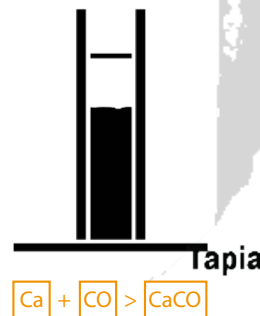


# [TAPIA]

estabilización microbiológica  
una forma de autoconstrucción



# [TAPIA]

estabilización microbiológica  
una forma de autoconstrucción

Tesis que para optar por el grado de Maestro en Arquitectura presenta:  
Juan Jaime Gutiérrez Salgado

Director de tesis:  
Mtro. en Arq. Jorge Rangel Dávalos

calpupan.chiliarq@gmail.com  
jgutierrez.eco@gmail.com





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.





UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura

# [ TAPIA ]

## estabilización microbiológica una forma de autoconstrucción

Tesis  
Que para optar por el grado de  
Maestro en Arquitectura  
presenta:

Juan Jaime Gutiérrez Salgado

Tutor:  
Mtro. en Arq. Jorge Rangel Dávalos  
Arquitectura UNAM

COMITÉ TUTOR:  
Mtro. en Arq. Ernesto Ocampo Ruíz  
Arquitectura UNAM  
Dr. en Ing. Alejandro Solano Vega  
Arquitectura UNAM  
Mtra. en Arq. Maribel Jaimes Torres  
Arquitectura UNAM  
Mtro. en Arq. Arturo Valeriano Flores  
Arquitectura UNAM



INSTITUTO  
DE ESTUDIOS  
HISTÓRICOS

# Agradecimientos

Porque este trabajo de casi 3 años no hubiera sido posible sin el apoyo de ustedes:

A mi compañera Fernanda

A mis padres Irma y Juan Jaime y a mi hermana Ana

A mi familia y amigos.

A Jose Luis.

Al Mtro. Jorge Rangel

Al Mtro. Ernesto Ocampo

A la Universidad Nacional Autónoma de México

A la Dra. en Geología Antonia Navarro y al Dr. en Arq. Joan Ramon Rosell.

A la Escola Politècnica Superior de l'Edificació de Barcelona

Al Dr. Jordi Urmeneta y al departamento de microbiología de la UB y

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

# Contenido

Resumen

Introducción

CAPÍTULO I Construcción apropiada.

CAPÍTULO II Habitabilidad de la vivienda social urbana.

CAPÍTULO III Sistemas constructivos de tierra.

CAPÍTULO IV estabilización microbiológica una  
estabilización cero contaminante.

Conclusiones.

Bibliografía

Anexos

Glosario

# Índice

Resumen	11
Introducción	12
<b>1. Construcción apropiada</b>	<b>18</b>
1.1 Definición de conceptos.	20
1.1.1 Arquitectura con materiales apropiados	20
La tierra y la tapia.	26
Sustentabilidad arquitectónica por medio de materiales tradicionales o apropiados.	27
Suelo o tierra	28
Construcción con tierra- Tapia	29
Estabilizadores.	31
Microbiología-Bacterias	32
Estabilización por medio de la precipitación de calcita	33
Bacilos	34
1.2.1 Habitabilidad	34
Habitabilidad de la vivienda social urbana.	36
Sistemas constructivos de tierra como arquitectura pasiva.	37
Convergencia entre arquitectura "vernácula", arquitectura tecnológica pasiva y arquitectura social.	40
1.3.1 Origen de los distintos métodos de tapia y su estabilización.	40
Históricos globales.	40
Arquitectura Religiosa barroca en Brasil.	43
Arquitectura de tapia contemporánea	46



Estudios de edificaciones contemporáneas de tapia	47
1.4.1 Bacterias y suelos.	50
Clasificación de bacterias en los suelos.	50
Bacteriología y construcción.	51
Microorganismos como estabilizadores mecánicos de suelos.	52
<b>2. Habitabilidad de la vivienda social urbana</b>	<b>58</b>
2.1 El habitar y la vivienda	60
2.1.1 La vivienda como mercancía	61
2.2 Autoconstrucción	63
2.3 Vivienda social	65
2.3.1 Urbana	65
2.3.2 Rural	66
2.4 Situación actual Zona Metropolitana del Valle de México ZMCM	71
<b>3. Sistemas constructivos de tierra</b>	<b>76</b>
3.1 Sustentabilidad arquitectónica por medio de materiales tradicionales o apropiados	78
3.2 Estudio del suelo.	81
3.3 La tierra: material de construcción local	85
3.4 Técnicas constructivas de tierra	89
3.4.1 Propiedades y características generales de las técnicas constructivas de tierra	89
Abobe	89
Bahareque	90
Cob y moldeado con barro	90
Barro alivianado y barro vertido	91

BTC (Bloque de Tierra Compactada)	91
3.5 Muros de tapia o muros de tierra compactada – tapiales	93
3.5.1 Tapial	96
3.6 Procesos constructivos de tapia	98
3.6.1 Prehispánicos e ibérico	98
3.7 Propiedades y características	100
3.7.1 Análisis Mecánico de la tapia	100
Resistencia a la compresión, flexión, peso, módulo de elasticidad longitudinal, permeabilidad y penetración.	101
Resistencia a sismos.	102
Resistencia a al compresión.	102
Resistencia ala tensión (Cohesividad).	102
Resistencia a la flexión	103
Proporción de alto y largo de un muro de tapia.	103
Resistencia al fuego	103
Durabilidad	103
<b>4. Estabilización microbiológica una estabilización cero contaminante.</b>	<b>108</b>
4.1 Introducción / la sustentabilidad de la tapia	110
4.1.1 Definición de la estabilización microbiológica de la tierra	114
4.1.2 Desarrollo del proceso para experimentación.	115
4.1.3 Validación Cualitativa y cuantitativa de la estabilización microbiológica de la tapia.	117
4.2 Estabilización microbiológica.	122
4.3 Introducción a la etapa experimental	124

4.4 Desarrollo de la etapa experimental	126
1er Informe / extracción de tierra	131
1er Informe / laboratorio de microbiología	133
2nd Informe / extracción de tierra.	134
1er Informe / laboratorio de materiales	136
2nd Informe / laboratorio de microbiología	137
2nd Informe / laboratorio de materiales	138
<b>Conclusiones.</b>	<b>150</b>
Prospectivas	155
<b>Bibliografía.</b>	<b>156</b>
<b>Referencia de figuras</b>	<b>161</b>
<b>Glosario</b>	<b>162</b>
<b>Anexos</b>	<b>169</b>

## Resumen

La tapia como una técnica constructiva ancestral puede mejorar en sus características mecánicas al estabilizar la tierra de forma microbiológica. La mejora estructural de la tapia a través de la estabilización microbiológica va de la mano a una mejora de carácter sostenible para que exista una contextualización de los espacios arquitectónicos con el ambiente. Al utilizar una bacteria como estabilizador de tierra dejamos de usar materiales industrializados (como el cemento o la cal) en grandes proporciones y se mantienen las propiedades óptimas para el incremento de la resistencia a compresión de la tapia.

En los últimos años se ha potencializado la construcción con sistemas constructivos de tierra al mejorar sus propiedades mecánicas, acústicas y térmicas; La tapia es una técnica constructiva que se desarrolla casi en su totalidad en el sitio de construcción y a partir de materiales locales. La tierra que se compacta en un tapial que se elabora comúnmente con madera pero que se estabiliza con compuestos foráneos al sitio, como el cemento. Por tal motivo el uso de la tapia con tierra propia del sitio en donde se construya, puede ser una opción viable para la autoconstrucción de vivienda urbana pero que integre la estabilización biológica como ejemplo de sostenibilidad.

Esta investigación revaloriza la tapia como una técnica constructiva urbana que puede obtener su materia prima del mismo sitio donde se va a construir la vivienda, es aquí donde la estabilización biológica busca el uso de casi cualquier tierra para construir para evitar la transportación de grandes cantidades de material para la construcción y de estabilizadores de origen lejano e industrial al sitio.

# Introducción

“[Tapia] estabilización microbiológica una forma de autoconstrucción”, esta tesis parte de mis inquietudes como arquitecto pero sobre todo de las inquietudes como persona que concibe su hábitat y su construcción para responder las necesidades básicas, pero a la par se busquen las menores repercusiones al entorno mediante el retomar sistemas constructivos tradicionales que la comunidad urbana ha olvidado. Al mismo tiempo se debe cuestionar el uso de sistemas constructivos contemporáneos contaminantes que son resultado del manejo de materiales industriales degenerativos del ambiente, esto con el objetivo de conseguir un paisaje urbano predominante con construcciones hechas de tierra a través de la apropiación y la correcta implementación de técnicas tradicionales por las mismas personas que habitaran dichas edificaciones. Para así lograr la consolidación de la autoconstrucción como una forma de arquitectura, que es una realidad de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) a través de los bajos costos que puede conllevar la

autoconstrucción, siempre y cuando mejore la eficiencia constructiva, sea ergonómica, ecológica, confortable y propia del lugar para conseguir una hábitat social urbano apropiado.

La vivienda es el espacio habitable esencial, por lo que las directrices para una vivienda que busca causar los menores cambios al medio parten del desarrollo de sistemas constructivos, tecnologías apropiadas, un análisis arquitectónico, constructivo y social pero siempre desde una visión sustentable, entonces parto del concepto de que la tierra constituye el material más abundante en todo el planeta, por lo tanto, el más lógico para su utilización en la construcción.

Un gran porcentaje de la población mundial vive actualmente en casas hechas con un sistema constructivo de tierra, siendo la tapia uno de los sistemas constructivos más antiguos pero también uno de los más olvidados en culturas occidentales, aunque se encuentra comúnmente en zonas rurales. Pero el abandono de las zonas rurales por la población hacia la ciudad provoca el olvido de técnicas

tradicionales como la tapia pero lo que no se puede olvidar es que las áreas más contaminantes por el ser humano son las zonas urbanas, como la ZMVM, donde la construcción es una necesidad tras la demanda poblacional y la especulación como “actividad económica” provocan la construcción desmedida de vivienda que da origen a la contaminación más alta del país. (Alavedra, 1997)<sup>1</sup> En consecuencia, el enfoque primario que toma esta investigación para la aplicación de una técnica tradicional, es su aplicación en la vivienda mínima en la zona metropolitana. Para promover el desarrollo de vivienda social urbana a un bajo costo e igualitario que dé pie a un desarrollo urbano que descentralice la ZMVM, es necesaria la apropiación de los barrios a favor de micro regiones dentro de la ciudad en contra de la producción de viviendas en las periferias de la mancha urbana. Todo esto causara una re-densificación en centros urbanos ya existentes, por lo que esta investigación pueda dar paso a la búsqueda en la adaptabilidad de los muros de tapia sobre preexistencias urbanas de otros sistemas y materiales constructivos con una metodología de yuxtaposición compositiva en la edificación, al mejorar las propiedades

mecánicas de la tapia.

