensayos de retracción volumétrica y absorción y liberación de humedad. Fuente: Esmeralda Avila (julio del 2018).

El tiempo de secado de ambas probetas fue de ocho días. Las muestras fueron elaboradas con un molde de aglomerado de madera (MDF) de 10cm x 10cm a interiores y 20cm x 20cm a interiores también. De las probetas con menor dimensiones se realizaron 4 muestras por mezcla, teniendo un total de 20 piezas. Para las probetas de 20cm x 20cm se realizaron únicamente dos muestras de 2 mezclas, en la tabla 15 se muestran las mezclas correspondientes a las tabletas de 20 cm x 20 cm x 0.5 cm de espesor.

| Mezcla | Componentes                     |
|--------|---------------------------------|
| 1      | Tierra + agua                   |
| 2      | Tierra + arena+ agua + mucílago |

**Tabla 15.** Detalle de las mezclas con las que se realizaron las probetas de tableta de 20cm x 20 cm. Fuente: Esmeralda Avila (julio del 2018)



**Figura 67.** A la izquierda, probetas de tableta de 10cm x 10cm durante su proceso de secado, a la derecha, probeta de tableta de 20cm x 20cm al término de su secado. Fuente: Esmeralda Avila (abril del 2018)

### 4.3. Caracterización experimental.

Una de las fases dentro de un proyecto de investigación que da pauta para saber si los objetivos e hipótesis planteados al inicio de un proceso de investigación están siendo bien encaminados, es la fase experimental. Dentro de esta etapa de análisis, ensayos e interpretación de resultados se pueden detectar errores, técnicas de aplicación, rangos de tolerancia y comportamiento de un material ante las acciones mecánicas, factores antrópicos y atmosféricos.

Los ensayos y la interpretación de los resultados explican de forma cuantitativa y cualitativa el comportamiento del material, y las cualidades o limitaciones que este llegue a presentar. Para esta investigación una de las partes esenciales es la etapa de experimentación ya que, con los datos recabados se documenta científicamente si los materiales y proporciones que se están proponiendo cumplen con las necesidades y requerimientos para la aplicación de un recubrimiento que sirva como capa protectora y al mismo tiempo que mejore el confort higrotérmico de los espacios.

Para el proceso experimental se partió desde la caracterización de la materia prima, lo que permitió entender la granulometría, estado de consistencia, taxonomía y clasificación a la que ésta pertenecía. Para posteriormente, dar paso a la caracterización de los materiales que cumplirían la función de aglutinantes y cementantes, mismos, a los que se les llamo estabilizantes. Finalmente se elaboraron diferentes tipos de probetas con características especiales y adecuadas para ser sometidas a una serie de distintos ensayos.

Para conocer cómo se comporta un recubrimiento fue necesario determinar el tipo de pruebas que se realizaron dentro de la fase experimental. Los parámetros que se deben tener en cuenta y conocer para un buen recubrimiento son: la acción del agua de lluvia, durabilidad, erosión, humedad, acciones mecánicas, resistencia, fisuración, transferencia de calor y adherencia. A continuación, se discuten las observaciones y resultados obtenidos en los diferentes ensayos que se realizaron para obtener una mezcla adecuada para su viabilidad de aplicación como revoque.

#### 4.3.1. Retracción volumétrica

Como ya se ha venido mencionando, un fenómeno de pueden presentar los recubrimientos es su contracción durante su periodo de fraguado. Sin embargo, esto depende de la cantidad de arcilla que contenga la materia prima, ya que toda arcilla al entrar en contacto con el agua tiende a expandirse y a retraerse durante su secado. Por otro lado, la propiedad de los sistemas de tierra de absorber y liberar la humedad del ambiente no conduce a la expansión ni retracción del material.

El ensayo de retracción volumétrica se realizó sobre las probetas de tableta de 10 cm x 10 cm x 0.5 cm de espesor; se tomaron como variables cuatro mezclas. Para medir el porcentaje de retracción de las probetas, se utilizó un vernier, y se hizo una comparativa con las medidas del molde original tomando las medidas de éste como el 100 %.

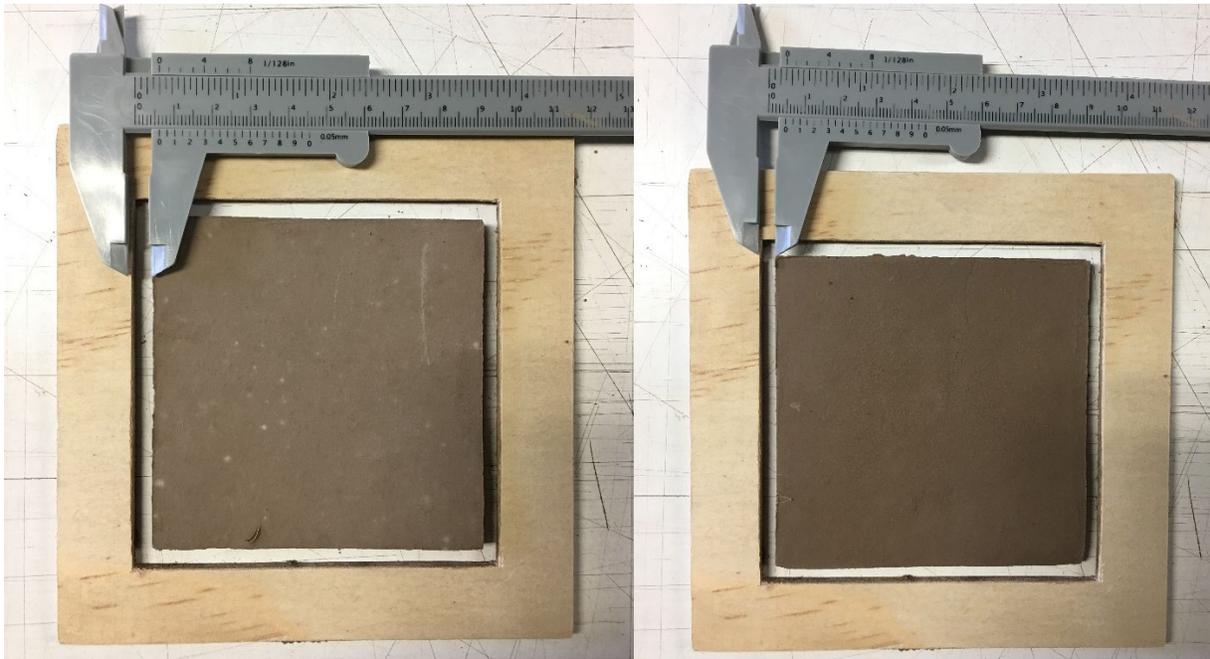
| Número de Mezcla | Mezcla  | Reducción por lado (mm) | Porcentaje de reducción |
|------------------|---|-------------------------|-------------------------|
| 1                | Tierra-mucílago sin reposar 48 horas            | 6,5 mm                  | 13%                     |
| 2                | Tierra-mucílago reposado 48 horas               | 5,0 mm                  | 10%                     |
| 3                | Tierra-arena-mucílago reposado 48 horas (1,5:1) | 2,5 mm                  | 5%                      |
| 4                | Tierra-arena-mucílago reposado 48 horas (1:1,5) | No presenta reducción   | 0 %                     |
| 5                | Tierra-arena-cal                                | No presenta reducción   | 0 %                     |

**Tabla 16.** Porcentaje de retracción volumétrica. Fuente: Esmeralda Avila (diciembre del 2017)

Antes de la descripción sobre el comportamiento de las probetas de tableta en los ensayos de retracción volumétrica, es importante mencionar para que sirven este tipo de ensayos y como pueden ayudar a mejorar la consistencia de las mezclas. En la arquitectura de tierra este ensayo sirve para conocer la contracción que presenta el material al estar en contacto con el agua y durante su proceso de secado.

Esto ayuda a determinar, si el material tiene que mejorarse añadiendo un componente de su misma naturaleza granulométrica, o bien estabilizarse agregando un material que funcione como aglutinante para otorgar mayor dureza y resistencia a una mezcla. Para este caso en particular, el ensayo ayudo tanto para saber que volúmenes de arena agregar para compensar el material y que porcentajes, tiempos de reposo, dosificaciones y diluciones utilizar para estabilizar las mezclas.

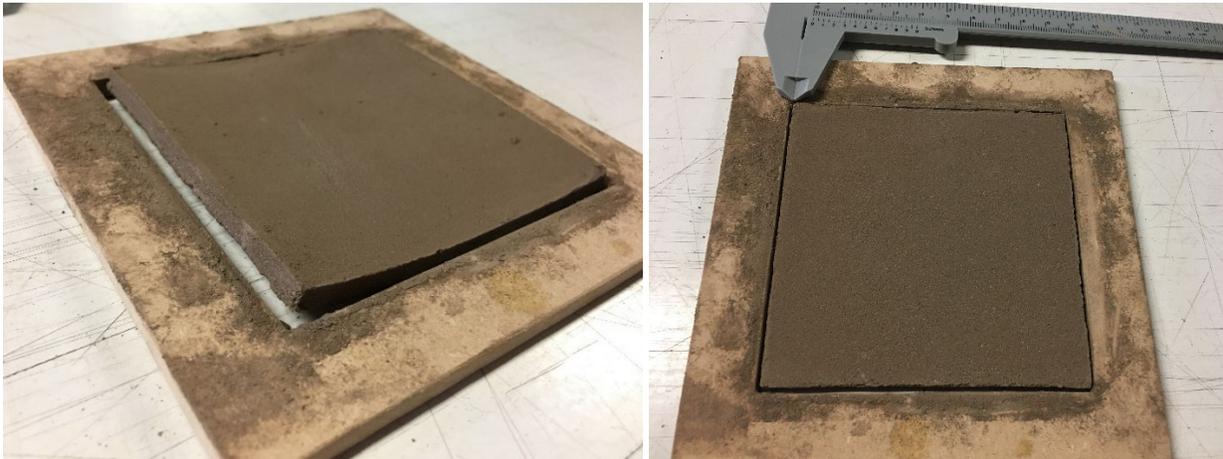
Las mezclas 1 y 2 no estaban compensadas con arena por lo que su retracción radial fue muy considerable debido al alto contenido de arcilla de la tierra que se ensayó. Asimismo, se pudo notar que la mezcla en la que no se dejó reposar el mucílago aumentó su contracción en más de un 10%.



**Figura 68.** Izquierda Retracción volumétrica de mezcla 1 correspondiente a un porcentaje de reducción del 13 %. Derecha, retracción volumétrica de la mezcla 2 correspondiente a un porcentaje de reducción del 10 %. Fuente: Esmeralda Avila, noviembre del 2017.

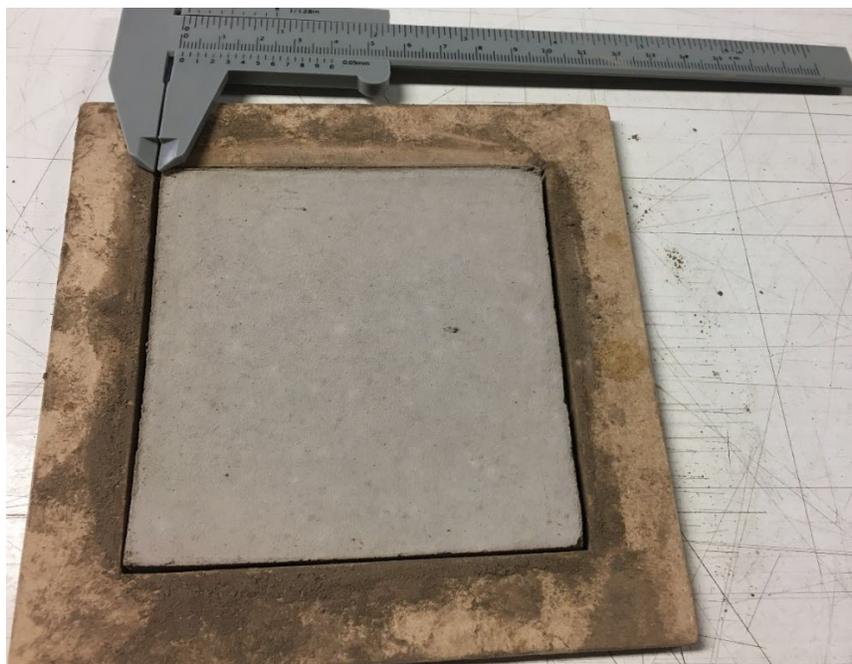
Por otro lado, se observó que al dejar concentrar el mucílago por 48 horas produjo un mejor comportamiento de la mezcla 2 disminuyendo su porcentaje de retracción, esto se debe a que el mucilago es un polisacárido fibroso altamente ramificado que al tener contacto con agua y dejarse concentrar por un lapso mayor de tiempo, tiende a fermentarse dando como resultado un aumento en su viscosidad.

La muestra 3 presentó mejores resultados teniendo un menor porcentaje de contracción, esto ocurrió gracias a que esta mezcla se compenso agregando volúmenes de arena con una proporción de 1,5: 1 en relación tierra-arena. Sin embargo, mostró un ligero pandeo. En la muestra 4, derivado al pandeo que se presentó en la muestra anterior, se agregó una proporción mayor de arena quedando de 1:1,5 tierra-arena. Dicha muestra presento mejores resultados, pues no presento retracción radial ni pandeo, por lo que como primer dato se tiene que la proporción 1:1,5 tierra-arena seria la que se utilizaría para las probetas de revoque.



**Figura 69.** A la izquierda pandeo de muestra 3 por falta de arena, proporción 1,5: 1 relación tierra: arena. Derecha, muestra 4 con proporción 1:1,5 relación tierra-arena. Fuente: Esmeralda Avila, noviembre del 2017.