La ZMVM es una zona de alta sismicidad, esto es una amenaza para cualquier construcción indiferente al sistema constructivo o material, por lo que los sistemas constructivos de tierra no son la excepción. Por lo que la base primordial de esta investigación es la búsqueda de un estabilizador sustentable y con buenas condiciones mecánicas apropiadas para dar seguridad y confianza a los posibles usuarios de un espacio habitable. Siempre y cuando la composición arquitectónica sea adecuada desde su proyección y exista una planeación de mantenimiento constante. El mismo mantenimiento es responsable de mostrar las buenas características estéticas de la tierra como material de construcción, para echar abajo la mala fama de los materiales tradicionales, que son vistos como un retroceso social y figurantes de pobreza.

El contenido de esta tesis consta del estudio y análisis del estado actual de la tapia como técnica constructiva dentro de la sociedad moderna y como desarrollar esta técnica milenaria como una tecnología innovadora, al tomar como caso de estudio la sociedad en la Ciudad de México.

Capítulo 1- Se plantea el estado del arte de la tapia desde su origen

<sup>1</sup> Alavedra, P. D. (1997). La construcción sostenible: el estado de la cuestión. *Informes de la Construcción*, 41-47.

como sistema constructivo sustentable, su convergencia entre arquitectura tradicional, tecnológica pasiva y social. El estado actual de la estabilización de la tierra para técnicas constructivas y la posible estabilización microbiológica.

Capítulo 2- Se plantean las condiciones de habitabilidad urbana, definiendo este concepto junto a la condición actual de la vivienda en la ciudad de México y la autoconstrucción como una realidad social.

Capítulo 3- Contiene una presentación de los sistemas constructivos de tierra al mostrar sus contribuciones ecológicas, económicas y estéticas que da este tipo de arquitectura. Se plantea las técnicas constructivas de dicho sistema, sus pros y contras para evaluar diferentes posibilidades para la innovación. Describe y desarrolla el proceso constructivo de los muros de tapia o tierra compactada, haciendo un análisis de sus propiedades y posible evolución como una tecnología hacia el futuro.

Capítulo 4- Contiene la investigación del estabilizador microbiológico, es decir la bacteria que permitió la estabilización de los suelos que utilicé para las pruebas de laboratorio que también se muestran en este capítulo.

Una investigación que permite el primer planteamiento de un prototipo de cimbra sustentable.

Conclusiones de los datos obtenidos en la experimentación y desarrollo de tácticas para su difusión para el uso y la creación de líneas de investigación sobre el tema de la estabilización microbiológica.

La dirección que tiene este documento será primordialmente para fomentar el desarrollo sostenible y apropiado de nuestro hábitat mediante la tapia como una opción sustentable en la construcción. El promover la autoconstrucción con técnicas al alcance de todos, como es la tapia, para que estas técnicas regresen a ser sistemas constructivos tradicionales que formen parte de los empleados actualmente en el ámbito urbano. Así demostrar que la tapia y otros sistemas de edificación con tierra u otros materiales naturales poseen características adecuadas para el confort y seguridad para la vivienda en la Ciudad de México, esto debe dar paso a que los especialistas en la construcción deseen continuar con esta tarea de difusión.

Como respuesta a los vacíos y ampliación de estudios anteriores, esta investigación retoma y optimiza

los resultados sobre las propiedades térmicas, acústicas, económicas, ambientales y primordialmente mecánicas de estos estudios previos para difundir con mayores argumentos las ventajas de esta técnica constructiva en zonas urbanas. En la actualidad alrededor de un 30% de la población en el planeta vive en construcciones donde la tierra es el material primario de la construcción y en su mayoría fue resultado de la autoconstrucción.

Como réplica a los cambios climáticos que existen en nuestro planeta y las afectaciones que origina la construcción en nuestro hábitat, la aceptación de alternativas constructivas olvidadas como la construcción con tierra es una opción hacia una arquitectura compositiva sustentable. Desde la concepción de nuestro hábitat pasando por la vida útil del mismo hasta la transformación de ese espacio para un uso distinto debe basarse en un proceso cíclico no degenerativo de los materiales.

### **Hipótesis.**

Lograr que la tapia modifique su carácter de técnica tradicional a una tecnología apropiada tradicional mediante innovaciones en sus propiedades constructivas, esencialmente al mejorar la resistencia a compresión por medios

microbiológicos, entonces las personas a partir de la tierra tendrán otra opción de material constructivo para concebir su vivienda en zonas urbanas y zonas altamente sísmicas como es la ciudad de México, donde actualmente la tierra es despreciada.

### **Objetivo general.**

Introducir la tapia a comunidades urbanas por medio de la mejora de sus propiedades mecánicas, con el desarrollo de un estabilizador microbiológico que sea sustentable durante su ciclo de vida y obtener una ergonomía en el proceso constructivo factible para eliminar los prejuicios sobre la tierra como material constructivo y con esto se promueva su uso como un sistema constructivo de bajo impacto ambiental como la tapia.

### **Objetivos Particulares.**

- Plantear los principios para el desarrollo de una cimbra eficiente, barata y ergonómica para promover la tierra compactada como un sistema constructivo de uso sencillo.
- Demostrar que las propiedades mecánicas, térmicas, acústicas, económicas, ambientales y estéticas de la tapia pueden ser adecuadas para la construcción de



viviendas en la Ciudad de México.

- Divulgar el uso de la tapia como un sistema constructivo tradicional en Latinoamérica.
- Plantear los principios para la adaptabilidad de las construcciones de tapia en preexistencias urbanas.
- La autoconstrucción con tapia como una posibilidad colaborativa entre personas de un barrio para hacer comunidad.

### **Metodología.**

#### Objeto teórico

- Desarrollar un estudio cronogeográfico de la técnica de la tapia desde sus orígenes hasta su concepción Latinoamericana.
- Estudio de la concepción de la tapia Latinoamericana resultado de la tierra compactada mesoamericana y la tapia ibérica.

#### Objeto tecnológico

- Definir los materiales apropiados para desarrollar el tapial.
- Realizar pruebas y estudios de las condiciones óptimas de la tierra que puede utilizarse en la tapia.
- Yuxtaposición de la tapia con otros materiales y sistemas constructivos, a partir de adecuados sistemas de desplante de muros.



vivienda tierra  
bacteria  
sustentabilidad  
medio oriente  
estabilizadores  
latinoamérica  
bacilo

arquitectura contemporánea

tapial

sostenibilidad  
materiales apropiados

ruta histórica

tecnologías apropiadas

tapia





CAPÍTULO I  
construcción  
apropiada

## 1.1 Definición de conceptos.

Para continuar con la presentación de esta investigación voy a definir conceptos básicos para entender de mejor forma la técnica constructiva de la tapia y así comprender su proceso temporal y geográfico, para poder contextualizar el desarrollo de una tecnología apropiada sustentable.

### 1.1.1 Arquitectura con materiales apropiados.

Para poder definir que es un material apropiado para la construcción de nuestro hábitat, se tiene que precisar y delimitar cuáles son los paradigmas que condicionan la arquitectura contemporánea. A partir de distintos enfoques que componen el proceso de producción de la obra arquitectónica se

podrá definir cuáles son las condiciones que determinen cual es un material apropiado para la construcción. (figura 1) Estos enfoques que dirigen el proceso de una obra arquitectónica deben cubrir cada aspecto que conforma la sustentabilidad, los cuales son: la innovación, lo económico, las personas, el planeta y la composición o estética, para obtener un nivel ideal de sustentabilidad. Cualquier obra arquitectónica parte de un marco de referencia, del cual obtendrá las propiedades adecuadas para contextualizarse espacialmente, este espacio físico no solo determina las características materiales de un edificio, puede modificar las acciones del usuario y de igual forma el usuario puede modificar la función del espacio arquitectónico. Este marco de referencia es condicionado



<< figura 1. Vano en muro de Machupichu, Perú.

< figura 2. Sistema constructivo de muro de Machupichu, Perú.

por dos ámbitos, las ambientales y las socioculturales, las primeras son la adaptabilidad de un objeto arquitectónico con el entorno para lograr un balance con el medio natural, las socioculturales son impuestas por la psicología del usuario o comunidad usuaria que respeten la equidad del medio social.

El marco contextual o de referencia determinará la conceptualización y la formalidad de la composición arquitectónica, que posteriormente se materializará a través de una tecnología o sistema constructivo adecuado para la obra arquitectónica. (figura 2) Por ello la definición de tecnología será la base de donde partiré. La tecnología humana se puede entender como el conjunto ordenado de las técnicas que hace al ser humano lo que es.

Para definir tecnología retomo lo dicho por E. Agazzi (1997), donde define el concepto de tecnología a partir del entendimiento de dicho concepto referente al idioma en que se ocupe.

Existen idiomas como el inglés, en donde se utiliza habitualmente "technology" y prácticamente no se emplea, estrictamente hablando, la palabra "técnica" ("technique" o "technics"), salvo en un sentido poco usual (en general, para designar las maneras concretas y especiales de realizar

una operación determinada). En español e italiano, así como en otros idiomas, al contrario, se utilizan ambos términos con significado similar. Es por eso que me propongo aprovechar esta doble posibilidad para tomar el término "técnica" en un sentido muy general y el término "tecnología" en un sentido más especializado. Según un sentido elemental, se puede entender la técnica como un conjunto de *conocimientos eficaces* que el hombre ha desarrollado a lo largo de los siglos para mejorar su manera de vivir prácticamente.<sup>2</sup>

Esto quiere decir que la técnica es parte del ser humano y desde la existencia de este, la técnica es el método para adaptarse al medio natural a partir de un entorno artificial que nos hace ser únicos con capacidad para actuar en el entorno y poder sobrevivir, así poder alcanzar la naturaleza del ser humano –el dominar-, dominar el ambiente, dominar otros seres vivos y hasta otros seres humanos. Entonces el ser humano al adaptarse a lo largo de varias generaciones va acumulando un nivel de desarrollo técnico y es un proceso de enseñanza a través de cada generación que

2 Agazzi, E. (1997). El impacto epistemológico de la tecnología. *Acción Integrada Hispano-Italiana de la Secretaría de Estado de Universidades e Investigación entre las Universidades de Sevilla y Génova*. Sevilla.

evoluciona.

Pero, en el desarrollo de la civilización occidental, llegó el momento en el que a la dimensión simplemente *práctica* se añadió la preocupación de *saber por qué* es mejor hacer las cosas de una determinada forma. Es el gran momento de la *téchne* griega. En casi todos los idiomas, esta palabra se traduce modernamente por el vocablo «arte», pero esta forma de traducir no clarifica precisamente hoy día el significado del término griego. Pues, el «arte» se refiere espontáneamente a las denominadas «bellas artes» y se conecta con la esfera estética (a la creación de lo bello). Pero no era así la significación de la *téchne* griega. (Agazzi, 1997)<sup>3</sup>.

Por ello llega el momento donde el ser humano se cuestiona no solo el cómo realizar las cosas sino como es ese proceso, encontrar las razones fundamentas, el porqué del ser de las cosas. Es entonces cuando tecnología entra en escena a partir de lo citado por Agazzi, (1997) “Cuando aparece el sufijo “logía” se quiere indicar la existencia de una cierta doctrina elaborada, una “teoría” acerca del asunto en cuestión.”<sup>4</sup> Es en este momento donde la civilización occidental puede entender

un conjunto de conocimientos teóricos que explican la razón de cómo se hacen las cosas y a consecuencia se puede determinar que una técnica puede evolucionar hacia una tecnología y no es necesaria la experiencia previa por uno mismo o por enseñanza práctica, ya que en el pasado fueron justificadas teóricamente. La tecnología y la ciencia son dos conceptos colaborativos de los cuales existen muchas definiciones, donde uno responde al otro o viceversa, pero algo que si puede ser claro es que el producto tecnológico es una respuesta o ayuda a responder cualquier teoría científica que es planteada.

Por otro lado el Dr. Jorge Núñez Jover (2014) define “la idea de técnica como una acción asociada habitualmente al hacer, al conjunto de procedimientos operativos útiles desde el punto de vista práctico para determinados fines. En una forma muy primaria y elemental. De igual modo, las técnicas, aunque en mayor o menor medida estén respaldadas por conocimientos, su sentido principal es realizar procedimientos y productos y su ideal es la utilidad.”<sup>5</sup> Por esto creo que la conceptualización de la técnica

<sup>3</sup> Ídem.

<sup>4</sup> Ídem.

<sup>5</sup> Núñez Jover, J. (2014). La ciencia y la tecnología como procesos sociales. Lo que la educación científica no debería olvidar. *Organización de estado iberoamericanos, Ciencia, Tecnología y Sociedad + Innovación.*

ha sufrido un proceso de cambio y de evolución hacia el conocimiento científico que es apoyado por la experiencia y la práctica, la técnica, transformándose en tecnología. La tecnología tiene la responsabilidad de “derivar lo real de lo posible a través de la selección de la variante óptima. Esa es la tarea de la tecnología: la búsqueda sistemática de lo óptimo dentro de un campo de posibilidades. Así, la tecnología no se identifica con algunos productos ni tampoco con la ciencia aplicada. Hay decisiones y acciones propiamente tecnológicas influidas por un criterio de optimización inevitablemente afectado por circunstancias sociales.” (Mockus, 1983)<sup>6</sup> Por lo anterior, el desarrollar tecnología no significa simplemente desarrollar una técnica de forma industrial y con un conocimiento científico, es el comprender un entorno natural y social para adaptar decisiones económicas y de innovación. La tecnología vista desde el mundo occidental nunca ha perdido su determinismo social pero es claro que son determinismos sociales no equitativos, el manejo de la tecnología por intereses sociales es el común denominador del desarrollo tecnológico moldeado para favorecer ciertas condiciones económicas. Esto da origen a un progreso fuera

de control. Dentro de una visión catastrófica, el desarrollo sin control de la tecnología nos puede conducir a que seamos completamente dependientes de las comodidades fabricadas por el desarrollo tecnológico y concluya en la deshumanización, este podría ser el peor de los escenarios. El progreso tecnológico sin control perjudica, descontextualiza e ignora las redes de intereses sociales y corta la posibilidad al debate sobre los fines sociales que el desarrollo tecnológico quiere alcanzar, no como un resultado final, sino como un proceso social que integre factores psicológicos, económicos, políticos, sociales y culturales.

Por ello es momento de valorar las condiciones de la tecnología y si los paradigmas existentes son los correctos para continuar con el desarrollo tecnológico sin control, ya que las tecnologías actuales no pueden considerar si un material constructivo es apropiado o no, si la misma técnica, tecnología o sistema constructivo es o no es apropiado para lograr una sustentabilidad adecuada. A consecuencia debo definir que es una tecnología o técnica apropiada para poder delimitar los materiales apropiados para una actividad humana disfuncional, como es la construcción en nuestros días. Las características de disfuncionalidad que posee la

<sup>6</sup> Mockus, A. (1983). Ciencia, técnica y tecnología. *Naturaleza, Educación y Ciencia*.



arquitectura como un proceso de producción son en principio originadas por la falsa conceptualización de que la construcción es únicamente una actividad económica. La arquitectura más allá de ser actualmente una actividad económica nunca dejará de ser la forma de adaptación del ser humano al medio a través de la generación de un espacio para refugiarse. Las tecnologías apropiadas también llamadas por Schumacher (1983)

Tecnologías intermedias, yo lo he denominado tecnología intermedia para dar a entender que es muy superior a la tecnología primitiva de épocas pasadas, pero al mismo tiempo mucho más simple, más barata y más libre que la supertecnología de los ricos. Se podría llamar también tecnología de autoayuda, tecnología democrática o tecnología del pueblo. Una tecnología a la cual todo el mundo puede tener acceso y que no está reservada sólo para aquellos que ya son ricos y poderosos.”<sup>7</sup>

Estas tecnologías se basan en el uso y aplicación de los recursos (materiales, humano y técnicos) disponibles en el sitio donde serán utilizadas, que eviten gastos innecesarios y vayan en contra

<sup>7</sup> Schumacher, E. (1983). *Lo pequeño es hermoso*. Buenos Aires: Ed. Orbis.

del intercambio transregional (*figura 3 y 4*), (o “transnacional” como es que el mundo occidental lo entiende) de recursos extraños al sitio que ocasionen abandono del lugar, que contaminen ambiental y socialmente. Las tecnologías apropiadas son también la forma de hacer, aprender y resolver problemas que adapten las habilidades de las personas que se desempeñan en una labor determinada, para así evitar la importación de modelos o tecnologías costosas que no se adecuen a las necesidades de las regiones. Estas tecnologías importadas son parte de un sistema de producción masivo que se basa en la inyección de gran cantidad de capital, dependencias energéticas no renovables y consumidoras de la mano de obra.

Las técnicas y tecnologías apropiadas es un concepto que comúnmente se utiliza para el desarrollo y la aplicación tecnológica en sectores marginales, esto es la primera muestra de los errores de concepción hacia estas tecnologías, ya que son usualmente enfocadas para quién no puede costear “las otras tecnologías”, las tecnologías manufacturadas industrialmente, insostenibles y auto-insuficientes. Todo esto crea un bajo uso de tecnologías y técnicas apropiadas por su falsa concepción de deficiente confort y por el desprecio ya que



^ figura 3. Montículos de sal, salar de Uyuni, Bolivia.



^ figura 4. Ladrillos hechos a base de sal, salar de Uyuni, Bolivia.

representa un sector de la sociedad olvidado y decadente. Gracias a estos factores han originado que las tecnologías desarrolladas en procesos industrializados tengan un uso excesivo y sin ningún control, que es lo que realmente afecta nuestro entorno, que fractura los ciclos de vida de los materiales naturales y manufacturados artesanalmente. Según Schumacher (1983), “la tecnología de la producción masiva es inherentemente violenta, ecológicamente dañina, autodestructiva en términos de recursos renovables y embrutecedora para la persona humana.”<sup>8</sup> Por eso la tecnología de la producción masiva nunca es un objeto aislado, es un sistema que configura a una sociedad a través del diseño justificándose por la necesidad humana y que causa una

enajenación tecnológica, por lo que una investigación tecnológica debe estudiar todo un sistema no un suceso aislado en un espacio controlado como son los laboratorios.

Una tecnología arquitectónica masiva al igual que un prototipo de diseño arquitectónico en el mundo occidental es una manifestación de poder que incapacita a otros seres humanos, que origina una sociedad mecánica que tiende a vivir de ahorrar tiempo. El ahorro del tiempo alimenta un sistema de producción y consumismo tecnológico masivo que niega la cultura propia de cada individuo que se encuentra en este sistema, por lo que destruye la diversidad y la descalifica.

Desde el punto de vista del diseño arquitectónico para aplicar las tecnologías apropiadas se debe

<sup>8</sup> Ídem.

voltear al concepto de la arquitectura pasiva. La arquitectura pasiva se basa en el diseño de construcciones que aprovechan las condiciones ambientales del entorno para tener un confort climático adecuado y el consumo energético mínimo para conseguir el confort del hábitat sin la necesidad de utilizar fuentes externas excesivas del medio circundante. Una arquitectura con estas condiciones se apoya en tecnologías apropiadas para su construcción, por lo que la arquitectura pasiva es dependiente de las tecnologías apropiadas y viceversa para que sea un sistema complejo sustentable.

Características de las técnicas y tecnologías apropiadas:

- Poca inversión de económica.
- Uso de materiales disponibles en la región.
- Una mayor productividad que las tecnologías industriales tradicionales.
- Pueden ser realizadas sin la necesidad de un conocimiento profesional o especializado, pero con una experiencia o teoría compartida por alguien especializado.
- Pueden producirse a pequeñas escalas.
- Son flexibles, se adaptan al contexto, porque nacen del mismo contexto.  
(figura 5)

### **La tierra y la tapia.**

La tierra, un material olvidado para la construcción, visto con desprecio por su característica de natural u ordinario al igual que muchos otros materiales tradicionales o no manufacturados industrialmente. Estos materiales que no pasan por un sistema industrializado son vistos en general por la sociedad occidental como materiales para que las personas de bajos recursos económicos construyan sus viviendas. En consecuencia los materiales manufacturados industrialmente son vistos como los apropiados para construir en grandes urbes, ya que muestran modernidad, poder adquisitivo, seguridad y confort para la vivienda. Este es el pensamiento general de la población en zonas urbanas en Latinoamérica por no decir en todo el mundo y cada vez es más frecuente en zonas rurales. Todo esto camina en paralelo y en consecuencia del modelo de desarrollo económico, que se basa en el lucro y explotación de los recursos naturales que originan una desigualdad social sin control que detona en un cambio climático a través de una crisis energética, la concentración territorial excesiva de la población y el consumo exacerbado. Esta crisis ambiental es simplemente el desarrollo evolutivo del hombre, que naturalmente no tiene nada de desarrollo y ni de evolutivo,



^ figura 5. Tecnología apropiada aplicada en la vivienda. Prototipo de vivienda para municipio de San Miguel Allende

por lo que debemos tomar otro camino de estrecha relación con la Tierra, increíblemente redundante, es que el mismo pseudónimo de nuestro planeta nos da una posible solución para una de las industrias más contaminantes del ser humano, la construcción con tierra.