Para la muestra 5 se utilizó la misma proporción 1:1,5 tierra-arena; para este caso se agregó un 10 % de hidróxido de calcio como estabilizante con relación al volumen total de la mezcla. En esta mezcla al igual que en la mezcla 4, no presentó retracción por lo que su porcentaje fue del 0 %. Gracias a esta prueba se pudo llegar a las cantidades y proporciones adecuadas para compensar la tierra que se utilizó para todos los ensayos, la cual era de una naturaleza muy arcillosa.



**Figura 70.** Mezcla 5 a la cual se le agrego una proporción de 1:1,5 en relación tierra-arena y un 10 % de hidróxido de calcio con relación al volumen total de la mezcla. Fuente: Esmeralda Avila, noviembre del 2017.

Durante la realización de estas pruebas se pudo documentar el ahorro de agua que se tuvo al utilizar el mucílago de *opuntia* como estabilizante, pues las muestras a las que se les agrego esta solución no solo demandaron menor cantidad de agua, sino también, se obtuvieron mezclas más trabajables y adecuadamente plásticas. La presencia de arena en las mezclas compensadas ayudo aún más con el ahorro de agua y los tiempos de concentración del mucilago mejoraban la consistencia en las mezclas.

Desde la perspectiva de la sostenibilidad ecológica, el ahorro del agua es un dato importante que se pudo observar. La tierra es un material que se caracteriza por un óptimo aprovechamiento del agua en comparación con los materiales convencionales de construcción, ya que, utiliza comparativamente muy poca y, además, no la contamina. Pero si adicionalmente a esta cualidad general se consigue disminuir la cantidad de agua de mezclado, se alcanzan ventajas adicionales.

#### 4.3.2. Ensayo a compresión.

La resistencia a la compresión en elementos de construcción secos hechos con tierra, como por ejemplo bloques de tierra y tierra compactada difiere generalmente de 5 a 50 kg/cm<sup>2</sup>. Este depende no solo de la cantidad y tipo de arcilla, sino también de la distribución granulométrica del limo, arena y agregados mayores, así como, del método de preparación y compactación (Minke, 2001, pág. 40).

Esta prueba se realizó con el fin de determinar la resistencia máxima y conocer el fallo del material en estado natural, estabilizado con mucílago de nopal y con hidróxido de calcio. Se hicieron probetas cúbicas de 5 cm x 5cm x 5 cm de tres mezclas diferentes, tierra-agua, tierra-arena-agua-mucílago, tierra-arena-agua-cal (10%), dejándose secar por un periodo de 28 días, en un ambiente con temperatura y humedad controladas. Los cubos fueron sometidos a cargas axiales después del lapso de secado. Se formó una serie de tres muestras por cada mezcla, sometiendo cada probeta a una carga axial en una prensa. Se usó la prensa manual ELVEC 657-2 digital que se localiza en el

Laboratorio de Materiales de Construcción de la UAM-Xochimilco. Los resultados promediados aparecen en la tabla 17.

| Muestra | mezcla                            | Resultados a la compresión<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) |
|---------|-----------------------------------|---|
| 1       | Tierra + agua                     | 69.53   |
| 3       | Tierra + arena+ agua + mucílago   | 54.04   |
| 4       | Tierra + arena + agua + cal (10%) | 78.77   |

**Tabla 17.** Resultados promediados del ensayo a compresión. Fuente: Esmeralda Avila (marzo del 2018)

Como se puede observar, las muestras con la mezcla 1 y 4 fueron las más resistentes a la compresión. Esto refleja que una tierra que contiene arcillas con tan alta plasticidad, al estar en estado natural mezclada solamente con agua tiene una elevada capacidad de carga la cual disminuye notablemente al agregar mucílago.



**Figura 71.** A Izquierda. Muestra 1 correspondiente a la mezcla de tierra-agua, a la derecha, muestra 4 correspondiente a la mezcla tierra-arena-agua-cal, ambas después de ser sometidas a una carga axial para determinar su resistencia a la compresión. Fuente: Esmeralda Avila, 18 de mayo del 2018.

### 4.3.3 Absorción capilar

Todos los materiales con una estructura porosa como la tierra son capaces de almacenar y transportar agua a través de sus vasos capilares. De ese modo el agua se mueve de regiones de mayor humedad hacia regiones de menor humedad. La capacidad del agua para ser absorbida se denomina “capilaridad” y el proceso de transportación de agua se llama “acción capilar” (Minke, 2001, pág. 38).

Esta prueba se realizó en tres muestras de tierra sin compensar, es decir sin agregados de arena, con la intención de observar el comportamiento del tipo de tierra con el que se contaba en su estado natural, así como, su comportamiento ante la acción del agua y el uso de estabilizantes como el mucílago de opuntia e hidróxido de calcio. El orden de las muestras ensayadas quedo de la siguiente manera, tierra-agua, tierra-mucílago y tierra-agua-cal.

Como actualmente en México no existen estándares que permitan conocer el estudio de la absorción capilar, se tomó como referencia la norma italiana Normal 11-85 (1985). En el ensayo de absorción capilar cada muestra es sumergida por una cara en un recipiente con una ligera cantidad de agua durante un lapso 30” y después se pesa con una báscula de precisión. Se repite el proceso hasta que la muestra comience a tener pérdida del material por desmoronamiento.

Cada muestra se ensayó por un lapso de ocho minutos. La cantidad de agua que absorbió la muestra permitió graficar y comparar cada una por diferencia de pesos. Estos niveles de absorción se pueden observar en la figura 72 que representa el comportamiento de las muestras al incrementarse su peso en un tiempo determinado, hasta llegar a la saturación o degradación de la muestra. Para determinar el coeficiente de absorción se usó la siguiente fórmula:

$$Abs(\%) = \frac{Ps - Pd}{Pd} \times 100$$

Dónde: Abs (%): Coeficiente de absorción en porcentaje

Pd: Peso desecado (g)

Ps: Peso saturado (g)

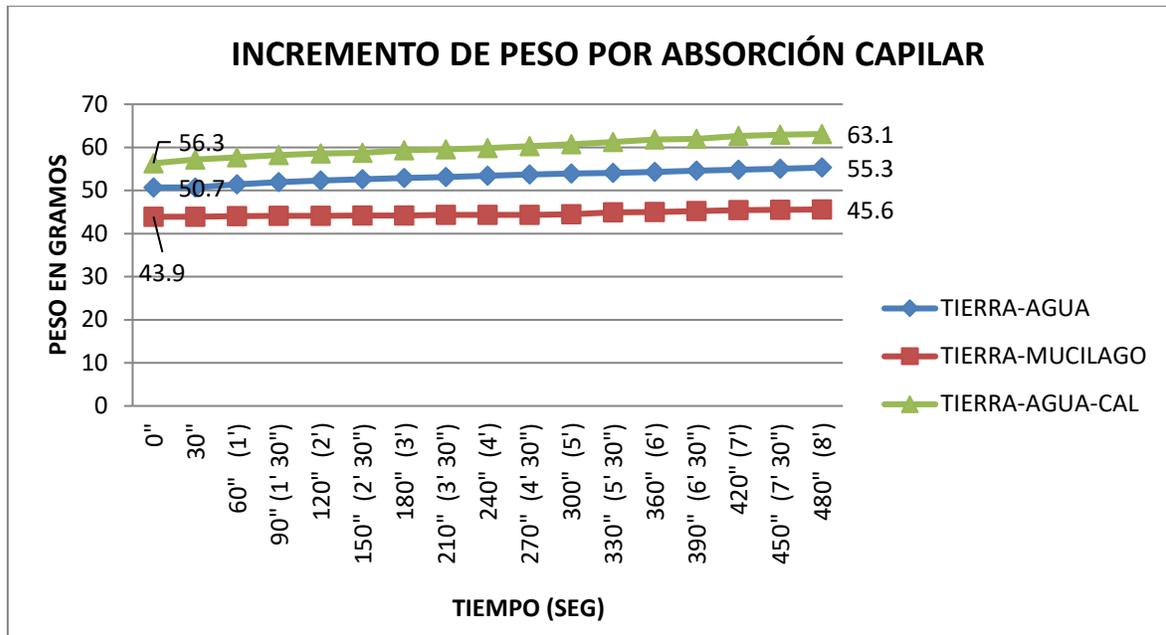


Figura 72. Incremento de peso por absorción capilar. Fuente: Esmeralda Avila ,18 mayo del 2018.

Las probetas fueron ensayadas por un lapso de ocho minutos y como ya se mencionó fueron pesadas en una báscula de precisión cada 30 segundos, esto permitió observar el comportamiento de los materiales estabilizantes y de la misma tierra en su estado natural. Como se puede observar en la gráfica de la figura 72, la mezcla que mayor cantidad de agua absorbió fue la de tierra-agua cal; esto se debe a que la cal utilizada como estabilizante aumenta la porosidad de las mezclas y comienza a trabajar en presencia del agua.

En el polo opuesto, se encuentra la muestra de tierra-mucílago, en la cual se pudo observar que fue la que menor cantidad de agua absorbió, en comparación con el resto de las muestras. Este fenómeno ocurre por la presencia del mucílago de opuntia, pues este componente hace que la porosidad de la mezcla se reduzca notablemente; dicho efecto hace la permeabilidad de una muestra se vea mermada, por lo que en los sistemas de tierra no es muy conveniente reducir la permeabilidad, debido a que los materiales de esta naturaleza están en constante intercambio de vapor de agua.

Gracias a la fórmula para determinar el coeficiente de absorción se pudo documentar no solo este dato, sino también, el incremento de peso de cada muestra, su peso inicial y su peso final. Como se observa en la tabla 18 el material cuyo coeficiente de absorción fue mayor, es en la muestra de tierra-cal, en segundo lugar, se encuentra la muestra tierra-agua y por último la muestra que presentó el menor coeficiente de absorción fue la de tierra-mucílago.

| Muestra         | Peso inicial<br>(Pd) | Peso final<br>(Ps) | Incremento de<br>peso en gr | Coeficiente de<br>absorción % |
|-----------------|----------------------|--------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| Tierra-agua     | 50.7                 | 55.3               | 4.6 gr                      | 9.07 %                        |
| Tierra-mucílago | 43.9                 | 45.6               | 1.7 gr                      | 3.87 %                        |
| Tierra-cal      | 56.3                 | 63.1               | 6.8 gr                      | 12.07 %                       |

**Tabla 18.** Coeficiente de absorción de las muestras ensayadas por absorción capilar, se puede observar notablemente que la presencia de la cal hace que se incremente el coeficiente de absorción de una muestra. Fuente: Esmeralda Avila, abril del 2018.

#### 4.3.4 Conductividad térmica

La transferencia de calor de un material se caracteriza por la conductividad térmica y se representa por el valor  $\lambda$  W/(m<sup>2</sup>K). Este valor indica la cantidad de calor medida en watts/ m<sup>2</sup> que penetra en un muro de 1 m de espesor a una diferencia de temperatura de 1°C (Minke, 2001, pág. 38).

Esta prueba se realizó con el propósito de documentar el comportamiento térmico y la transferencia de energía de los revoques de tierra, y considerar comparativamente sus cualidades de confort higrotérmico dentro de un espacio, con respecto a otros materiales utilizados de manera convencional en la construcción, y que ya han sido estudiados.

Cabe mencionar que la conductividad es una de las propiedades más importantes para evaluar el desempeño térmico de un material. Este dato es referido como una propiedad de transporte, que provee una idea de velocidad con la que la energía es transferida por el proceso de difusión, la cual depende de la estructura física, atómica y molecular de un material, así como el estado de integralidad en el que se encuentre.

Se sabe que la tierra es un material con una alta masa térmica, característica que permite que se establezcan las temperaturas durante el día, contribuyendo de una forma natural a la refrigeración nocturna. Gracias a la apropiada inercia térmica de un material como la tierra se pueden evitar las alteraciones bruscas de la temperatura que pasan del exterior al interior de un espacio (The European Commission, 2010).

Previo a realizar en ensayo, se hicieron una serie de muestras con dos mezclas, mediante un molde de 20cm x 20cm hecho con aglomerado de madera con un espesor de 0.5 cm. Las mezclas utilizadas fueron, la tierra en su estado natural sin agregados de arena y tierra compensada con arena en proporción 1: 1,5 (tierra-arena), y estabilizada con el mucílago.

La prueba se realizó en un equipo especializado llamado, medidor de flujo de calor. El equipo se calibró con el patrón de calibración de fibra de vidrio con sección de 20cm x 20cm. Se usó como referencia la norma ASTM-E-1530 (2016).



**Figura 73.** Medidor de flujo de calor y material utilizado como patrón de calibración del equipo, ambos componentes utilizados para los ensayos de conductividad térmica. Fuente: Esmeralda Avila. Mayo del 2018.

Después de calibrar el medidor de flujo de calor, se procede a colocar la probeta dentro del equipo para posteriormente programar su proceso de medición. La primera muestra que se ensayo fue la de tierra-agua y su proceso de medición tardo 1 hora 19 minutos, para medir la siguiente muestra se tuvo que dejar descansar al equipo por 25 minutos para continuar con los trabajos. La segunda muestra de tierra-arena-mucílago tardo 1 hora con 4 minutos en calcularse.

En la siguiente tabla muestra los resultados obtenidos al realizar los ensayos de las dos muestras.

| Mezcla                             | Temperatura<br>(°C) | Conductividad<br>térmica<br>(W/(m°K)) | Resistencia<br>térmica<br>(m²K/w) | Temperatura<br>gradiente<br>(°K) | Tiempo de<br>análisis<br>(hrs) |
|------------------------------------|---------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|
| Tierra-agua                        | 19,91               | 0,050                                 | 0,098                             | 3981,40                          | 1:19                           |
| Tierra- arena-<br>mucílago (1:1,5) | 19,92               | 0,080                                 | 0,063                             | 3984,27                          | 1:04                           |

**Tabla 19.** Coeficiente de conductividad térmica de la tierra estabilizada con mucílago de opuntia. Fuente: Esmeralda Avila (junio del 2018)

Esta prueba se realizó como el referente acerca de un material que a la fecha no ha sido caracterizado. Este dato resulta relevante porque se sabe que, por ejemplo, el aluminio tiene una conductividad térmica de 237 W/(m°K), el hierro de 80 W/(m°K), mientras que el hormigón 0,128 W/(m°K), la madera de 0,13 W/(m°K) y el corcho de 0,03 W/(m°K) (Fernández-Diez, 1992, 394).