### **Sustentabilidad arquitectónica por medio de materiales tradicionales.**

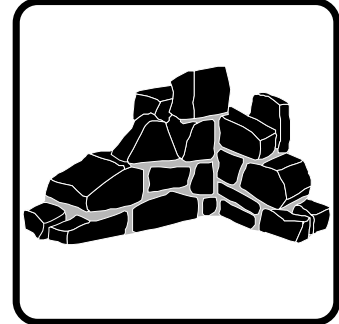
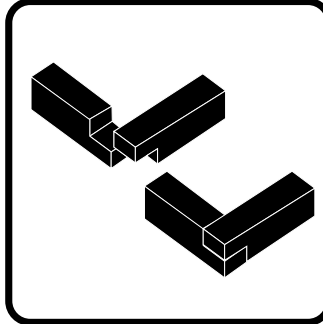
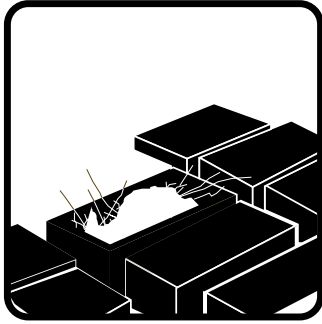
La construcción con materiales naturales es solo una parte del concepto de desarrollo sostenible que se ha generalizado desde 1987 (figura 6) después de la divulgación del Informe Brundtland mencionado por Lira Dantas, R.M. (2009), –

Este documento fue el resultado de las conversaciones celebradas por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) y presidida por la médica y diplomática noruega Gro Harlem Brundtland, en 1983 – cuya idea principal indica

que el desarrollo sólo es eficaz cuando se permite el apoyo de las generaciones presentes sin comprometer la supervivencia de las generaciones futuras.<sup>9</sup>

El desarrollo sustentable se hará también posible si se alcanza un equilibrio social y ambiental sin ser afectado por la desestabilidad económica. Para lograr este nivel de desarrollo tiene que haber un acoplamiento transdisciplinario, en este caso en la industria de la construcción. Es esta industria una de las más activas en la degradación ambiental. Como lo refiere (Gauzin-Muller, 2002), “la construcción y el uso de edificios suponen el consumo de 50% de los recursos naturales, 40% de la energía y 16% de la agua, lo que representa un

<sup>9</sup> Lira Dantes, R. (2009). Movimientos que impulsaron a avaliação da impactos ambientais no Brasil. *Jornada de Ensino, Pesquisa e Extensão*, (págs. 1-11).



^ figura 6. Ejemplos de técnicas constructivas tradicionales: Adobe, ensamblajes de madera para estructuras y muros de mampostería.

consumo energético responsable por la generación de más de 25% del total los gases que promueven el calentamiento global, sobre todo dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)."<sup>10</sup> Esto nos lleva a la búsqueda de alternativas sustentablemente eficientes y la respuesta no está en inventar nuevas técnicas, sino en el desarrollo tecnológico de técnicas ancestrales que fueron y son sustentables (figura 6), en contraposición a las industrias contaminantes de la construcción, "como la industria del cemento, que hoy promueve 8% del calentamiento global, desde su extracción, transportación, manufactura, uso y desecho, o también como resultado de la industria del petróleo el 80% del calentamiento de la atmósfera proviene de esta." (Silvia & Carvalho, 2007)<sup>11</sup> "Pero al mismo tiempo

un tercio de la población mundial vive en edificios construidos con tierra y es difícil encontrar un país que no tenga edificaciones hechas a base de tierra." (Houben & Guillaud, 1994)<sup>12</sup> Entonces ¿Por qué no se ve reflejado ese porcentaje en los problemas ambiental que tenemos actualmente? Esto nos da pie a cuestionar quién y donde se construye con tierra para causar muy poco o ningún impacto ambiental positivo.

### Suelo o tierra

El suelo o la tierra es el resultado de la erosión de las rocas en la superficie terrestre. Esta erosión se lleva a cabo a través de diversos procesos físicos, químicos y biológicos relacionados con las condiciones biológicas y climáticas, así como, con la vida vegetal y

10 Gauzin-Muller, D. (2002). *Arquitectura Ecológica*. Barcelona: Gustavo Gili.

11 Silvia, D., & Carvalho, R. (2007). *Construções Ecológicas e Sustentáveis: Análise Comparativa de Custos entre Painéis em Bambu e Barro com Alvenaria de Bloco*. *TecBahia: Revista Baiana de*

*Tecnologia*, 1-11.

12 Houben, H., & Guillaud, H. (1994). *Earth construction: a comprehensive guide*. London, UK: Intermediate Technology Publications.



^ *figura 7.* Construcción a base de la técnica de tapia, en Pensamiento Liberal Mexicano, Zaachila, Oaxaca.

animal (Houben & Guillaud,1994)<sup>13</sup>. Las propiedades básicas de la tierra que se deben conocer para su uso en la construcción son: la composición granulométrica, plasticidad, compactibilidad, humedad, liquidez y cohesión. Para el uso de la tierra en la construcción no debe contener materia orgánica.

### **Construcción con tierra - Tapia**

La técnica constructiva que se conoce como tapial (*figura 7*), tapia, suelo-cemento o tierra compactada en el lenguaje técnico-arquitectónico tradicional en México corresponde a un sistema constructivo monolítico a partir de un método de compactación. Este consiste en la construcción de muros

o montículos a partir de tierra cruda, pero es necesario aclarar el porqué de su nombre. Esta técnica constructiva es nombrada tapial en México por el nombre que se le da a la cimbra, ya que el tapial hace referencia a la cimbra o encofrado (palabra castellanizada al igual que tapial) con que se construye un muro de tierra apisonada con lo cual esta técnica adquiere el nombre de muro de tapia. Esto da pie a que de igual forma el concepto de tierra compactada es una definición no específica, si nos queremos referir a un muro hecho con tierra cruda apisonada este será un muro de tierra compactada pero no necesariamente un muro de tapia, porque un muro de tierra compactada puede o no realizarse con un tapial.

A partir de esto retomo algunas definiciones de esta técnica

13 Houben, H. & (1994). *Earth Construction: A comprehensive guide*. Londres: Intermediate Technology Publications.

constructiva que pueden explicar aún mejor dichos conceptos. Para Gernot Minke (2005):

La técnica de la tapia consiste en rellenar un encofrado con capas de tierra de 10 a 15 cm compactando cada una de ellas con un pisón. El encofrado está compuesto por dos tablonos paralelos separados, unidos por un travesaño. En francés esta técnica se denomina Pise de terra o terre pise, en inglés rammed earth, en alemán: Stampleflehmbau."<sup>14</sup>

Según Albert Cuchí i Burgos en su artículo "La técnica tradicional del tapial" (1996), El tapial es una técnica tradicional de ejecución de fábricas caracterizada por conformar el material en el mismo lugar en el que estará en servicio. El material, generalmente tierra, se conforma por apisonado dentro de un molde que se apoya sobre el mismo muro que se está ejecutando que sirve, a su vez, como único soporte de las actividades de montaje del encofrado, moldeo, desencofrado y traslado del molde hacia la siguiente posición de servicio.<sup>15</sup>

La Tapia Pisada es un

<sup>14</sup> Minke, G. (2005). *Manual de construcción para viviendas antisísmicas de tierra*. Kassel, Alemania.

<sup>15</sup> Cuchí i Burgos, A. (1996). La técnica tradicional de la tapia. *Actas del Primer Congreso Nacional de Historia de la Construcción*, 19-21.

procedimiento por medio del cual se construyeron y construyen edificaciones en tierra, sin sostenerlas con piezas de madera u otros materiales. Este método consiste en apisonar tierra preparada capa por capa, en medio de dos tablonos con el espesor normal de los muros de piedra. Apisonada de esta manera, la tierra se liga, toma consistencia y forma una masa homogénea, que puede ser elevada hasta la altura necesaria para una vivienda o construcción. (SENA)<sup>16</sup>

"Tapia" sirve para nombrar a un muro, una parte de muro, a un módulo o unidad constructiva. Además se ha utilizado como unidad de longitud (especialmente en lo referente a la altura), superficie, o volumen.

"Tapial" es el encofrado propio de la tapiería.

El uso popular, incluso el profesional ha provocado que, a partir del siglo XIX sea normal la confusión entre los dos últimos términos, en especial con el empleo de la voz

<<tapial>> para todo . Sin embargo Juan de Villanueva lo exponía claramente a principios de ese siglo: "Para construir tapias... es preciso hacer los cajones con dos

<sup>16</sup> SENA, C. d. (s.f.). *Construcción en muros de tapia y bahareque*.

tableros que se llaman tapias...”  
(Almirante y Torroella, 1869)<sup>17</sup>

Pau-a-Pique (barro a mano o tapia francesa)- Es una técnica antigua de edificación que consta de entrelazado maderas verticales fijados en el suelo con vigas horizontales, generalmente de bambú atados juntos por las vigas, dando lugar a un panel perforado de gran tamaño que se rellena con arcilla para conformar los muros. (Bazin, 1958)<sup>18</sup> El origen de estas construcciones en Brasil procede del Noro-este del país por la llegada de portugueses. En 1550 las primeras construcciones de la catedral de Bahía y en Minas Gerais la capilla de bom Jesus dos perdões, ouro preto, posteriormente reconstruidas con otros sistemas constructivos.

### Estabilizadores.

En cualquier técnica constructiva de tierra es necesario un elemento estructural o impermeabilizante, en los primeros es mecánicamente apropiado para evitar modificaciones de forma, tamaño y resistencia por medio de unir físicamente la tierra (*figura 8*), ya sea por fraguado o por fricción; los segundos

son los que mantienen la tierra fuera de contacto de la humedad, estos componentes son los estabilizadores. Los estabilizadores en sistemas de tierra pueden tener naturaleza vegetal, animal o mineral y pueden estar disponibles en la naturaleza como son:

- Arena y arcillas
- Cenizas de madera
- Excremento de animal
- Extractos de plantas
- Pajas y fibras de plantas

Pero también existen estabilizadores industrializados o manufacturados como son:

- Cal
- Cemento
- Melaza
- Resinas
- Silicato de sodio
- Sueros
- Yeso

La tierra o suelo natural, siempre que reúna ciertas características granulométricas, puede someterse a la estabilización. La adición de un agente estabilizante, como puede ser alguno de los expuestos anteriormente, mejorará sus cualidades o para añadir cualidades que no posea. El procedimiento de la estabilización

<sup>17</sup> Almirante y Torroella, J. (1869). *Diccionario militar, etimológico, histórico, tecnológico, con dos vocabularios francés y alemán*. Universidad de Minnesota.

<sup>18</sup> Bazin, G. (1958). *L'Architecture Religieuse Baroque au Brésil*. París: Éditions D'Historie et d'art Libraire Plo.



V figura 8. Estabilizadores estructurales más comunes para a tierra



consiste en extraer el suelo natural del terreno, agregarle una cantidad determinada de un estabilizador, el cuál busco que sea sustentable, más la adición de agua y realizar la mezcla. De esta manera se debe conseguir que la tierra soporte cargas de trabajo muy superiores a las que podría resistir la tierra sin estabilizador, además de obtener una buena durabilidad ante la acción de agentes atmosféricos. El estabilizador debe respetar un equilibrio ambiental, sea económicamente accesible, innovador y con todo esto se obtenga una equidad comunal.

### Microbiología-Bacterias.

La microbiología consta en el estudio de los microorganismos y sus actividades, su forma, estructura, reproducción, metabolismo e identificación, su distribución en la naturaleza, sus relaciones con otros seres, los efectos benéficos o

perjudiciales que ejercen sobre otros seres y las alteraciones físicas y químicas que provocan en su medio (Clay, 1981)<sup>19</sup>. Por lo común, su multiplicación es por fisión binaria, estas se desarrollan rápidamente y se reproducen a una velocidad extraordinaria, algunas especies de bacterias alcanzan casi 100 generaciones en 24 horas. (Clay, 1981)<sup>20</sup>

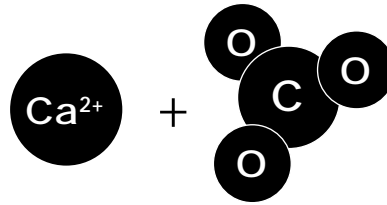
Las bacterias son microorganismos unicelulares del tamaño de algunos micrómetros de largo, presentes en animales y plantas, no tienen núcleo ni orgánulos internos. Las bacterias son los organismos más abundantes del planeta y son imprescindibles para el reciclaje de formas, esferas, barras y hélices. Las bacterias son células procariotas y se encuentran en casi cualquier lugar del planeta, en el caso del suelo, en un gramo de suelo

19 Clay, H. (1981). *Microbiological precipitation of CaCO<sub>3</sub>*. Journal of Soil Biology and Biochemistry.

20 ídem



^ figura 9. Esporas multicelulares de Bacteria Myxococcus xanthus



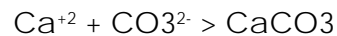
^ figura 10. Modelo molecular del Carbonato de calcio (calcio + carbonato)

se ha calculado que hay algunas decenas de millones de bacterias y su actividad metabólica es tan grande que pueden desprender en una hora, a través del proceso respiratorio, varios kilos de dióxido de carbono. Las bacterias pueden dividirse en dos grandes grupos por su alimentación, las autótrofas y heterótrofas; las primeras utilizan como fuente de carbono el CO<sub>2</sub> y como fuente de nitrógeno a los nitratos y los compuestos de amonio; las heterótrofas, extraen ambos elementos del material orgánico existente en el suelo. (Murray, Rosenthal, & Pfaüer, 2006)<sup>21</sup> (figura 9)

### Estabilización por medio de la precipitación de calcita.

La precipitación de calcita es un proceso químico mediante el cual los cationes de calcio se unen a iones

carbonato para formar carbonato cálcico. En la actualidad hay varias investigaciones sobre la influencia que tienen ciertos microorganismos en este proceso. (figura 10)



Calcio + Carbonato > Carbonato de calcio

El carbonato de calcio es un compuesto químico, de fórmula CaCO<sub>3</sub>. Se trata de un compuesto ternario (los compuestos ternarios son compuestos que están formados por tres átomos de distinta naturaleza. Al igual que en las combinaciones binarias no quiere decir que los compuestos ternarios estén formados por tres átomos, pueden tener un número mayor de átomos pero tienen en común que están formados por tres elementos distintos.) , que entra dentro

<sup>21</sup> Murray, P. R. (2005). *Microbiología médica*. Madrid, España: 5a edición ed. Elsevier.

de la categoría de las oxosales (vamos a considerar a los oxosales como compuestos formados por dos partes: una parte positiva (catiónica) que suele ser un catión metálico y otra negativa (aniónica) que será un oxoanión, es decir, deriva de un oxoácido que ha perdido todos o alguno de sus hidrógenos.) El carbonato de calcio es una sustancia muy abundante en la naturaleza, formando rocas, como componente principal, en todas partes del mundo y es el principal componente de conchas y esqueletos de muchos organismos por ejemplo moluscos o corales o las cáscaras de huevo. Es la causa principal del agua dura. Es fundamental en la producción de vidrio y cemento, entre otros productos.

Es el componente principal de los siguientes minerales y rocas:

- Calcita
- Aragonito
- Caliza
- Travertino
- Mármol

### **Bacilos.**

“Los Bacilos tienen forma de bastones, es un microorganismo gram-positivo, productor de endoesporas, puede ser aerobio estricto o anaerobio facultativo, está ampliamente distribuido en la naturaleza y es muy

frecuente en las muestras que se toman del suelo.” (Colectivo de autores, 1992)<sup>22</sup>. Aunque el oxígeno es esencial para el ser humano, en realidad constituye una sustancia tóxica para muchas bacterias. Algunos microorganismos (p. ej., *Clostridium perfringens*, causante de gangrena gaseosa) no pueden crecer en presencia de oxígeno. Este tipo de bacterias son conocidas como anaerobias estrictas. En cambio, otras bacterias (p. ej., *Mycobacterium tuberculosis*, agente etiológico de la tuberculosis) requieren la presencia de oxígeno molecular para su crecimiento y, en consecuencia, se denominan aerobias estrictas. Sin embargo, la mayor parte de las bacterias puede crecer tanto en presencia como en ausencia de oxígeno, en cuyo caso reciben el nombre de anaerobias facultativas. (Murray, Rosenthal, & Pfaüer, 2006)<sup>23</sup>

### **1.2.1 Habitabilidad.**

“Habitabilidad en su estructura gramatical contiene el sufijo -dad que se refiere a cualidad, por lo que el término habitabilidad se define como: cualidad de lo habitable. Cualidad significa: cada uno de los caracteres

22 Colectivo de autores, .. (1992). *Microbiología Veterinaria*. La Habana: Ed. Pueblo y Educación.

23 Murray, P., Rosenthal, K., & Pfaüer, M. (2006). *Microbiología médica*. Madrid, España: Elsevier Imprint, Versión en español de la 5.a edición de la obra en inglés.

naturales o adquiridos.” (RAE, 2001)<sup>24</sup> “Por lo que habitar se define como: vivir, morar. Y estas a su vez significan morar: residir habitualmente en un lugar; y vivir: existir uno con cierta permanencia en un lugar o en un estado o condición.” (RAE, 2001)<sup>25</sup>. La palabra habitar viene del latín *habitare*, frecuentativo de *habere* (tener). Entonces se entiende *habitare* como: tener de manera reiterada. (<http://etimologias.dechile.net/?habitar>, 2014)<sup>26</sup>

Según Heidegger (1994), “Así pues el habitar sería en cada caso el fin que preside todo construir. Habitar y construir están el uno con respecto al otro en la relación de fin a medio”<sup>27</sup>. Por otro lado Norberg-Schulz (1985), dice que “el habitar implica el establecimiento de una relación significativa entre el hombre y un entorno determinado.”<sup>28</sup> (figura 11) El entendimiento del habitar va más allá a simplemente estar en un espacio, la apropiación de tu espacio y tenerlo nos dará la condición del habitar un sitio, poder vivirlo y hacerlo una extensión más de nuestro cuerpo, por lo que su textura, temperatura, reflejo,

etc., son propiedades necesarias para la adaptabilidad hacia nuestro espacio. El sustantivo de habitar es el hábitat, que es cualquier espacio del cual nos apropiamos a corto, medio o largo plazo, el hábitat no está condicionado por espacios exteriores o interiores, pero existen hábitats más importantes que otros para cada persona. Por ejemplo el hábitat por excelencia del ser humano es el hogar representado físicamente en la vivienda.

El concepto de vivienda desde un punto de vista funcional es “una estructura construida por el hombre para responder a ciertos requerimientos de la vida cotidiana de una familia.” (Villavicencio, 1993)<sup>29</sup> En la sociedad moderna tenemos que entender la familia con distintos tipos de organización social cercana o inmediata, no necesariamente una familia responderá al significado de una familia nuclear compuesta por padres e hijos; sino a familias extensas, consanguíneas pero no inmediatas o familias unipersonales. La vivienda dentro de una arquitectura responsable debe responder como una protección al medio y de adaptación a su entorno a partir de materiales que buscan la mejor armonía con el ambiente. La diferenciación de la vivienda a

24 RAE, R. A. (2001). *Diccionario de la Lengua Española (23da ed.)*. Madrid.

25 Ídem.

26 <http://etimologias.dechile.net/?habitar>. (2014).

27 Heidegger, M. (1994). *Conferencias y artículos*. Barcelona: Ediciones del Serbal.

28 Norberg-Schulz, C. (1985). *The concept of Dwelling: On the way to figurative architecture*. New York: Rizzoli International Publications.

29 Villavicencio, J. (1993). *Reflexiones sobre la construcción del hábitat popular de América Latina*.



^ figura 11 Vivienda a base de totora en el lago Titikaka, Perú. Entendimiento con su entorno

partir de la desigualdad entre los sectores económicos y los conceptos de sustentabilidad a partir del desarrollo tecnológico en materiales constructivos, se clasifica actualmente en viviendas sociales para sectores con ingresos bajos o viviendas para sectores de altos ingresos, viviendas formales e informales.

### **Habitabilidad de la vivienda social urbana.**

La ciudad resultó en el elemento espacial derivado originalmente de una convergencia social sucedida principalmente en el siglo XX pero que actualmente es la ciudad en sí y su magnitud, la que origina la falta de habitabilidad y se basa en un proceso de desarrollo anti-ambiental, como el elemento espacial individualista por excelencia. Para Kevin Lynch (1984) la ciudad.