Entonces un recubrimiento hecho con tierra adicionada con mucílago con una conductividad de 0,080 W/m°K, a pesar de su reducido espesor, contribuye a lograr un comportamiento mejor que el del revoque de cemento y revestimiento de madera, acercándose al del corcho, material que se suele utilizar de manera convencional para regularizar las condiciones térmicas de las habitaciones, especialmente en regiones con climas extremosos.

Es importante señalar que materiales como el corcho o la madera tienen propiedades aislantes, pero carecen de una elevada inercia térmica como sí sucede con la tierra, por lo que esta cualidad ralentiza la respuesta de un espacio a los cambios en las temperaturas exteriores, manteniendo estables las del interior.

Esto permite suponer que un revoque de tierra dará una respuesta que mejora el confort térmico de un espacio, independientemente del material constructivo con el que hayan sido elaborados los muros. Está condición todavía se ve incrementada gracias a la propiedad higroscópica que poseen los recubrimientos de tierra, la cual permite equilibrar la humedad relativa de los espacios a partir del intercambio de vapor de agua. Entonces, la sensación higrótérmica de confort de las habitaciones se estabiliza.

#### 4.3.5 Absorción y liberación de humedad mediante tubo de Karsten

El ensayo de penetración de agua se realizó adaptando la norma DIN 1048, para precisar la cantidad de agua que ingresa, por tiempo y unidad de la superficie de cada muestra. El instrumento para realizar los ensayos fue un tubo de Karsten, que consiste en una cúpula metálica de 30 mm de diámetro unida con un tubo de cristal calibrado con graduación. Se sella la unión del tubo y la superficie de contacto con una masilla impermeable para evitar fugas y concentrar el flujo del agua. “Con este arreglo la columna de agua ejerce una presión en la superficie de 961,38 Pa. Esta presión corresponde a una acción de gotas de lluvia golpeando a la pared con una velocidad del viento estática de 140 km/h perpendicular a la superficie”.<sup>137</sup>

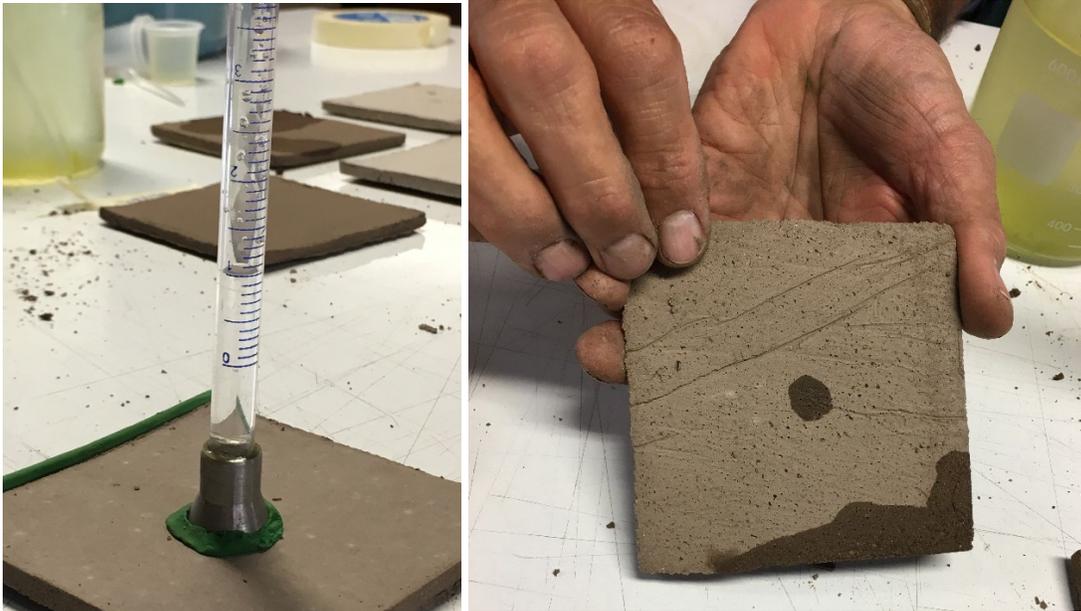
Para realizar el ensayo se utilizaron las probetas de tableta de 10 cm x 10 cm x 0.5 cm de espesor. Se realizaron cinco mezclas diferentes, quedando en el siguiente orden, mezcla 1 tierra-agua, mezcla 2 tierra-arena-agua, mezcla 3 tierra-arena-mucílago, mezcla 4 tierra-arena-cal 10 % y mezcla 5 tierra-arena-mucílago- cal 10%. Cada mezcla se realizó con diferentes dosificaciones y diluciones, para poder analizar el comportamiento de cada una ante la presencia de agua.



**Figura 74.** Probetas de tableta de 10 cm x 10 cm x 0.5 cm durante su proceso de secado. El periodo de secado fue de 14 días. Fuente: Esmeralda Avila, abril del 2018.

<sup>137</sup> Pérez, N. Ortiz, S. Bucio, L. Estudio de la absorción y transporte de agua en adobes prehispánicos con fines de conservación. Poster presentado en el XIV Congreso Internacional de Arquitectura de tierra, tradición e innovación. Ciudad de México, 2017.

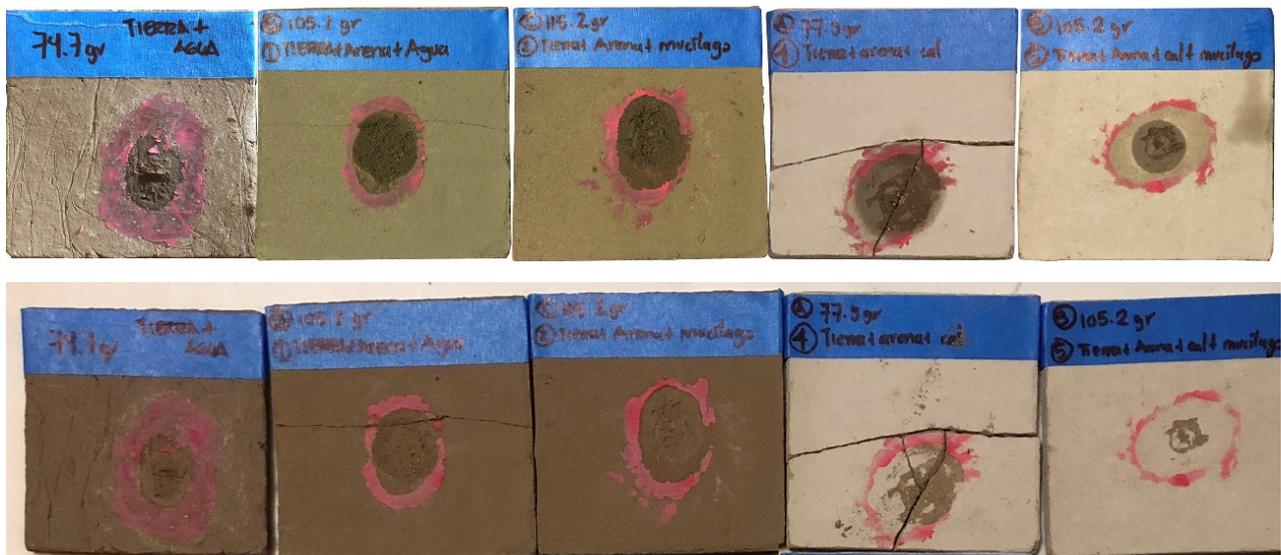
El ensayo consistió en cronometrar la absorción de agua en cada probeta durante un lapso de cuatro minutos, los mililitros absorbidos son observados en la graduación del tubo, pasado este tiempo el mismo es retirado e inmediatamente la probeta pasa a ser pesada para conocer la cantidad de agua contenida en su masa mediante el incremento de su peso en gramos siendo equivalencia a los mililitros absorbidos, este procedimiento se repite en cada una de las 5 probetas.



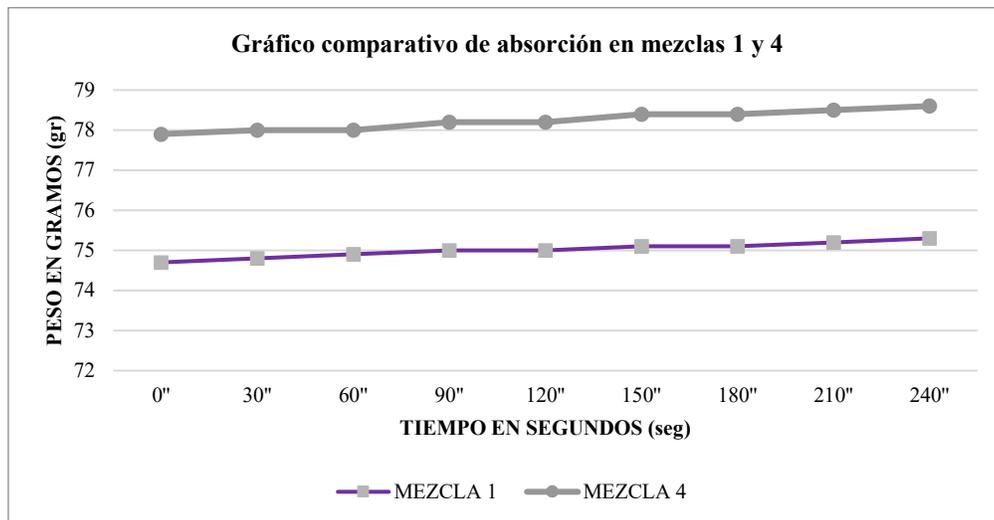
**Figura 75.** A la izquierda, Ensayo de absorción y liberación de agua con tubo de karsten. Derecha, probeta correspondiente a la mezcla 5 la cual contiene hidróxido de calcio y mucilago, se puede notar que esta no presenta erosión ante la presencia del agua. Fuente: Esmeralda Avila, julio del 2018.

Posteriormente de realizar el ensayo y poner a secar las probetas después de utilizar el tubo de karsten, se pudo observar que las probetas que contenían hidróxido de calcio daban una mejor respuesta al contacto con el agua (Figura 75), por lo que la erosión fue mínima, caso contrario a las probetas que carecen de este material, pues estas presentaron una erosión más notable. Entonces, se tiene como primer dato tentativo que la presencia de cal en las mezclas mejora las características de la tierra al contacto con el agua.

Con este ensayo se obtuvo la información necesaria para graficar y analizar el comportamiento de cada mezcla, con lo cual se observó que la presencia de cal incrementa la absorción de agua, al igual que la probeta de tierra en estado natural (mezcla 1) que se tienen como referente primario, sin embargo, la presencia de mucilago en la mezcla reduce notablemente la absorción (Figura 76).



**Figura 76.** Parte superior, ensayo de absorción: mezclas 1 a la 5, donde se observa el área de contacto de la probeta con la boca del tubo después de ser retirado, el desgaste del material y la evidencia del flujo del agua. Parte inferior, ensayo de liberación de humedad: mezclas 1 a la 5, donde se observan las probetas después de haber liberado el agua contenida. Fuente: Esmeralda Avila (Julio del 2018)



**Figura 77.** Gráfica en donde se muestra el comportamiento de las mezclas 1 y 4, en donde se observa el incremento de peso de las probetas por la cantidad de agua absorbida en un lapso de 4 minutos. Fuente: Esmeralda Avila (julio del 2018)

Se tiene como parámetro la probeta 1, correspondiente a la tierra en su estado natural. De acuerdo con el incremento de peso las mezclas se agruparon en; las que mayor cantidad de agua absorben (mezcla 1 y 4), a las que, menor cantidad de agua absorben (mezcla 3 y 5).

Respecto a este ensayo el mejor comportamiento lo presentan las probetas que contienen el mucilago y mucilago en combinación con cal (mezclas 3 y 5), es decir, no absorben la mayor cantidad de agua lo que es importante para mantener la estabilidad de los elementos, ni tampoco absorben la mínima cantidad de agua ya que como se ha dicho, no se pretende lograr recubrimientos impermeables.

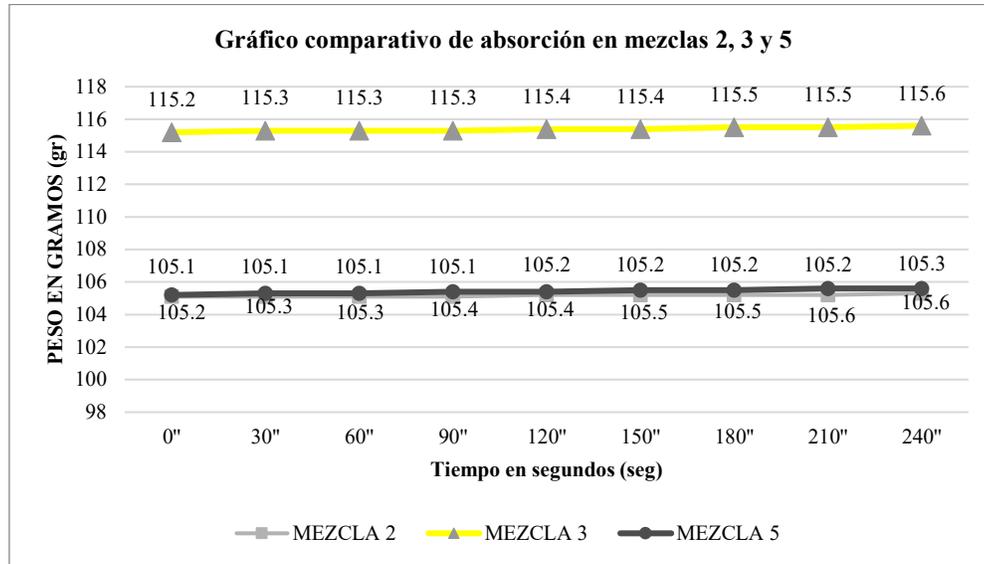


Figura 78. Grafica en donde se muestra el comportamiento de las mezclas 2, 3 y 5 en donde se observa el incremento del peso de las probetas por la cantidad de agua absorbida en un lapso de 4 minutos. Fuente: Esmeralda Avila (julio del 2018)

| Núm. de Mezcla | Peso inicial en gramos | Peso final en gramos | Incremento en gramos |
|----------------|------------------------|----------------------|----------------------|
| 1              | 74.2                   | 75.3                 | 6                    |
| 2              | 105.1                  | 105.3                | 2                    |
| 3              | 115.2                  | 115.6                | 4                    |
| 4              | 77.9                   | 78.6                 | 7                    |
| 5              | 105.2                  | 105.6                | 4                    |

Tabla 20. Incremento en gramos a partir de las probetas en estado seco y posterior aplicación de agua con tubo Karsten. Fuente: Esmeralda Avila (julio del 2018)

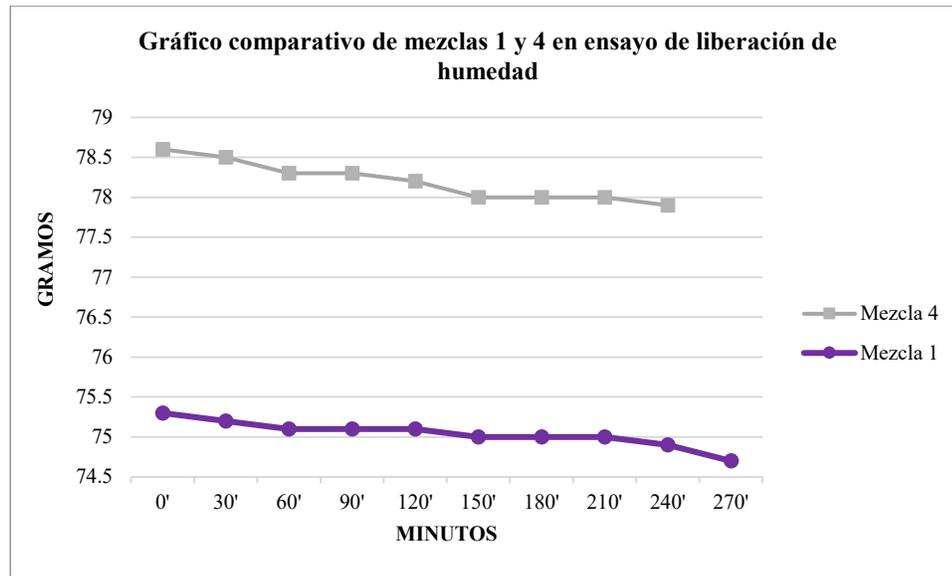
Dado el alto contenido de arcilla que presenta la mezcla 1 tierra-agua, al no estar estabilizada con volúmenes de arena, fue una de las muestras que mayor cantidad de agua absorbió, en consecuencia, la estabilización se vuelve necesaria para evitar problemas de retracción y fisuras y al mismo tiempo, para lograr recubrimientos resistentes e higroscópicos.

Como complemento al ensayo de absorción se realizó un ensayo de liberación de humedad, este ayudó a conocer el comportamiento de las mezclas al liberar paulatinamente el agua absorbida previamente hasta llegar al estado inicial, es decir; hasta que la mezcla se encuentre seca totalmente.

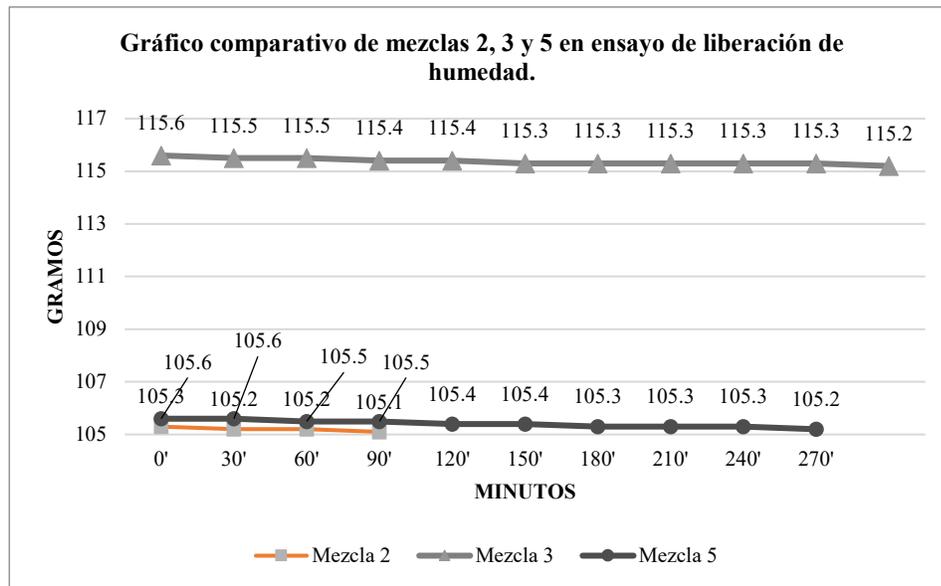
Cabe aclarar que para que ambos ensayos arrojaran resultados confiables, el área de trabajo estuvo bajo condiciones controladas, teniendo así 25 °C con una humedad relativa del 66% sin presencia de viento. El ensayo consiste en pesar cada probeta inmediatamente terminado el ensayo de absorción, la probeta es pesada cada 30 minutos hasta que esta llegue a su peso inicial, por lo tanto, el peso se mantendrá constante indicando que la probeta ha liberado el agua contenida.

Al terminar de monitorear el secado progresivo de cada mezcla, se generó una gráfica con tendencia decreciente (figuras 79 y 80) contraria a la obtenida en el ensayo anterior, esta gráfica permitió conocer y comparar el comportamiento y la variación de tiempo entre el secado de cada probeta, la línea de tendencia de la misma forma indica si la liberación de humedad se da de manera constante o intermitente.

Con esto se obtiene que el rango de tiempo entre el secado más rápido y el más lento va de los 90 minutos hasta los 300 minutos, lo que permitió agrupar las muestras en; las que liberan más rápido la humedad: probeta 2, medianamente: probetas 1, 4 y 5, y lentamente: probeta 3 (tabla 21). Resulta importante destacar que el mucilago retiene más tiempo la humedad, pero con la presencia de cal se mejora su comportamiento acelerando ligeramente la liberación de agua y a su vez generando una mezcla más estable.



**Figura 79.** Liberación de humedad. Gráfica que muestra la pérdida de peso en gramos equivalente al agua contenida (En el ensayo de absorción) hasta llegar al peso inicial que corresponde a la probeta en estado seco, mezclas 1 y 4 Fuente: Esmeralda Avila (julio del 2018)



**Figura 80.** Liberación de humedad. Gráfica que muestra la pérdida de peso en gramos equivalente al agua contenida (en el ensayo de absorción) hasta llegar al peso inicial que corresponde a la probeta en estado seco, mezclas 2,3 y 5. Fuente: Esmeralda Avila (julio del 2018)

| Núm. de Mezcla | Peso inicial en gramos | Peso final en gramos | Tiempo en secar (minutos) |
|----------------|------------------------|----------------------|---------------------------|
| 1              | 75.3                   | 74.2                 | 270                       |
| 2              | 105.3                  | 105.1                | 90                        |
| 3              | 115.6                  | 115.2                | 300                       |
| 4              | 78.6                   | 77.9                 | 240                       |
| 5              | 105.6                  | 105.2                | 270                       |

**Tabla 21.** Liberación de humedad. Minutos que toma cada probeta en liberar el agua absorbida y llegar a su peso inicial en estado seco. Fuente: Esmeralda Avila (julio del 2018)

La liberación más rápida se dio en la mezcla 2 que solo es estabilizada con arena, a primera instancia este tipo de mezcla sería la que menor cantidad de agua absorbió lo que nos daría un recubrimiento con un comportamiento higroscópico inestable, sumándole que al contacto con el agua no es resistente. La liberación más lenta la presenta la mezcla 3 que es estabilizada con arena y mucilago, lo que resulta inconveniente ya que al retener la humedad durante un lapso prolongado de tiempo y no ser lo suficientemente resistente al contacto con el agua pone en riesgo la estabilidad del elemento.

A su vez, se observó que las mezclas que presentan un mejor comportamiento son la 1,4 y 5, sin embargo, se tiene el inconveniente que la mezcla 1 al no estar estabilizada es totalmente vulnerable al entrar en contacto con el agua lo que la descarta como una posibilidad para generar un recubrimiento, dejando como conclusión que las mezclas 4 y 5 resultan más favorables, sumando a esto que tienen la cualidad que al contener hidróxido de calcio su resistencia al agua es favorable.

Este tipo de ensayos son dependientes uno del otro, ambos ayudan a conocer qué mezclas tienen el comportamiento más adecuado al momento de absorber y liberar la humedad, lo que es fundamental para desarrollar componentes compatibles y resistentes al contacto con el agua y vapor de agua. En este sentido la mezcla con mejor respuesta a ambos ensayos es la 5, estabilizada con arena, mucilago y cal. Posterior a esto, las mezclas deberán ser analizadas al ser expuestas al

exterior en tres diferentes superficies en condiciones reales climatológicas, para posteriormente comparar resultados y exponer las que mejor comportamiento presenten.

#### 4.4 Recubrimientos al exterior y evaluación sobre diferentes superficies

Hoy en día, una de las razones por las que se busca mejorar las mezclas en los recubrimientos de tierra es, para ver su viabilidad de aplicación sobre superficies expuestas a la intemperie y, por lo tanto, a las inclemencias del clima. La finalidad es tener recubrimientos lo suficientemente resistentes ante los agentes antrópicos y atmosféricos a los que estén expuestos.

El uso de los recubrimientos en las edificaciones antiguas era común, pues siempre ha existido la necesidad de dar una protección superficial a las estructuras, lo que daba como resultado que la selección de materiales y su aplicación a las superficies fuera tarea bien dominada de manera práctica en la cultura constructiva. Sin embargo, como ya se ha venido mencionando, estas prácticas con el paso de los años se han ido mermando, sumado a eso que la llegada de materiales industrializados provocó también que poco a poco vayan desapareciendo, particularmente cuando se habla de tierra.

En consecuencia, se hace necesario el empleo de métodos que ayuden a conocer el comportamiento de los revoques antes de ser llevados a la práctica constructiva. Si bien, las diferentes mezclas han sido analizadas, en su retracción volumétrica, absorción y liberación de humedad, resulta importante conocer su trabajabilidad, adherencia y respuesta a factores climatológicos.

El ensayo consistió en aplicar a tres superficies diferentes los revoques de tierra con diferentes mezclas y proporciones, esto ayudó a conocer y analizar si los recubrimientos son compatibles y al mismo tiempo, para observar las respuestas que presentaron al estar bajo condiciones climatológicas reales tales como; viento, lluvia, y rayos solares. Este comportamiento se documentó para diferentes superficies, bloques de cemento, ladrillo cocido y adobe. El procedimiento consistió en colocar cada mezcla de 15 cm x 15 cm x 1cm de espesor sobre la

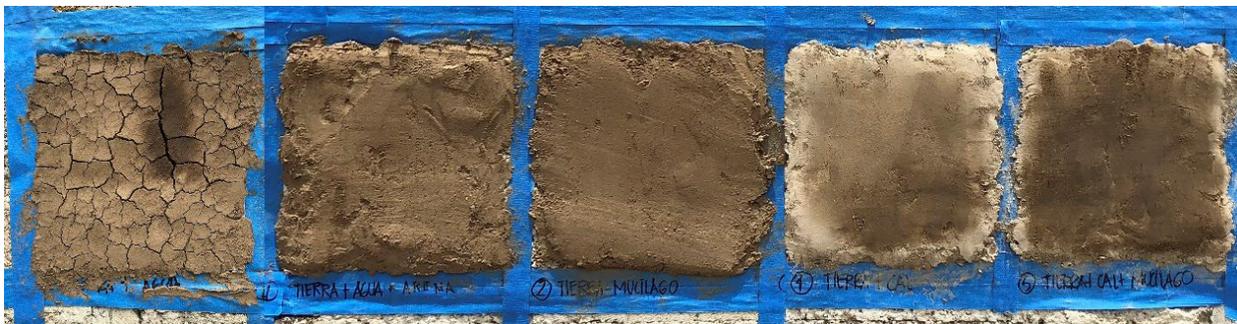
superficie con una llana metálica, cada área estaba delimitada y tenía la misma orientación, el monitoreo se realizaba a diario, con el fin de obtener la mayor información de carácter cualitativo.

El orden de las mezclas que se aplicaron a las diferentes superficies se muestra en la tabla 22.

| No. Mezcla | Descripción de probeta de revoque         |
|------------|---|
| 1          | Tierra + agua                             |
| 2          | Tierra + arena + agua                     |
| 3          | Tierra + arena+ agua + mucílago           |
| 4          | Tierra + arena+ agua + cal 10%            |
| 5          | Tierra + arena+ agua + cal 10% + mucílago |

**Tabla 22.** Orden de las probetas aplicadas sobre superficies de bloques de cemento, adobe y tabique rojo. Fuente: Esmeralda Avila, julio del 2018.

Las primeras mezclas que se aplicaron fueron sobre una superficie de bloques de cemento. Después de aplicar los revoques sobre la superficie se pudo observar, que las probetas que presentaron mejor adherencia son la mezcla 1, que corresponde a la tierra en su estado natural, y las probetas 4 y 5 ambas con presencia de cal y cal con mucílago respectivamente, seguidas de una adherencia menor las mezclas 2 y 3. Es decir, que la presencia de la cal le brinda una mejor adherencia a la mezcla.