... es una construcción en el espacio, pero se trata de una construcción en vasta escala, de una cosa que sólo se percibe en el curso de largos lapsos. El diseño urbano es, por lo tanto, un arte temporal (*figura 12*), pero que sólo rara vez puede usar las secuencias controladas y limitadas de otras artes temporales, como la música, por ejemplo. En diferentes ocasiones y para distintas personas, las secuencias se invierten, se interrumpen, son abandonadas, atravesadas. A la ciudad se la ve con diferentes luces y en todo tipo de tiempo.<sup>30</sup>

La gran escala de la ciudad y su atemporalidad, son las características que originan el individualismo y la no apropiación del espacio. Todo esto a través del deterioro en los regímenes para el desarrollo de vivienda social

<sup>30</sup> Lynch, K. (1984). *La imagen de la ciudad*. Barcelona: Ed. Gustavo Gili.



^ figura 12 Vista de la ciudad de La Paz, Bolivia.

urbana, estructurados por sistemas constructivos sin adaptabilidad contextual, es decir, los sistemas constructivos impuestos por el sistema económico que predomina en las ciudades actuales son validados por su velocidad al construir cualquier obra arquitectónica. Pero estos sistemas constructivos suelen no responder a un ciclo de vida regenerativo que ponga en primer plano la sustentabilidad. Todo esto trae consigo la falta de habitabilidad de las personas en las ciudades, se necesita que las personas logren apropiarse de su espacio por medio de tomar de una forma consiente los materiales al alcance y saberlos manipular para que les dé acceso a la autoconstrucción, que produzcan una menor cantidad de residuos contaminantes que promuevan aún más el calentamiento global.

### **Sistemas constructivos de tierra como arquitectura pasiva.**

Los materiales naturales deben tener un principio básico de proceso manufacturable, no crear compuestos extraños a su constitución natural, ni tener procesos manufacturables fuera de su ubicación original, para que sea usado como material constructivo dentro la misma localidad donde se comenzó el proceso de dicho material. Un ejemplo es la tierra es un material constructivo que puede contrarrestar las propiedades contaminantes negativas que la ciudad actual contiene y aunque el 30% de la población mundial viva en viviendas construidas con tierra, estas viviendas se encuentran en pocas zonas urbanas y en su mayoría en zonas rurales. (Houben & Guillaud, 1994)<sup>31</sup>

31 Houben, H., & Guillaud, H. (1994). *Earth construction: a comprehensive guide*. London, UK: Intermediate Technology Publications.

Entonces ¿por qué no existe un mayor porcentaje de edificaciones de tierra en las zonas urbanas?

Esta investigación plantea el desarrollo de la técnica de la tapia para su reproducción en una escala urbana, por lo que tengo que revelar las condiciones que la población ve en esta técnica y porque es una técnica que no se reproduce en barrios urbanos.

El tapial, por medio de la tierra cruda es un material formáceo, apto para fabricar in situ grandes monolitos a los que se da la forma que se desea dentro de ciertos límites y leyes. Sus posibilidades económicas en muros de edificación popular, sus magníficas condiciones térmicas, anti sonoras e incluso estáticas no son despreciables para ciertos casos y usos; y su resistencia y durabilidad pueden ser sensiblemente mejoradas con ciertas técnicas iniciadas modernamente, como es la de su amasado con una pequeña cantidad de cemento portland, después de bien estudiada la granulometría, la composición petrográfica y el comportamiento geológico de sus tierra. (Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, 1995)<sup>32</sup>

Para clasificar si las propiedades de

alguna tecnología son mejores que otra hay que definir los límites paradigmáticos en que evalúo estas propiedades. Se pueden definir paradigmas mercantiles, sustentables, de dominación, etc. En este caso voy a definir mi paradigma dentro de un sistema sustentable el cual debe valorar condiciones sociales, económicas, ambientales, innovadoras y estéticas. La tierra, en específico la técnica de la tapia tienen condiciones de confortabilidad mucho mejores que otros materiales y técnicas que usamos día tras día en la construcción de viviendas en las ciudades. Las propiedades mecánicas, térmicas, acústicas, económicas, ecológicas y estéticas de la tapia no solo son comparables de igual a igual con sistemas constructivos usados en las ciudades son en su mayoría mejores. (figura 13) "La tierra es el material de construcción con menor huella ecológica y puede manipularse sin una sofisticada capacitación de mano de obra, lo que implica que puede ser aplicada básicamente para la solución de demandas habitacionales." (Barros & Imhoff, 2010)<sup>33</sup> Otras características importante de las técnicas de tierra como la tapia para su promoción es el punto de vista económico y por sus

32 Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, (. (1995). *Habiterra*. Bogotá.

33 Barros, L., & Imhoff, F. (2010). Resistencia sísmica del suelo-cemento postensado en construcciones de baja complejidad geométrica. *Revista de la construcción*, 26-38.



figura 13. >  
Esquema del proceso cíclico de la tierra como material de construcción

condiciones térmicas, que favorecen a sectores de la población con pocos recursos económicos que evitan el uso de otros materiales para su uso en acabados térmicos. “La tapia es un sistema que queda terminado sin necesidad de estuco, y tiene un mejor índice de conductividad térmica ( $\lambda=0.30 \text{ W/ } ^\circ\text{C m}$ ) si se compara con un muro de albañilería ( $\lambda=0.85 \text{ W/ } ^\circ\text{C m}$ ).” (Barros & Imhoff, 2010)<sup>34</sup>

Las propiedades mecánicas de la tierra y específicamente de la tapia son las propiedades más investigadas en estos sistemas constructivos, ya que son las que originan más desconfianza sobre todo en ciertas zonas sísmicas de la Tierra. La resistencia mecánica también es vulnerable a la humedad y por lo que la tapia suele erosionarse con facilidad por agentes exteriores al material. La tapia como el adobe son

sistemas constructivos estructurales, según Julio Vargas (1993),

...vale la pena mencionar estudios de resistencia de materiales realizados en años recientes, que han demostrado que los muros de tapia soportan en promedio un 40% más esfuerzos de compresión, tensión y corte que aquellos edificados con base en mampostería de adobe, los cuales, a pesar de su frecuente uso y difusión en todo el mundo, llegan a desarrollar fallas estructurales debido a la falta de homogeneidad entre las piezas y el mortero que las une.<sup>35</sup>

Con estas condiciones mecánicas presentes en la tapia, más las que se

35 Vargas, J. (1993). Earthquake resistant rammed earth buildings. *Memorias de la 7a Conferencia Internaiconal Sobre o Estudo e Conservacao de Arquitectura de Terra*. Lisboa.

34 Ídem.



quieren lograr con un estabilizador microbiológico que mejorará su resistencia a los esfuerzos de compresión, en esta investigación se tiene que mostrar la seguridad estructural que la tierra cruda tiene en muros de tapia para ser aplicado en la Ciudad de México y se pueda reproducir primordialmente en zonas urbanas latinoamericanas. Ciudades, que se encuentran en zonas altamente sísmicas a lo largo de la costa del Pacífico y que desde hace siglos se construye con tierra cruda.

Las condiciones climáticas de Latinoamérica son generalmente adecuadas para el uso de la tapia como sistema constructivo en las viviendas, ya que es un material adecuado térmicamente y su uso debería ser algo más lógico en las ciudades modernas, es el material que tenemos bajo nuestros pies.

### **Convergencia entre arquitectura tradicional (vernácula), arquitectura tecnológica pasiva y arquitectura social.**

La conjunción de los sistemas de tapia prehispánicos y coloniales es el claro ejemplo de adaptabilidad de esta técnica, donde la tecnología de los sistemas constructivos de tapia en América era en grandes dimensiones y en montículos, mientras que la tecnología europea era de menor

dimensión con la definición de las hiladas y el visible uso de cimbras.

### **1.3.1 Origen de los distintos métodos de tapia.**

#### **Histórico-global.**

Los muros de tapia o muros de tierra compactada son elementos estructurales que no son originarias de alguna cultura en específico, pero también es cierto que no en todos los sitios el proceso constructivo es el mismo, esta forma de construir con tierra tiene diferentes comienzos y floreció en distintas civilizaciones con distintas características constructivas a raíz de los materiales que se tenían a su disposición.

Para realizar un estudio más preciso de las propiedades constructivas de la tapia, que se ha desarrollado en Latinoamérica a través de los siglos, para poder responder de mejor forma tecnológica a esta técnica y poder aplicarla en la Zona Urbana de la Ciudad de México, hay que realizar una investigación histórica global de la introducción de esta técnica a nuestra cultura constructiva. De igual manera registré las características globales de la geografía donde se utilizó y utiliza la tapia para demostrar las propiedades físicas adecuadas que debe tener y así responder al contexto social, innovador,

ambiental, económico y estético de la ciudad.

El uso de tierra como un sistema constructivo aparece hace miles de años, sencillamente porque es el elemento que le da nombre a la Tierra, no se sabe exactamente cuando se empezó a utilizar la tierra como material constructivo pero existen vestigios que datan del Neolítico desde el 7000 antes de N.E. entre los ríos Tigris y el Eufrates en la región de Mesopotamia donde se encontraron vestigios de algunos muros de tierra compactada y adobe. Las civilizaciones mesopotámicas comenzaron a desarrollarse en el delta de los ríos Tigris y Eufrates con el Golfo Pérsico, hoy Kuwait, tras desplazarse desde la zona del Levante. El florecimiento de Sumeria (3500-2350 antes de N.E.) al sureste de la región de Mesopotamia fue el origen de un modelo urbano integrado por el templo y el palacio que conformo las ciudades estado de Ur, Uruk, Lagash, Susa y Babilonia. Babilonia prosperó desde la época de los sumerios, posteriormente ocupada por los Acadios, Acad (2350-2150 antes de N.E.) se expandió hacia el noroeste. Posteriormente la civilización Babilónica (2000-539 antes de N.E.) y Asiria (1350-625 antes de N.E.) este fue un período de gran expansión de la cultura Mesopotámica, ocupando gran parte de la Media Luna, hoy Iraq,

Kuwait, Turquía, Líbano, Siria, Jordania, Palestina y parte del oeste de Irán, donde se construyeron los Zigurats, templos construidos con bloques de tierra o adobes y en donde se han encontrado algunos elementos de tierra compactada. La cultura Persa se desarrolló en lo que ahora es el sur de Irán donde se encuentran restos de construcciones en tierra, expandiéndose por toda la Media Luna, ocupando desde Egipto hasta Afganistán. En la ciudad de Tepé Yajjiá (Persia), Jérico, o en las murallas de Nínive (Siria) en 3400 antes de N.E., en Irak la torre de Tak-e-kesra del siglo VI antes de N.E. o en ciudades turcas desde el 2000 antes de N.E. como son Catal Hayuk y los hábitats troglodíficos de Capadocia. Ciudades que aún perduran en Yemen como son Tarim, Shibam y Sanaa en el S. VII antes de N.E. (*Anexo 1*)