**Figura 81.** Probetas de revoque sobre bloques de cemento, se muestra el comportamiento pasadas un par de horas después de su aplicación. Fuente: Esmeralda Avila, junio del 2018.

Resulta importante aclarar que la mezcla 1 al ser una tierra altamente arcillosa presenta una mayor adherencia, sin embargo, por la gran cantidad de arcilla que constituye este tipo de tierra, su agrietamiento en las tres superficies es casi inmediato.

Un revoque de tierra no debe mostrar fisuras, pero si una gran resistencia a la abrasión. Por lo tanto, si se parte de una tierra con un alto contenido de arcilla como es el caso de mezcla 1, entonces ésta debe compensarse con arena o algún tipo de aditivo. Lo cual ocurre con el resto de las mezclas, es decir la mezcla 1 se tomó como patrón de referencia primario para poder determinar las cantidades de arena a utilizar para mejorar la mezcla y los posibles aditivos que se podían emplear.

La mejor maleabilidad y trabajabilidad la presentaron las mezclas 3, 4 y 5, la primera conteniendo mucílago, la segunda conteniendo cal y la última en combinación de cal y mucílago, el material es bastante trabajable, no se adhiere a las herramientas metálicas y se aplica fácilmente a la superficie, se puede decir que el mucilago le otorga una mejor manipulación al material gracias a su viscosidad.



**Figura 82.** Probetas que presentaron una mejor trabajabilidad y manejabilidad al ser aplicadas. De izquierda a derecha, mezcla 3 tierra-arena-mucílago, mezcla 4 tierra-arena-cal y mezcla 5 tierra-arena-cal-mucílago. Fuente: Esmeralda Avila, junio del 2018.

Las mezclas más difíciles de manipular son la 1 y 2, por un lado, la tierra sin estabilizar tiene una excelente adherencia a la superficie, pero debido a su alta plasticidad, se vuelve un material bastante pegajoso y termina por adherirse a las paredes de las herramientas metálicas, por lo tanto, la manipulación se vuelve complicada. Mientras tanto, la mezcla 2 la cual ya se encuentra

compensada con arena se vuelve vulnerable a la manipulación, es decir, debido a la porosidad se disgrega y por lo tanto presenta una limitada adherencia.

La superficie de bloque de cemento tiene la particularidad que al ser más rugosa y porosa que las otras dos superficies, la mezcla se adhiere de mejor manera. En la siguiente tabla se describe el comportamiento de los revoques pasados 90 días, correspondientes a los meses de junio a agosto.

| Mezcla                                 | Probeta pasados 90 días   | Descripción  |
|--|---|--|
| <p><b>1. Tierra-agua</b></p>           |   | <p>Muestra 1 utilizada como patrón primario de comparación, presento una notable retracción la cual se vio reflejada en el prominente agrietamiento que reflejo al paso de 90 días de exposición a la intemperie. Por lo que un revoque con este tipo de mezcla no resultaría adecuado ya que no es capaz de soportar las inclemencias del clima y su grado de erosión es muy elevado.</p> |
| <p><b>2. Tierra-arena-agua</b></p>     |  | <p>Mezcla compensada con arena, presento un grado de erosión notable perdiendo aproximadamente el 50 % del material total. No presentó retracción después de su aplicación ni durante su secado, pero sí una erosión notable con el paso de los meses.</p>   |
| <p><b>3. Tierra-arena-mucílago</b></p> |  | <p>Mezcla compensada con arena y estabilizada con mucílago de opuntia. No presentó retracción durante su secado, pero su grado de erosión hizo que se perdiera casi el 30 % del material total.</p>  |

**Tabla 23.** Descripción de probetas de revoque aplicadas sobre bloques de cemento transcurridos 90 días. Fuente: Esmeralda Avila, agosto del 2018.

| Mezcla                       | Probeta pasados 90 días   | Descripción  |
|------------------------------|---|--|
| 4. Tierra-arena-cal          |   | Mezcla compensada con arena y estabilizada con el 10% de hidróxido de calcio con relación al volumen total de la mezcla. Esta muestra presento una respuesta favorable a la lluvia, cambios de temperatura, viento, rayos solares y al paso de 90 días no mostro fisuras ni retracción volumétrica. Esta mezcla puede ser favorable para ser aplicada como revoque tanto en interiores como en exteriores. |
| 5. Tierra-arena-cal-mucilago |  | No presento fisuras, ni retracción volumétrica. Presento una gran capacidad de adherencia y un grado de erosión mínimo casi nulo. Esta mezcla fue la que otorgo los mejores resultados ante los factores atmosféricos, así como también presento una buena manejabilidad al momento de su aplicación.  |

**Tabla 24.** Descripción de probetas de revoque aplicadas sobre bloques de cemento transcurridos 90 días. Fuente: Esmeralda Avila, agosto del 2018.

Por otro lado, al aplicar los revoques sobre la superficie de adobe, el secado de estos fue más rápido, esto se debió a que el adobe absorbió parte del agua contenida en las mezclas. La probeta con resultados más desfavorables fue la mezcla 1, pues al paso de 30 segundos de ser aplicada sobre el adobe, está ya presentaba un severo agrietamiento y no logro mantenerse sobre la superficie por mucho tiempo. Sobre este tipo de superficies las probetas 4 y 5 presentan el mejor comportamiento ante los factores climatológicos, pues estas no presentaron pérdida de material ni fisuras, por su parte las probetas 2 y 3 han presentado una severa erosión llegando a perder más del 50% del material.



**Figura 83.** Probetas de revoque sobre adobes. Parte superior, se muestra el comportamiento pasadas un par de horas después de su aplicación. Parte inferior, se muestra el comportamiento pasados 90 días después de estar sometidas al clima de verano con un alto índice de lluvias. Fuente: Esmeralda Avila (agosto del 2018)

Para el caso de la superficie de ladrillo cocido, los revoques presentaron problemas de adherencia, debido a que la porosidad de este tipo de superficie es menor respecto a las dos anteriores, como resultado, el secado se dio más lento. Sin embargo, pasadas un par de horas el agrietamiento en la probeta 1 era bastante notorio y al menos 48 horas después de la aplicación la mezcla ya presentaba desprendimiento de al menos 80% del material.

Transcurridos los 90 días de monitoreo, las probetas que presentan la mejor respuesta a la lluvia, cambios de temperatura, viento, rayos de sol y sin mostrar fisuras son las mezclas 4 y 5, ambas no presentan signos de erosión ni pérdida de material, por su parte la mezcla 3 ha presentado una erosión considerable desprendiéndose de la superficie al menos en un 80%, la mezcla 2 se ha erosionado al menos 2 mm perdiendo aproximadamente un 50% del material y la mezcla 1 ha sido desprendida en casi un 100%. Esto se puede observar a mayor detalle en la figura 84.



**Figura 84.** Probetas de revoque sobre ladrillo. Parte superior, se muestra el comportamiento pasadas un par de horas después de su aplicación. Parte inferior, se muestra el comportamiento pasados 90 días después de estar sometidas al clima de verano con un alto índice de lluvias. Fuente: Esmeralda Avila (agosto del 2018)

Como resultado y en complemento a los ensayos anteriores, se tiene que la mezcla que tuvo un mejor comportamiento fue la 5 (tierra: arena: mucilago: cal10%) presentando una retracción del 0%, absorbiendo y liberando el agua de manera más estable, además de presentar una adherencia y maleabilidad aceptable y al estar expuesta a condiciones climatológicas severas, se mantiene intacta y sin daño perceptible en las diferentes superficies. Seguida ligeramente de la probeta 4 que no presenta retracción volumétrica, es maleable y adherible, aunque absorbe más rápido el agua su estabilidad y resistencia no se ven alteradas, soportando las condiciones climatológicas a las que ha sido expuesta en las diferentes superficies.

### **Logros, conclusiones y consideraciones finales.**

Los revoques de tierra han sido componentes utilizados desde épocas ancestrales para proteger las superficies de tierra. Durante años se ha buscado mejorar las mezclas para obtener revoques más estables, resistentes y duraderos, por lo que, el uso de materiales estabilizantes que mejoren las condiciones de los revoques no es nuevo, ya que su origen data de la época prehispánica. Pues como ya se estudió en capítulos anteriores, los pobladores de estas culturas utilizaban diferentes mucílagos que agregaban a sus morteros para mejorar sus enlucidos. Este principio del uso de mucílagos como agentes aglutinantes se ve reflejado actualmente en el campo de la restauración.

Los recubrimientos de tierra estabilizada son aquellos que además de tierra contienen otros aglutinantes que los hacen más duraderos y resistentes al estar expuestos a la intemperie. Por tanto, en los ensayos realizados se buscó no sólo obtener un revoque con las condiciones adecuadas de adherencia y resistencia, sino también, que fuera compatible con otro tipo de superficies es por esto por lo que parte de los ensayos se realizaron en superficies distintas a la tierra.

A primera instancia se determinó que, el mucílago de *Opuntia ficus* le confiere mejores condiciones a las mezclas que se utilizan para realizar revoques si se dejan reposar por más tiempo. Un ejemplo de estos tiempos de reposo para el mucílago se ve en las pinturas tradicionales a la cal o también conocidas como encalados, pues en algunas regiones del país se utiliza el mucílago de *opuntia* para formar dicho tipo de pinturas. Sin embargo, este factor del tiempo de reposo va ligado al tipo de extracción que se realice para obtener el mucílago.

La manera tradicional de extraer el mucílago de *opuntia* en las culturas constructivas es, cortando en pequeños cubos la planta de nopal, dichos cubos se dejan reposar en un recipiente con agua por un periodo máximo de dos días. Por lo que se puede establecer que el tiempo de reposo estándar para el mucilago es de 48 horas. Aunque este tipo de extracción tradicional resulta poco conveniente ya que genera un gran desperdicio de la materia prima, ya que todo el mucílago se queda contenido dentro de los trozos del nopal; aunado a esto, los trozos de nopal al entrar en contacto con el agua al paso de unas horas comienzan a fermentarse y por lo tanto a pudrirse.

Asimismo, se buscó un tipo de extracción que generará menores cantidades de desperdicio, por lo que se realizó un tipo de extracción en seco; que consiste en cortar la planta de nopal por la mitad y raspar las paredes de la pulpa para obtener el mucílago. Con esto se obtiene un mucílago más puro y no se desperdicia ni la materia prima ni cantidades de agua potabilizada. El tipo de extracción en seco confiere una mayor eficiencia en el manejo de la materia prima en comparación con el agua de mezclado, obteniendo así un mayor aprovechamiento y menor desperdicio de agua.

Adicionalmente, se dio continuidad a la investigación con respecto a los tiempos de reposo del mucílago, pues en investigaciones realizadas en los últimos meses se observó que al dejar reposar por más tiempo el mucílago, este mejoraba tanto la consistencia de la mezcla como el ahorro de agua durante su proceso de amasado. Así que se llegó a la conclusión de, que para que una solución mucílago-agua tenga una buena concentración, es necesario dejar reposar al menos por 72 horas. De otro modo si no se le da un tiempo de reposo al mucílago este no realiza ninguna reacción con la tierra, es decir, entre mayor tiempo de reposo se le da al mucílago aumenta su viscosidad lo que ayuda para el ahorro del agua y la buena trabajabilidad y manejabilidad de las mezclas.

Sin embargo, en todos los ensayos realizados, se determinó que la mezcla a la que se le agregó mucílago e hidróxido de calcio fue la que confiere mejores resultados. Pues esta no solo actúa de manera adecuada ante la acción del agua, sino también se adecuó a diferentes superficies y sobre todo resistió las inclemencias del clima. Esta mezcla no tuvo erosión y gracias a la presencia del mucílago su secado se dio más lento por lo que permitió un buen intercambio de vapor de agua y un fraguado lento, parecido al de las pastas mayas para sus pinturas murales.

Por otra parte, en los ensayos de absorción capilar se confirmó que el material con mucílago no pierde su porosidad, pero sí disminuye radicalmente la velocidad de flujo del agua en estado líquido. El caso contrario, ocurrió con el hidróxido de calcio pues este material incrementa la porosidad del material, provocando que aumente la velocidad de flujo del agua, este fenómeno resulta conveniente ya que se busca que los revoques no sean impermeables y que permitan una constante evapo-transpiración.

Con respecto a la capacidad térmica del material con mucílago resulta mejor que la madera y el hormigón y se acerca a las condiciones del corcho. Este aspecto vinculado al concepto de inercia

térmica hace que los recubrimientos de tierra con mucílago resulten altamente competitivos para el equilibrio de la temperatura de los espacios, independientemente del material con el que se hayan edificado sus muros. De este modo se abre la posibilidad de emplear revoques de tierra con mucílago sobre paredes de ladrillo o de block de cemento mejorando tanto su imagen como las condiciones de confort al interior.

Finalmente, los resultados obtenidos en las pruebas a compresión, se pudo determinar que las resistencias más altas se consiguen con la tierra en su estado natural, esto obedece a que su consistencia fue mayor que la del resto de las probetas. El decremento en la capacidad de carga del material está asociado a una menor densidad la cual justamente habla de su potencial como recubrimiento al permitir un adecuado flujo de vapor de agua con el entorno por lo tanto de regular el comportamiento higrotérmico del sistema. Esta menor resistencia comparativa también permite suponer un comportamiento más plástico ante vibraciones y deformaciones como las que caracterizan por ejemplo a los sismos.