En la zona oriental de Asia de igual forma se han encontrado estructuras de tierra compactada tan antiguas como en Mesopotamia, en la cordillera de los Himalaya se encuentra el palacio del Dalai-Lama del 7000 antes de N.E. y que pudo ser el origen de esta técnica usada por los chinos en la gran muralla china donde en algunas secciones de la muralla construyeron con tierra compacta cuatro siglos después. De igual forma propongo una hipótesis

donde los sistemas de construcción con tierra de Mesopotamia y la región del Himalaya se encontraron también en la zona de Asia central (Kasajistán, Kirguistán, Tayikistán, Turkmenistán y Uzbekistán) donde se encuentran ciudades como Bujara o Srinagar en el 500 a.N.E. (Anexo 2)

Al rededor del S. I a.N.E. En las culturas prehispánicas en América se tenía un entendimiento con los recursos naturales pero sin su excesiva perturbación, había una optimización de cada materia prima para utilizarlos en la construcción de su entorno arquitectónico, de esta forma la tierra cruda fue un elemento constructivo aprovechado para distintas tipologías de edificios. "Durante la época prehispánica el manejo del sistema de tierra compactada se restringió a la construcción del núcleo de algunos basamentos, pero no se han identificado muros realizados con la técnica de tapia." (Guerrero Baca, 2014)<sup>36</sup> De igual manera a parte de los basamentos de tierra compactada para las pirámides en algunas zonas de América, hay registro de restos de edificaciones a partir de tierra compactada en Tular, San Pedro de Atacama, Chile y Paquimé en Chihuahua, México. En estas

edificaciones la tierra compactada está conformada en muros, pero no hay registros o indicios del uso de un tapial o cimbra donde haya sido compactada la tierra. Por tal motivo las teorías acerca del uso de tapias previo a la colonia se direccionan a la inexistencia de la técnica de la tapia, pero no así al uso de la tierra apisonada o compactada, donde este método constructivo fue utilizado para el relleno a través de montículos en edificios piramidales donde la tierra era contenida por mampostería para obtener la simetría y proporción deseada. (Anexo 3)

Como una hipótesis de la ruta de la tapia a lo largo de la historia plateo un período crucial para el desarrollo de esta técnica entre los siglos 500 a.N.E. y 1000 d.N.E., donde los Fenicios alrededor del S. III (territorio fenicio hoy Siria, Líbano y Palestina/Israel) por sus rutas comerciales, de navegación y conquistas por el Mediterráneo transmitieron y expandieron la técnica de la tapia. Otra posible ruta, pudo ser por toda la costa norte de África y cruzando el Mediterráneo hasta el sur de España. La otra ruta que pudo tomar la tierra compactada fue a través del Imperio romano por la actual Turquía y los Balcanes hasta la ciudad de Roma y la región de Piamonte.

Alrededor del S. VIII d.N.E. en lo

<sup>36</sup> Guerrero Baca, L. (2014). *Tradición constructiva con tapial en las faldas orientales del Iztac-cíhuatl*.

que hoy es Marruecos se levantaron edificaciones hechas a través de la técnica de la tapia, en la ciudad de Marrakesh se encuentra el Palacio de El Badi, En el valler del Dadés el Ksar de Ait Ben Hadu, una ciudad fortificada construida de muros de tapia, una arquitectura que se vería posteriormente en la ocupación Musulmana en España. La civilización almohade en España esparció la tapia por la península ibérica en España y Portugal a parte de la influencia cultural romana absorbida por la conquista cultural en territorios de medio oriente. A lo largo de la costa Mediterránea de España hay palacios, muralla y torres almohades construidas con tapia como la técnica principal, en las ciudades de Andalucía, Valencia y Catalunya. Como muchas influencias culturales de la península Ibérica, la arquitectura y sus técnicas constructivas no fueron la excepción, las técnicas constructivas también fueron transmitidas e impuestas en el continente americano y a las culturas originarias con la conquista española y portuguesa. Esto dio a origen a la perfección y contribución mutua de las técnicas de tierra compactada entre los pueblos originarios de américa y los pueblos ibéricos. (Anexo 4)

### **Arquitectura Religiosa barroca en Brasil.**

En gran parte de Latinoamérica se empleó la técnica de la tapia en arquitectura religiosa, civil, habitacional e infraestructura. En el noroeste de Argentina, Bolivia y Guatemala se desarrolló numerosa arquitectura habitacional con tierra. En Sao Paulo, Brasil, se usó la tapia por un periodo de tres siglos pero la ciudad fue destruida y su reconstrucción fue con ladrillo, sin embargo algunas edificaciones se preservaron, actualmente se conservan como parte del patrimonio histórico de la ciudad como el templo de San Antonio en Sao Roque. En Minas Gerais tras la explotación de la minería la Iglesia migro a este estado para implantarse entre las personas originarias, esto llevó a un proceso de expansión de la técnica de la tapia.

Como un caso de estudio en los antecedentes de la tapia en Latinoamérica tomo como ejemplo la arquitectura religiosa Barroca en Brasil, para identificar procesos sociales que integraron una sociedad dividida por medio del desarrollo técnico de la tapia al crear edificios de gran escala e icónicos en ciudades latinoamericanas, y así identificar el camino histórico que este sistema constructivo recorrió paralelamente a la arquitectura

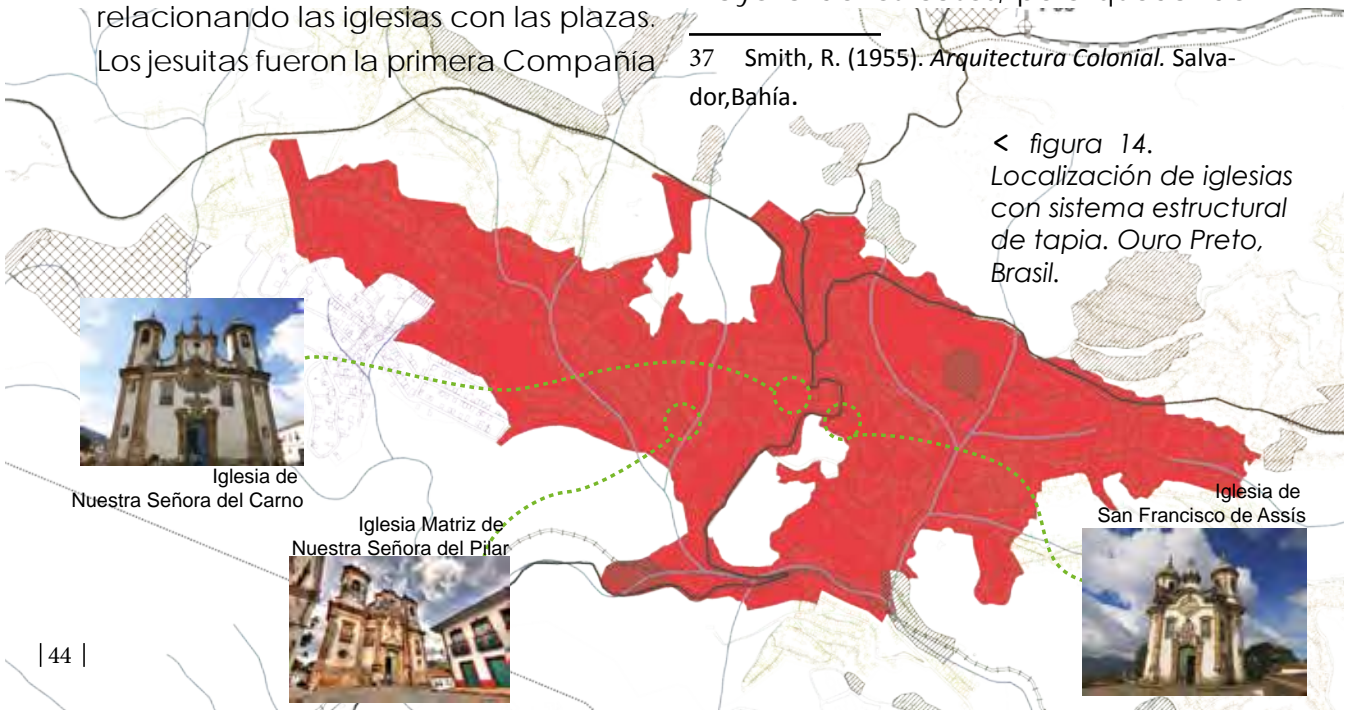
eclesiástica Barroca encontrándose técnica de la tapia con la estética Barroca en la ciudad de Ouro Preto, Brasil. (figura 14)

Durante los siglos XVII y XVIII, la arquitectura barroca latinoamericana siguió el modelo establecido por España y Portugal. La arquitectura fue tan maleable y adaptativa como el pensamiento de los sacerdotes, que complacían al gusto de los pueblos, esto prevaleció al igual que la adopción de constructores locales y los condicionantes físicos de cada región. Los jesuitas en un principio trataron de diferenciarse de las demás Compañías, con un carácter propagandístico por el uso peculiar de las fachadas que exaltaban las magnificencias de las Compañías y con las ubicaciones más destacadas de las ciudades, relacionando las iglesias con las plazas. Los jesuitas fueron la primera Compañía

elegida por la corona portuguesa para impulsar el gobierno en Brasil, con sede en San Salvador, Bahía. Así lograr una ocupación territorial y espiritual. Los investigadores dividen la arquitectura eclesiástica a lo largo de la colonia brasileña en tres etapas: “El primer período que empieza con la fundación de Salvador y sigue por aproximadamente un siglo (1549-1649), es llamado de “misionero”. El estilo siguiente, cercano a las fechas de 1655 hasta 1760, es llamado de “monumental”. El tercero (1760 a 1820) llamado “mundano” (Smith, 1955)<sup>37</sup>. La primera etapa es la que constituye a las iglesias construidas con sistemas de tierra, adobe, tapia y pau-a-pique, y conforme paso el tiempo se sustituyeron los materiales y sistemas constructivos parcial o totalmente en la mayoría de los casos, pero quedando

37 Smith, R. (1955). *Arquitectura Colonial*. Salvador, Bahía.

< figura 14.  
Localización de iglesias  
con sistema estructural  
de tapia. Ouro Preto,  
Brasil.



Iglesia de  
Nossa Senhora do Carmo



Iglesia Matriz de  
Nossa Senhora do Pilar



Iglesia de  
San Francisco de Assís

algunos ejemplos, como los veremos posteriormente. Estas iglesias de la primera etapa casi en su totalidad eran geométricamente simples en planta, por los mismos sistemas constructivos que se utilizaron.