En la arquitectura de tierra en general y en particular para los revoques hechos con este material existen dos factores que siempre resultan preocupantes, uno es el efecto derivado de la acción del agua líquida y el otro derivado del vapor. La tierra en contacto con el agua se expande, en cambio con la influencia del vapor ésta absorbe la humedad, pero permanece sólida manteniendo su rigidez, y sin variar su expansión es capaz de balancear la humedad del aire al interior de los espacios. Un elevado valor de absorción y liberación de humedad influye de manera determinante en el balance de la humedad de un ambiente interior.

De forma general se puede afirmar que todo material poroso, posee una humedad característica, denominada equilibrio en el contenido de humedad, la cual depende de la humedad del aire del ambiente, de forma que, a mayor cantidad de humedad, mayor será la cantidad de agua que absorberá el material, y a su vez, este libera agua si se reduce la humedad del aire.

Sin embargo, el agua es uno de los componentes más complicados de gestionar dentro de los procesos de construcción con tierra. Por una parte, su presencia es crucial para la elaboración de los sistemas constructivos porque permite activar las arcillas y por lo tanto cambiar la forma, densidad y comportamiento de la tierra.

Todo componente de la edificación con tierra requiere mantener un equilibrio en la cantidad de agua que contiene. Si está demasiado húmedo es muy probable que cambie su forma y resistencia, pero lo mismo puede suceder con la falta de agua. Los componentes constructivos que se resecan pierden consistencia y son fácil presa de la abrasión mecánica y la erosión.

A lo largo de la historia se han probado diferentes recursos para la protección superficial de las estructuras, las cuales se han diseñado pensando en que, los revoques poseen una condición de piel protectora ante los posibles embates de los fenómenos climatológicos que concentran agua, deben simultáneamente contar con un nivel de resistencia tal que evite en la medida de lo posible el ingreso de la humedad en los sustratos edificados.

Esto hace que los revoques requieran tener un nivel tal de porosidad que limite en la medida de lo posible el paso directo del agua hacia el interior de la edificación pero que simultáneamente cuente con el nivel de permeabilidad necesaria para propiciar una pronta evaporación del agua que recibieron.

A partir de la ingenua lógica de la “impermeabilización total” que ha caracterizado a la edificación derivada del funcionalismo y del uso de materiales vinculados al cemento portland y a los polímeros sintéticos, se suponía que lo mejor que se podía prever para una estructura era evitar por completo el ingreso del agua.

No obstante, otro aspecto que se considera importante tomar en cuenta es la composición granulométrica, dado que es una de las características que se deben tener muy en cuenta, ya que de ésta depende la influencia que ejerce en el comportamiento del material. Para el caso de esta investigación se utilizó una tierra con una composición granulométrica bastante arcillosa con el propósito de mejorarla y ver su viabilidad de aplicación como un revoque, no sólo sobre superficies térreas sino también (como bien se mencionó) sobre fábricas de ladrillo o bloques de cemento.

Si bien este principio puede tener cierto nivel de éxito para algunos materiales de origen industrializado, la realidad es que el resto de los componentes constructivos de origen natural como la madera, la piedra y la tierra, requieren un intercambio constante de aire y agua con el entorno circundante. De lo contrario su estabilidad se ve fuertemente condicionada porque una excesiva acumulación de agua los conduce a procesos de deterioro que a la larga los destruyen.

Como se mencionó párrafos arriba los recubrimientos de los materiales porosos requieren también tener poros para controlar el ingreso del agua, pero también para propiciar su salida paulatina en forma de vapor. Los estudios realizados durante esta investigación demuestran cómo el uso del mucílago de nopal en compañía del hidróxido de calcio mejora las cualidades de los revoques aplicados al exterior, no solo tiene un buen comportamiento y adherencia sobre superficies de tierra, sino que también respondió favorablemente a las superficies de ladrillo cocido y bloques de cemento.

El caso del mucílago de *opuntia* de manera muy particular retarda la velocidad de ingreso del agua, pero por otra conserva el potencial de evapotranspiración de los componentes constructivos. Esta cualidad se reforzó y mejoró al adicionar hidróxido de calcio a la mezcla, lo que trajo como resultado un mejor comportamiento del recubrimiento tanto en la liberación de humedad como su exposición a la intemperie. Lo que demuestra que ambos componentes son buenos y que por años han demostrado su eficacia, pero actúan de mejor manera si trabajan en conjunto.

Resulta importante primeramente, entender y llevar a ensayos todo lo existente de aquellos saberes relacionado a los sistemas de revoques y materiales tradicionales, en primera instancia para que ayuden a la conservación de las edificaciones de tierra, pero al mismo tiempo, que sirvan como medio de aplicación para aquellas superficies que se dejan sin ninguna protección; como es el caso de la vivienda popular y la autoconstrucción, que dejan sus viviendas sin recubrir debido a los altos costos de los materiales convencionales para recubrimiento, como cemento, pinturas sintéticas y pastas.

Asimismo, el tema de recubrimientos de tierra y los procesos para la estabilización de este material, abre un abanico de posibilidades hacia diferentes líneas de investigación. En el caso particular, se ha abierto la posibilidad de implementar nuevos materiales que resulten sostenibles y compatibles no solo para la arquitectura de tierra sino para otro tipo de superficies porosas.

**Índice de figuras**

**Figura 1.** Torre warka. Fuente: warkawater.org..... 6

**Figura 2.** Árbol Warka. Fuente: inhabitat.com/nature-inspired-warkawater-towers-use-condensation-to-collect-drinking-water-in-ethiopia. .... 7

**Figura 3.** Croquis que utilizó Leonardo Da Vinci, inspirado por las alas de algunas aves y mamíferos como el murciélago, los inventos que realizó fueron muy adelantados para su época, pero en tiempos posteriores ayudaron a muchos ingenieros y matemáticos al desarrollar estas ideas. Fuente: ingaeronautica.wordpress.com/2010/10/28/las-maquinas-voladoras-de-leonardo-da-vinci. .... 8

**Figura 4.** Dórico, jónico y corintio, los tres órdenes de la arquitectura clásica griega, donde la naturaleza fue la principal inspiración para el diseño de estas. Fuente: www.nationalgeographic.com.es/historia/grandes-reportajes/dorico-jonico-y-corintio-tres-ordenes-griegos\_12757..... 11

**Figura 5.** Detalle de los balcones de la casa Batlló en Barcelona España, la arquitectura de Gaudí era una inspiración de la naturaleza. Fuente: Archivo propio de la autora. .... 12

**Figura 6.** Interior de la Sagrada Familia, en Barcelona España. Fuente: barcelonasecreta.com ..... 12

**Figura 7.** Interior de la Biblioteca Vasconcelos, en la Ciudad de México. Fuente: masdemx.com ..... 13

**Figura 8.** Esquema de la metodología biomimética. Elaboración propia de la autora, adaptado de: Biomimicry Guide (2017)..... 15

**Figura 9.** Estructura de una epidermis humana, se puede observar las capas o estratos que constituyen a una epidermis. Adaptado de: www.newgelplus.com/blog/2017/10/13/three-layers-skin-functions..... 17

**Figura 10.** A la izquierda, detalle de la piel de una víbora, a la derecha, detalle del pabellón diseñado por el arquitecto Daniel Libeskind para expo mundial de Milán 2016. Fuente: Elaboración propia de la autora. .... 19

**Figura 11.** Factores predominantes que constituyen un acabado arquitectónico. Fuente: Elaboración propia de la autora, 2018. .... 26

**Figura 12.** Incompatibilidad de materiales por combinación de sistemas constructivos, concreto y adobe. Fuente: Archivo propio de la autora. 2019..... 35

**Figura 13.** Desprendimiento de revoques de cemento y daños causados sobre la estructura de tierra. Fuente: Luis F. Guerrero. 2018. .... 36

**Figura 14.** Vivienda popular en Apan Hidalgo, se puede notar que las viviendas se dejan al descubierto quedando en obra negra. Fuente: Archivo propio de la autora, 2019..... 38

**Figura 15.** Contraste entre la vivienda popular rodeada de edificios. Vista panorámica desde la avenida constituyentes. Fuente: Archivo propio de la autora, 2016. .... 41

**Figura 16.** Zigurat en la Ciudad de Ur Mesopotamia (hoy Irak). Fuente: www.ancient-origins.net/mesopotamia-sumeria-001292..... 45

**Figura 17.** Izquierda, técnica constructiva de Superadobe, implementada por el arquitecto Nader Khalili, para poblar la luna y el planeta Marte. Fuente: www.ranchouha.mx/en/event/superadobe-nov2017/..... 46

- Figura 18.** Patrón geométrico de los revestimientos de las viviendas Tolek, construidos con tierra. Fuente: [www.archdaily.mx/mx/02-320922/arquitectura-vernacula-viviendas-musgum-en-camerun](http://www.archdaily.mx/mx/02-320922/arquitectura-vernacula-viviendas-musgum-en-camerun). ..... 49
- Figura 19.** La tradición Burkinesa de decorar las viviendas ha sido un acto ceremonial que se ha realizado generación tras generación. Fuente: [www.traveladventures.org/continents/africa/tiebele-painted-houses03.htm](http://www.traveladventures.org/continents/africa/tiebele-painted-houses03.htm). ..... 50
- Figura 20.** Mapa en donde se muestran algunos recubrimientos con materiales naturales en el mundo. Fuente: archivo propio de la autora, 2018. .... 53
- Figura 21.** Texturas creadas con la técnica de estuco veneciano. Fuente: [reformaster.es/material/como-decorar-las-paredes-con-estuco-decorativo](http://reformaster.es/material/como-decorar-las-paredes-con-estuco-decorativo). ..... 55
- Figura 22.** Interior de dos Hammames marroquíes. Fuente: [www.hoteles.com/ho733289504/riad-meriem-marrakech-marruecos/](http://www.hoteles.com/ho733289504/riad-meriem-marrakech-marruecos/). ..... 57
- Figura 23.** Texturas y colores que se pueden obtener con la técnica de tadelakt. Fuente: [www.thesustainablehome.net/img\\_4492/](http://www.thesustainablehome.net/img_4492/). ..... 58
- Figura 24.** Patrones geométricos de los murales llamados litemas o ditemas, originarios del sur de África. Fuente: [www.designindaba.com/articles/point-view/geometric-designs-basotho-called-litema](http://www.designindaba.com/articles/point-view/geometric-designs-basotho-called-litema). ..... 62
- Figura 25.** Texturas del acabado rugoso arakabe y el acabado fino shikkui. Fuente: [www.kusuminaoki.com](http://www.kusuminaoki.com). ..... 65
- Figura 26.** Kusumi Naoki aplicando el recubrimiento arakabe sobre entramado de bambú. Tomado de: [kusuminaoki.com](http://kusuminaoki.com). ..... 66
- Figura 27.** Huaca de la luna, vista de relieves policromados. Fuente: [www.jultom.com](http://www.jultom.com) ..... 68
- Figura 28.** Izquierda, patrones geométricos de Huacas de moche. Figura 29. Derecha, Conservación del color de murales de la cultura moche en Perú. Tomado de: [www.huacasdemoche.pe](http://www.huacasdemoche.pe). ..... 70
- Figura 29.** Zona Arqueológica del Sitio de Cacaxtla en Tlaxcala. Esta imagen es un antecedente del uso de la cal y revoques de tierra en las culturas mesoamericanas. Fuente: archivo propio de la autora, 2019. .... 71
- Figura 30.** Reconstrucción del Templo Rojo, fragmento de la reconstrucción en el museo de sitio de Cacaxtla. Fuente: Archivo propio de la autora. .... 73
- Figura 31.** Uso de la cal y óxidos minerales en la pintura mural mesoamericana. Altar A lado occidental de la Zona Arqueológica de Tizatlán en Tlaxcala. Fuente: Archivo propio de la autora, 2018. .... 73
- Figura 32.** Escultura de la Diosa de la Luna Coyolxauhqui, posible cromática que componía este monolito. Tomado de: [www.mexicodesconocido.com.mx](http://www.mexicodesconocido.com.mx) ..... 76
- Figura 33.** Representación de la Guerra Maya. Las variaciones de tonos en azul y verde dentro de la pintura mural Maya son muy notorias, sobre todo en los detalles del tocado del Señor de Bonampak. Fuente: <http://negratinta.com/guerra-maya-parte-i-dismitificando-el-mito-del-pacifismo/>. ..... 78
- Figura 34.** Escena del lado oriente del mural de La Batalla. Cacaxtla representa un esplendoroso ejemplo de arte mesoamericano donde se combinó la maestría de la representación pictórica con un mensaje ideológico de la mayor trascendencia para la cultura mesoamericana. Fuente: Archivo propio de la autora, 2019. .... 81

- Figura 35.** Mural de la fachada del edificio A en el sitio de Cacaxtla. Los personajes representan del lado izquierdo al hombre jaguar y del lado derecho al hombre pájaro. Se puede observar no solo la riqueza pictórica sino también los espesores de sus recubrimientos los cuales realizaban a base de cal y aplicaban sobre muros de tierra. Fuente: Archivo propio de la autora, 2019..... 82
- Figura 36.** Esquema de la estratigrafía más común en los muros de Cacaxtla. Fuente: (González, 2013, pág. 215) ..... 84
- Figura 37.** Técnica constructiva de repellos con cal, arena y tierra. En ambas imágenes se puede ver al centro el núcleo de tepetate. Esta cubierto por una capa gruesa, que va de los 5 a los 9 cm, la mezcla de tierra y agregados conforman lo que se llama “firme de tierra”; el cual tiene la función de homogenizar el muro de tepetate. Sobre este se incrustaban piedras repartidas uniformemente en toda la superficie, así el firme podía recibir las siguientes capas de recubrimiento. la primera capa es un mortero de cal y agregados de color gris que mide entre 1 y 2 cm; la segunda, es el enlucido fino de color blanco y representa el acabado final. Los enlucidos miden hasta 1 cm de espesor. Fuente: Archivo propio de la autora, 2019. .... 85
- Figura 38.** Un grupo de indígenas, arrastrando el cuerpo de un gigante Quinametzin, imagen del códice Vaticano A. Fuente: [www.ancient-code.com](http://www.ancient-code.com). .... 88
- Figura 39.** Ilustración que muestra los posibles colores que vestían a la ciudad de Teotihuacán. Tomado de: [arqueologiamexicana.mx](http://arqueologiamexicana.mx) ..... 89
- Figura 40.** Sotocoro de la iglesia de Tecamachalco, Puebla. Fuente: [artecolonial.wordpress.com/pintor-tlacuilo](http://artecolonial.wordpress.com/pintor-tlacuilo) ..... 92
- Figura 41.** Detalle de las pinturas del sotocoro del templo de Tecamachalco, Puebla. A la izquierda la representación de la Torre de Babel imagen muy peculiar, ya que es una de las pocas obras pictóricas que muestran el oficio de la construcción durante el siglo XVI. A la derecha representación de la Jerusalén Celestial. Fuente: Archivo propio de la autora, 2018. .... 95
- Figura 42.** Mural con una influencia muy notoria de la pintura mural mesoamericana. Fuente: [www.masdemx.com/2016/02/un-mural-antiguo-sobre-la-mitologia-otomi-esta-guardado-al-interior-de-esta-iglesia/](http://www.masdemx.com/2016/02/un-mural-antiguo-sobre-la-mitologia-otomi-esta-guardado-al-interior-de-esta-iglesia/). .... 96
- Figura 43.** Detalle del mural de Ixmiquilpan en donde se puede notar la influencia cromática y artística de la pintura mural mesoamericana. Fuente: [www.vamonosalbable.blogspot.com/2013/11/el-templo-de-san-miguel-y-sus-pinturas.html](http://www.vamonosalbable.blogspot.com/2013/11/el-templo-de-san-miguel-y-sus-pinturas.html). .... 97
- Figura 44.** Fachada policromada de la Misión de Landa en la Sierra Gorda de Querétaro. Fuente: <http://templosmisionesqueretaro.blogspot.com/p/blog-page.html>. .... 98
- Figura 45.** Detalle de la ornamentación y policromía de la fachada en la Misión de Landa en la Sierra Gorda de Querétaro. Fuente: <https://www.flickr.com/photos/frenchop/6840102786/in/photostream/>. .... 99
- Figura 46.** Detalle ornamental de la fachada de la Misión de Tilaco en la Sierra Gorda de Querétaro. Dedicada a San Francisco de Asís, fue construida entre 1754 y 1762 y dirigida por Fray Juan Crespi. Es la más pequeña y sencilla de las cinco y en su fachada. Fuente: <https://www.flickr.com/photos/frenchop/6839503698/in/dateposted>. .... 100
- Figura 47.** Extracción de la tierra, composición y granulometría. Fuente (Gatti, 2012) ..... 102
- Figura 48.** Esquema de la estructura de la lámina silícica. Fuente: (Juárez, 2017) ..... 112
- Figura 49.** Estructura de la lámina aluminica. Fuente: (Juárez, 2017)..... 112
- Figura 50.** Estructura de los tres minerales arcillosos más comunes y su distancia intralaminar. Fuente: (Minke, 2001, pág. 24)..... 113

|   |     |
|---|-----|
| <b>Figura 51.</b> Estratos y horizontes del suelo. Fuente: Esmeralda Avila Boyas.....   | 115 |
| <b>Figura 52.</b> Ejemplo de la curva de distribución granulométrica. Tomado de: (Neves, Faria, Rotondaro, Salas, & Hoffmann, 2009) .....   | 116 |
| <b>Figura 53.</b> Estados Hídricos de la tierra y su comportamiento ante la acción mecánica. Fuente: Esmeralda Avila Boyas.....   | 119 |
| <b>Figura 54.</b> Esquema del ensayo de sedimentación. Fuente: (Minke, Manual de construcción con tierra. La tierra como material de construcción y sus aplicaciones en la arquitectura actual., 2001) .....  | 120 |
| <b>Figura 55.</b> Resultado del ensayo de sedimentación. Se pudo notar a primera instancia el alto contenido de arcilla del material. Fuente: Archivo propio de la autora, 2017.....  | 121 |
| <b>Figura 56.</b> Ensayo de cohesión de la muestra de tierra utilizada para la fase experimental. Fuente: Luis Guerrero, 2017.....  | 122 |
| <b>Figura 57.</b> Carta de plasticidad para determinar a qué clasificación de suelos pertenece la muestra. Fuente: (Juárez, 2017).....  | 124 |
| <b>Figura 58.</b> Ensayo de retracción y expansión para observar el patrón de agrietamiento de las mezclas de tierra con diferentes proporciones de arena. Fuente: Esmeralda Avila Boyas.....   | 125 |
| <b>Figura 59.</b> Representación esquemática de los elementos que componen la planta Opuntia Ficus (adaptado de. Consejo Mexicano de nopal y tuna/ red nopal/conabio, México, 2009) ....  | 132 |
| <b>Figura 60.</b> Núcleo de la molécula del mucilago de opuntia ficus. Fuente: (Cruz, 2013).....  | 133 |
| <b>Figura 61.</b> Opuntia Ficus después de su extracción. Fuente: Esmeralda Avila Boyas (2017) .....  | 135 |
| <b>Figura 62.</b> Izquierda, prueba del hilo para determinar la viscosidad del mucílago. Figura 63. Derecha, elevación del hilo para medir viscosidad. Fuente: Esmeralda Avila 2017.....  | 136 |
| <b>Figura 64.</b> Aplicación de probeta de revoque sobre una superficie de bloques de cemento. Fuente: Esmeralda Avila (agosto del 2018).....   | 152 |
| <b>Figura 65.</b> Molde metálico para probetas cúbicas. Fuente: Esmeralda Avila (marzo del 2018) .....  | 153 |
| <b>Figura 66.</b> Probetas cúbicas después del periodo de secado, ENCRYM, Ciudad de México. Fuente: Esmeralda Avila (12 de abril del 2018) .....  | 155 |
| <b>Figura 67.</b> A la izquierda, probetas de tableta de 10cm x 10cm durante su proceso de secado, a la derecha, probeta de tableta de 20cm x 20cm al término de su secado. Fuente: Esmeralda Avila (abril del 2018).....   | 156 |
| <b>Figura 68.</b> Izquierda Retracción volumétrica de mezcla 1 correspondiente a un porcentaje de reducción del 13 %. Derecha, retracción volumétrica de la mezcla 2 correspondiente a un porcentaje de reducción del 10 %. Fuente: Esmeralda Avila, noviembre del 2017. .... | 159 |
| <b>Figura 69.</b> A la izquierda pandeo de muestra 3 por falta de arena, proporción 1,5: 1 relación tierra: arena. Derecha, muestra 4 con proporción 1:1,5 relación tierra-arena. Fuente: Esmeralda Avila, noviembre del 2017.....  | 160 |
| <b>Figura 70.</b> Mezcla 5 a la cual se le agrego una proporción de 1:1,5 en relación tierra-arena y un 10 % de hidróxido de calcio con relación al volumen total de la mezcla. Fuente: Esmeralda Avila, noviembre del 2017.....  | 160 |
| <b>Figura 71.</b> A Izquierda. Muestra 1 correspondiente a la mezcla de tierra-agua, a la derecha, muestra 4 correspondiente a la mezcla tierra-arena-agua-cal, ambas después de ser sometidas a una  |     |

carga axial para determinar su resistencia a la compresión. Fuente: Esmeralda Avila, 18 de mayo del 2018..... 162

**Figura 72.** Incremento de peso por absorción capilar. Fuente: Esmeralda Avila ,18 mayo del 2018..... 164

**Figura 73.** Medidor de flujo de calor y material utilizado como patrón de calibración del equipo, ambos componentes utilizados para los ensayos de conductividad térmica. Fuente: Esmeralda Avila. Mayo del 2018. .... 166

**Figura 74.** Probetas de tableta de 10 cm x 10 cm x 0.5 cm durante su proceso de secado. El periodo de secado fue de 14 días. Fuente: Esmeralda Avila, abril del 2018. .... 168

**Figura 75.** A la izquierda, Ensayo de absorción y liberación de agua con tubo de karsten. Derecha, probeta correspondiente a la mezcla 5 la cual contiene hidróxido de calcio y mucílago, se puede notar que esta no presenta erosión ante la presencia del agua. Fuente: Esmeralda Avila, julio del 2018. .... 169

**Figura 76.** Parte superior, ensayo de absorción: mezclas 1 a la 5, donde se observa el área de contacto de la probeta con la boca del tubo después de ser retirado, el desgaste del material y la evidencia del flujo del agua. Parte inferior, ensayo de liberación de humedad: mezclas 1 a la 5, donde se observan las probetas después de haber liberado el agua contenida. Fuente: Esmeralda Avila (Julio del 2018) ..... 170

**Figura 77.** Gráfica en donde se muestra el comportamiento de las mezclas 1 y 4, en donde se observa el incremento de peso de las probetas por la cantidad de agua absorbida en un lapso de 4 minutos. Fuente: Esmeralda Avila (julio del 2018)..... 170

**Figura 78.** Gráfica en donde se muestra el comportamiento de las mezclas 2, 3 y 5 en donde se observa el incremento del peso de las probetas por la cantidad de agua absorbida en un lapso de 4 minutos. Fuente: Esmeralda Avila (julio del 2018)..... 171

**Figura 79.** Liberación de humedad. Gráfica que muestra la pérdida de peso en gramos equivalente al agua contenida (En el ensayo de absorción) hasta llegar al peso inicial que corresponde a la probeta en estado seco, mezclas 1 y 4 Fuente: Esmeralda Avila (julio del 2018) ..... 173

**Figura 80.** Liberación de humedad. Gráfica que muestra la pérdida de peso en gramos equivalente al agua contenida (en el ensayo de absorción) hasta llegar al peso inicial que corresponde a la probeta en estado seco, mezclas 2,3 y 5. Fuente: Esmeralda Avila (julio del 2018) ..... 173

**Figura 81.** Probetas de revoque sobre bloques de cemento, se muestra el comportamiento pasadas un par de horas después de su aplicación. Fuente: Esmeralda Avila, junio del 2018. .. 176

**Figura 82.** Probetas que presentaron una mejor trabajabilidad y manejabilidad al ser aplicadas. De izquierda a derecha, mezcla 3 tierra-arena-mucílago, mezcla 4 tierra-arena-cal y mezcla 5 tierra-arena-cal-mucílago. Fuente: Esmeralda Avila, junio del 2018. .... 177

**Figura 83.** Probetas de revoque sobre adobes. Parte superior, se muestra el comportamiento pasadas un par de horas después de su aplicación. Parte inferior, se muestra el comportamiento pasados 90 días después de estar sometidas al clima de verano con un alto índice de lluvias. Fuente: Esmeralda Avila (agosto del 2018)..... 180

**Figura 84.** Probetas de revoque sobre ladrillo. Parte superior, se muestra el comportamiento pasadas un par de horas después de su aplicación. Parte inferior, se muestra el comportamiento

pasados 90 días después de estar sometidas al clima de verano con un alto índice de lluvias. Fuente: Esmeralda Avila (agosto del 2018)..... 181

### Índice de tablas

|   |     |
|---|-----|
| <b>Tabla 1.</b> Tipo de revestimientos que existen junto con los agentes de sujeción que los constituyen. Fuente: Elaboración propia de la autora (2018). .....   | 22  |
| <b>Tabla 2.</b> Tipo de recubrimientos dependiendo el grado de consistencia. Fuente. Elaboración propia de la autora, 2018.....   | 24  |
| <b>Tabla 3.</b> Procesos de endurecimiento de los conglomerantes más utilizados, cal y cemento. Fuente: Adaptado de (Reichel , Hochberg, & Köpke , 2004, pág. 36).....  | 30  |
| <b>Tabla 4.</b> Clasificación de las arcillas. Adaptado de (Juárez, 2017).....  | 114 |
| <b>Tabla 5.</b> clasificación granulométrica de los suelos. Adaptado de (Juárez, 2017).....   | 117 |
| <b>Tabla 6.</b> Resultado de la muestra 1. Y clasificación del suelo de acuerdo con el SUCS. Fuente: archivo de la autora, 2018. ....   | 123 |
| <b>Tabla 7.</b> Resultado de la muestra 2. Y clasificación del suelo de acuerdo con el SUCS. Fuente: Archivo de la autora, 2018.....  | 127 |
| <b>Tabla 8.</b> Taxonomía de la planta opuntia ficus. Adaptado de: (Noriega, 2015) .....  | 131 |
| <b>Tabla 9.</b> Determinación de mezclas estabilizadas para la aplicación sobre diferentes superficies. ....  | 146 |
| <b>Tabla 10.</b> Mezclas utilizadas para probetas cúbicas. Archivo: Esmeralda Avila, 2018.....  | 153 |
| <b>Tabla 11.</b> Cantidad de material utilizado y proporciones para la elaboración de las probetas de acuerdo con el tipo de mezcla. Fuente: Esmeralda Avila (15 de marzo del 2017).....  | 154 |
| <b>Tabla 12.</b> Cantidad de material utilizado y proporciones para la elaboración de probetas de acuerdo con el tipo de mezcla. Fuente: Esmeralda Avila (8 de marzo del 2018).....   | 154 |
| <b>Tabla 13.</b> Cantidad de material utilizado y proporciones para la elaboración de probetas de acuerdo al tipo de mezcla. Fuente: Esmeralda Avila (20 de marzo del 2018).....  | 154 |
| <b>Tabla 14.</b> Mezclas correspondientes para la elaboración de probetas de tableta de 10 cm x 10 cm x 0.5 cm de espesor. Probetas elaboradas para ensayos de retracción volumétrica y absorción y liberación de humedad. Fuente: Esmeralda Avila (julio del 2018). .... | 155 |
| <b>Tabla 15.</b> Detalle de las mezclas con las que se realizaron las probetas de tableta de 20cm x 20 cm. Fuente: Esmeralda Avila (julio del 2018).....  | 156 |
| <b>Tabla 16.</b> Porcentaje de retracción volumétrica. Fuente: Esmeralda Avila (diciembre del 2017) .....   | 158 |
| <b>Tabla 17.</b> Resultados promediados del ensayo a compresión. Fuente: Esmeralda Avila (marzo del 2018) .....   | 162 |
| <b>Tabla 18.</b> Coeficiente de absorción de las muestras ensayas por absorción capilar, se puede observar notablemente que la presencia de la cal hace que se incremente el coeficiente de absorción de una muestra. Fuente: Esmeralda Avila, abril del 2018. ....       | 165 |
| <b>Tabla 19.</b> Coeficiente de conductividad térmica de la tierra estabilizada con mucílago de opuntia. Fuente: Esmeralda Avila (junio del 2018).....  | 167 |
| <b>Tabla 20.</b> Incremento en gramos a partir de las probetas en estado seco y posterior aplicación de agua con tubo Karsten. Fuente: Esmeralda Avila (julio del 2018) .....   | 171 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>Tabla 21.</b> Liberación de humedad. Minutos que toma cada probeta en liberar el agua absorbida y llegar a su peso inicial en estado seco. Fuente: Esmeralda Avila (julio del 2018)..... | 174 |
| <b>Tabla 22.</b> Orden de las probetas aplicadas sobre superficies de bloques de cemento, adobe y tabique rojo. Fuente: Esmeralda Avila, julio del 2018. ....                               | 176 |
| <b>Tabla 23.</b> Descripción de probetas de revoque aplicadas sobre bloques de cemento transcurridos 90 días. Fuente: Esmeralda Avila, agosto del 2018. ....                                | 179 |
| <b>Tabla 24.</b> Descripción de probetas de revoque aplicadas sobre bloques de cemento transcurridos 90 días. Fuente: Esmeralda Avila, agosto del 2018. ....                                | 179 |

### Bibliografía

- A. El Amrani, C. P. (2018). From the stone to the lime for Tadelakt: Marrakesh traditional plaster. *journal of materials enviromental science* , 754-762.
- Agarwal, S. (2017). *S.M.A.R.T caminos hacia la sostenibilidad*. españa: acciona.
- Agkathidis, A. (2017). *Arquitectura Biomórfica, diseño orgánico y construcción*. China: Promopress Editions.
- Aranda, Y. (2013). Efecto de la impermeabilidad del mucílago de nopal en bloques de tierra comprimidos. *Nova Scientia, Revista de Investigación de la Universidad de la salle Bajío, México*, 311-323.
- Aresta R, M. A. (2015). *Arquitectura biológica*. Bogotá, Colombia: nobuko.
- Avila , E., & Guerrero, L. (2018). El mucílago de opuntia ficus como estabilizante en recubrimientos de tierra. *SIACOT 2018* (págs. 115-126). Antigua Guatemala : PROTERRA.
- Barba , L., & Villaseñor, I. (2013). *La cal. Historia, propiedades y usos*. México: Instituto de Investigaciones Antropológicas, UNAM.
- Barrios, E. P. (1997). *Suculentas Mexicanas Cactáceas*. México, México: CVS Publicaciones.
- Benyus, J. (2002). *Biomimicry: innovation inspired by nature*. New York: William Morrow Paperbacks .
- Blumberg, M. (2004). *Body heat: temperature and life on Earth*. Cambridge : Harvard University Press.
- Boado, L. G. (10 de ABRIL de 2015). *La piel, la membrana*. Obtenido de research gate: [www.researchgate.net](http://www.researchgate.net)
- Brittenham, C. (2013). Los pintores de Cacaxtla. En M. T. Uriarte Castañeda, *La pintura mural prehispánica en México. Cacaxtla* (págs. 267-361). México: UNAM.
- Camelo Arredondo, R. (1964). *Juan Gerson. Tlacuilo de Tecamachalco*. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH) .

- Celestino Solis, E. (1992). *Anales de Tecamachalco* . México: Fondo de cultura económica.
- Chanfón, C. (2004). *Historia de la arquitectura y el urbanismo mexicanos* . México: Fondo de Cultura Económica .
- Coreira, Neves, Guerrero, Pereira, M. (2016). *Arquitectura de tierra en América Latina*. Lisboa, Portugal: ARGUMENTUM.
- Cruz, S. (2013). El mucilago de nopal como aditivo de las pastas de cal empleadas en la conservación. En L. Barba, & I. Villaseñor, *La cal. Historia, propiedades y usos* (págs. 183-202). México: Instituto de Investigaciones Antropológicas, UNAM.
- Finsterwalder, R. (2011). *Form follows nature*. Austria: Springer Wien New York.
- Flanco Jordan, R. (2016). Aproximación al significado de las representaciones murales de la fachada principal y patio superior de la Huaca de Cao viejo, complejo el brujo, costa norte del Perú. *Quingnam*, 7-52.
- García Romero, E., & Suárez Barrios, M. (2002). *Las arcillas, propiedades y usos*. Salamanca, España: Universidad de Salamanca.
- Garduño, M. F. (26 de Septiembre de 2017). *Alberto kalach: la arquitectura como extensión de la naturaleza*. Obtenido de Mas DMX: <https://masdemx.com/2017/09/alberto-kalach-mejor-arquitecto-mexicano-premio-mexico/>
- Garzón , L., & Neves, C. (2007). investigar, forma, capacitar, transferir. Los grandes desafíos de la arquitectura y construcción con tierra. *APUNTES, Vol. 20, No.2*, 324-335.
- Gatti, F. (2012). *Arquitectura y Construcción en Tierra, estudio comparativo de las técnicas contemporáneas de tierra*. Barcelona, España: Universidad Politécnica de Catalunya.
- Gonzalez Morales, L. A. (1 de abril de 2015). *Revista UNAM* . Obtenido de revista UNAM: <http://www.revista.unam.mx/vol.16/num4/art29/>
- González, A. (2013). Hacia una historia de la conservación del proyecto de Cacaxtla. En M. T. Uriarte, *La pintura mural prehispánica en México. Cacaxtla*. (págs. 199-265). México: UNAM.
- Guerrero , L., Roux, R., & Soria, F. (2010). Ventajas constructivas del uso de la tierra comprimida y estabilizada con cal en México. *La palapa*, 45-58.
- Guerrero, L. (2007). Arquitectura de tierra, hacia la recuperación de una cultura constructiva. *APUNTES*, 182-201.
- Guerrero, L. (2008). La cal y el patrimonio edificado. *La gaceta del Instituto del Patrimonio Cultural*, 18-29.
- Guerrero, L. (2015). Recubrimientos de tierra compactada para la conservación del patrimonio arqueológico de México y el Salvador. *Memorias del SIACOT 2015, Ecuador*, 233-244.

- Guerrero, L. F. (2014). La sostenibilidad de la vivienda tradicional. *Revista de Arquitectura, Universidad Católica de Colombia, Colombia.*, 126-133.
- Guerrero, L. F. (Junio 2016). El papel de la humedad y la compactación en la elaboración de recubrimientos de tierra. *construcción con tierra CT7*, 11-22.
- Holl, S. (2018). *Cuestiones de percepción. Fenomenología de la arquitectura*. Barcelona: Gustavo Gili.
- Hollis, H. B. (2002). Pencas de antaño . *Revista Artes de México*, 8-16.
- Juárez, E. (2017). *Mecánica de suelos I: Fundamentos de la mecánica de suelos*. México: Limusa.
- Kita Y, & D. (2015). Evaluación de Bitumen como estabilizante para patrimonio construido en tierra bajo el clima trópico húmedo. *estudios sobre conservacion, restauración y museografía* , VOL.2 ENCRYM-INAH.
- Kubler, G. (2012). *Arquitectura Mexicana del siglo XVI*. México: Fondo de cultura económica.
- Lourdes Cué Ávalos, F. C. (num 102, año 2010). El monolito de coyolxauhqui: investigaciones recientes. *Arqueología mexicana* , 42-47.
- Lozano, A. L. (2008). *La piel del edificio*. cali: universidad del valle.
- Lucet, G. (2013). Arquitectura de Cacaxtla, lectura del espacio. En M. T. Castañeda, *La pintura mural prehispánica en México, tomo V, Cacaxtla*. (págs. 20-109). México, México: UNAM.
- Lupton, E. (2002). *Skin, Surface, Substance + Design*. New York : Princenton Architectural press.
- Macias, B. D. (2017). Evaluación de la permeabilidad del tadelakt aplicado sobre diferentes materiales base. *Congreso Internacional de Historia de la Construcción*, 417-428.
- Magaloni, D. (2008). Los colores de la selva. Procedimientos, materiales y colores en la pintura mural maya. *Arqueología Mexicana* , 46-50.
- Magaloni, D. (2013). Cacaxtla, la elocuencia de los colores. En M. T. Uriarte Castañeda, *La pintura mural prehispánica de México. Cacaxtla* (págs. 147-197). México: UNAM .
- Marquina , I. (1964). *Arquitectura prehispánica* . México: Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH).
- Mayorga, J. R. (2012). *Arquitectura y confort térmico. Teoría, Cálculo y ejercicios*. México: P y V ediciones.
- Mazzoleni, I. (2013). *Architecture follows nature. biomimetic principles for innovative design* . California. Unites States: CRC Press Taylor & Francis Group.
- Minke, G. (2001). *Manual de construcción con tierra. La tierra como material de construcción y sus aplicaciones en la arquitectura actual*. Uruguay: Editoria Fin de Siglo.

- Minke, G. (2013). *Revoques de barro, mezclas, aplicaciones y tratamientos*. Bariloche, Argentina: Icaria editorial.
- Morales, R. (2007). Arquitectura prehispánica de tierra: conservación y uso social en las Huacas de moche, Perú. *APUNTES*, 256-277.
- Morales, R. (2016). Arquitectura prehispánica de tierra y evento el niño (ENSO), concervación preventiva de la costa norte del Perú. *Coloquio Terra Lyon 2016* (págs. 2-11). Lyon, Francia: CRA Terre.
- Mylene, C. (2014). *Litema, revival of a disappering art*. Free state : Central University or Technology .
- Nakagawa, T. (2016). *La casa japonesa, espacio, memoria y lenguaje* . Madrid, España: Editorial Reverte.
- Neves, C. (2011). *Tecnicas de construcción con tierra*. Bauru SP: Red Iberoamericana de PROTERRA; FEB-UNESP.
- Neves, C., Faria, O., Rotondaro, R., Salas, P., & Hoffmann, M. (2009). Selección de suelos y métodos de control en la construcción con tierra. *Red PROTERRA*, 1-33.
- Noriega, M. N. (2015). Los nopales de México, catalogo visual. *Revista Arqueología Mexicana* , 48-53.
- Ochs, M. J. (2010). *TADELAKT and old Moroccan plaster technique newly discovered*. Lyon, France: DVA.
- Orihuela Uzal, A. (2007). *Arquitectura Vernácula y mezquitas sudanesas en Burkina Faso y Níger*. Granada, España: Universidad de Granada.
- Pablo Torres Soria, S. C. (no. 99, 2015). La baba y el mucílago de nopal, una alternativa natural para la conservación de acabados arquitectónicos de tierra. *revista interdisciplinaria INAH*, 93-114.
- Palacios, J. R. (2010). Tejidos, Membranas, piel y derivados. *COL-LEGI OFICIAL INFERMERES INFERMERES*, 1-36.
- Pérez, N. (2009). *Formulación de un mortero de inyección para la restauración de pintura mural. Tesis para obtener el título de ingeniero químico*. Tlaquepaque, Jalisco: Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente .
- Rebelo, M. A. (2016). *Arquitectura Biologica*. Buenos Aires, Argentina: nobuko.
- Reichel , A., Hochberg, A., & Köpke , C. (2004). *Enlucidos, revocos, pinturas y recubrimientos*. Munich, Alemania: Gustavo Gili.
- Rodríguez, A. (1970). *El hombre en llamas. Historia de la pintura mural en México*. Alemania : Thames and Hudson, London.

- Rodriguez, D. (2001). Los murales perdidos de Cholula. *La pintura mural prehispánica en México.*, 13-17.
- Sahagún, B. (1961). *Historia de las cosas de la Nueva España*. México : Fondo de cultura económica.
- Salvadori, M. (1998). *Estructuras para arquitectos* . madrid, España: kliczkowski .
- Samuel Ramirez Arellanes, F. J. (2012). Propiedades de durabilidad en hormigón y análisis microestructural en pastas de cemento con adición de mucílago de nopal como aditivo natural. *Materiales de Construcción, Vol. 62, 307, 327-341*.
- Sanchez Corral, J. (2012). *La vivienda "social" en México. Pasado, presente y futuro?* México: Sistema nacional de creadores de arte .
- Segura, R. (2012). Pielés arquitectónicas: de la fachada a la envolvente. *RUA*, 29-31.
- Staines, L. (1998). *La pintura Mural Prehispánica en México. Área maya* . México: UNAM.
- Tanaka, M. (2011). *Historia mínima de Japón* . México: El colegio de México, ediciones.
- Tatarkiewicz, W. (1987). *Historia de las ideas*. Madrid, España: Tecnos.
- The European Commission. (2010). *Un vitruvio ecológico, principios y práctica del proyecto arquitectónico sostenible*. Barcelona, España: Gustavo Gili.
- Trovato, G. (2007). *DES-VELOS*. Madrid: Akal.
- Vergara, A. (2010). *Las pinturas del Templo de Ixmiquilpan*. . Hidalgo : Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- Weissman, A. (2008). *Using natural finishes: lime & earth based plasters, renders & paints*. U.K: Green books.
- Wladyslaw, T. (1987). *Historia de las ideas*. Madrid, España: Tecnos.
- Zumthor, P. (2006). *Atmosphären. Basilea*. Alemania: Birkhauser verlag.