Varias de las siguientes construcciones en los diferentes estados de Brasil fueron demolidas o sustituidas con otros sistemas estructurales:

Minas Gerais - Santa Rita de Sabará S. XVIII y demolida en 1937. Uso de dinamita para demolición.

- San José Mercês da Cima

- San Francisco de Paula de Ouro Preto

São Paulo – São Vicente, reconstrucción después de 1542 sobre cimiento de piedra.

Iglesia matriz de la Ciudad de Bananal S XVIII

Pernambuco - Igreja de Nossa Senhora da Graça 1551 y en 1567 fue sustituido por otro con un sistema constructivo.

Goiás - Igreja de Nossa Senhora do Rosário, Matriz de Pirenópolis construida en 1728 con yuxtaposición de sistemas constructivos tapial, adobe y albañilería de piedra y madera.

Sao Paulo – Capilla Morumbi

- Igreja Bom Jesus Do Livramento en la ciudad de Bananal.

Minas Gerais.

La arquitectura religiosa de Minas Gerais se centró en edificios religiosos seculares, capillas y cofradías parroquiales. Esto beneficio el desarrollo creativo y la eliminación de elementos tradicionales en conventos del siglo XVIII. Las iglesias más antiguas de Minas Gerais son de madera y tapia. (figura 15 y 16) Esta región duró más tiempo que otras con este tipo de construcción tradicional que fue abandonada sólo hasta la década de 1740. "En 1762 de nuevo, la Mesa de la Tercera Orden de los Carmelitas de Sabara, delibero sobre si se debía edificar la capilla del Colegio piedra o tapia, siendo la primera técnica la elegida para su construcción piedra y cal." (Bazin, *L'Architecture Religieuse Baroque au Brésil*, 1958)<sup>38</sup> El uso prolongado de la construcción en tapia y madera en las iglesias pudo haber direccionado a los arquitectos de Minas mantener ciertas proporciones convencionales, lo que limito a evitar en planta formas curvas, mientras que las columnas y vigas de madera, armonizaron estéticamente con los muros de tapia; En este tipo de iglesias resalta el tipo de fachada

38 Bazin, G. (1958). *L'Architecture Religieuse Baroque au Brésil*. París: Éditions D'Historie et d'art Libraire Plo.



^ figura 15. Iglesia de Nuestra Señora del Carmo

muros interiores que continúan siendo de tapia

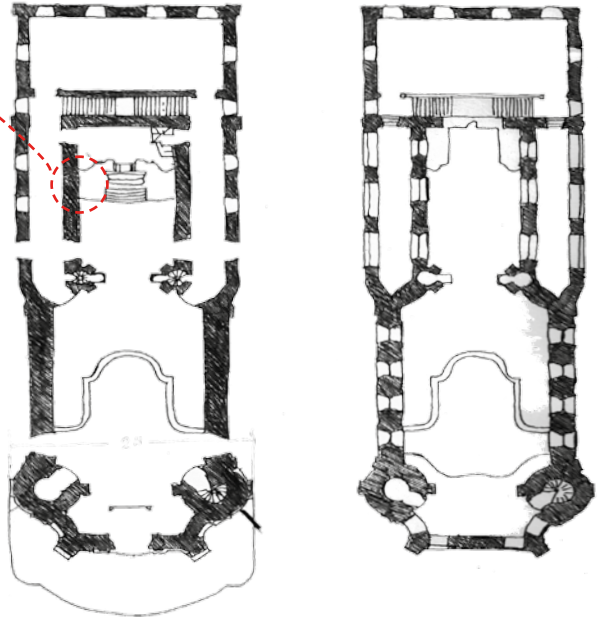


figura 16. >  
 Plantas arquitectónicas Iglesia de Nuestra Señora del Carmo

jesuita del siglo XVII, pero que habría añadido una torre como en la fachada de Río Sao Bento. El cuerpo central, coronado por un frontón triangular, se equilibra entre dos torres de elevación moderada, estos terminan en un marco para cubrir el azulejo. Arquitrabes se desarrollan en varias proyecciones para obtener una cornisa que sobresale, mantienen de erosión por el agua a la base de los muros de Tapia.

### Arquitectura de Tapia contemporánea.

Casi en todas las culturas antiguas hubo construcciones con tierra, pero a partir del desarrollo industrial de los últimos siglos se ha negado la tierra como un material constructivo eficiente por distintos prejuicios como

el falso concepto de modernidad especialmente en el ámbito urbano. Distintas instituciones u organizaciones en las últimas décadas han desarrollado estudios sobre sistemas constructivos de tierra en países europeos como CRA Terre-Universidad de Grenoble, el centro Georges Pompidou, los institutos de Conservación ICCROM y Fundación Paul Getty, el Centro de Investigación Eduardo Torroja, Madrid y la Universidad de Lovaina, Bélgica. En Estados Unidos en institutos como ININVI, California University, Santa Fe, Massachussets University, etc. Así como varios centros mexicanos de investigación en su mayoría al sur del país en estados como Morelos, Puebla y Oaxaca.

Los estudios previos que han realizado sobre este tema en

universidades como en el posgrado de arquitectura de la UNAM al igual que en otras universidades mexicanas principalmente los últimos 10 años se han hecho sobre sistemas constructivos de tierra enfocados en su mayoría para el desarrollo de viviendas o en estudios más específicos de algún sistema constructivo primordialmente en el adobe, en la mayoría de estos estudios se dirigen a la mejora de sus propiedades mecánicas o térmicas para promover su uso. Pero ciertamente pocas investigaciones se dirigen a la tapia y las pocas que se enfocan a este sistema de edificación plantean como objetivo fundamental el estudio de mecánica para mejorar sus condiciones de resistencia estructural.

### **Estudio de edificaciones contemporáneas de tapia.**

Como ya había mencionado anteriormente los sistemas estructurales de tierra y específicamente la tapia se han desarrollado en todo el planeta (Anexo 5) y con las adaptaciones que las condiciones del ambiente les proporcionan. Pero las propiedades esenciales del material, la tierra, seguirán siendo las mismas.

Al analizar las *figura 17 y 18* nos damos cuenta a primera vista que en su mayoría las construcciones de tapia tienen un uso habitacional de uno o dos

niveles con una superficie en promedio de 350 m<sup>2</sup>, pero la característica que más se puntualiza es la localización en zonas rurales o semiurbanas. A parte de las edificaciones de uso habitacional se puede encontrar con usos comerciales, culturales y religiosos, las condiciones y propiedades que tienen las construcciones de uso comercial y cultural son muy similares a las viviendas analizadas en estas tablas; a excepción de la iglesia con características distintas, altura de muros de tapia mucho mayores y no solo es parte de una zona urbana es un ícono arquitectónico y referencial en la ciudad de Campinas como este tipo de construcciones en el urbanismo Barroco y Neo barroco, donde las plazas y la Iglesia son puntos de reunión para las sociedades de esa época.

Todos estos ejemplos a parte de su condición sustentable en la construcción de muros, también tienen otras tecnologías apropiadas como: correcta orientación de los objetos arquitectónicos, adecuando las características de cada material a la fachada adecuada, recolección de agua pluvial, calefacción con métodos pasivos y ventilación cruzada con los mismos métodos. Esto nos ejemplifica como las tecnologías apropiadas deben ser una generalidad en toda la construcción no simplemente con el



< figura 17. Tabla, construcciones de tapia en el mundo

							Datos	
Nombre de proyecto	Arquitecto	Fecha de construcción	Uso	Superficie del proyecto	Niveles	Ubicación	Tipo de zona	
	Autoconstrucción	1926	Habitacional	54 m <sup>2</sup>	1 Nivel	Bahuria, Sinaloa	Rural	Expone perfectamente el detenimiento para interpretar los factores climatológicos como asolarmente, vientos, temperaturas, lluvias, y con ello se logró un elemento arquitectónico congruente con el sitio donde se encuentra, block de tierra comprimida.
Casa Murina Gonzalez	Arias Arquitectos, Suiterra Arquitectura	2010	Habitacional	275 m <sup>2</sup>	2 Niveles	Batuco Chile	Medio urbano	Tapial, hecho a partir de arcilla de distintos colores, las puertas, ventanas y pisos son de maderas recicladas. El sistema constructivo, y los acabados están en su mayoría hechos de material reciclable, ya que en el proyecto se buscó lograr un mínimo impacto ambiental, se considera un sistema constructivo en base a Terra-panel para asegurar la eficiencia térmica de la vivienda. Para la evacuación de aguas servidas se utiliza el Sistema Tohá o Lombrifiltro mediante el cual se reutilizan las aguas para riego.
Casa en Cotacachi	Arquitectura X	2009	Habitacional	378 m <sup>2</sup>	2 Niveles	Cotacachi, Ecuador	Medio urbano	Muros portantes de ferro-cemento en planta baja, entresijos de madera así como la segunda planta y el uso del cristal protegido con una membrana de madera
Casa Entre Muros / al borde	al borde / David Barragán y Pascual Gangotena	2008	Habitacional	180 m <sup>2</sup>	2 Niveles	Quito, Ecuador	Rural	La sucesión de estos tapiales y las distintas alturas de la cubierta provoca que la vivienda se fusione en espacios ya sea por usuario o actividad puesto que la casa se la entiende como la presencia de refugios individuales. Se excavaron los muros y se dispuso mobiliario en ellos como estrategia de optimización del espacio.
Casa Inlow	Cernaek Boyer Surri Design	2006-2007	Habitacional	218 m <sup>2</sup>	1 Nivel	Ciudad de Hudson (al oeste de Montreal), Quebec, Canadá.	Medio urbano	La casa está dotada de muros dobles de tierra compactada al exterior, separados por un aislante. La tierra venía de una cantera local y agregaron un ligero porcentaje de cemento Portland a la mezcla.
	Roswag Architekten.		Habitacional	583 m <sup>2</sup>	2 Niveles	Inlow, Alemania	Rural	La disposición hacia el sur de la casa maximiza el uso de energía solar pasiva. Se calienta mediante colectores solares y una caldera central de chips de madera. La planta baja está rodeada de muros de tierra apisonada sobre una cimentación de hormigón armado. Se trata de la primera vivienda que se construyó exclusivamente con tierra apisonada desde el levantamiento de las viviendas de emergencia en Alemania en la década de 1950.
	US Department of Agriculture	1935	Habitacional		1 Nivel	Gardendale, Alabama	Rural	Estas regiones fueron colonizadas por gente de España y Portugal, que introdujeron nuevas formas a la tradición ya existente de construcción con tierra. Los exploradores europeos trazaron nuevas dimensiones haciendo eco de las formas más monumentales de su tierra de origen.
House Rauch	Aiq. Bolshausen Architekten, Martin Rauch	2008	Habitacional	350 m <sup>2</sup>	3 Niveles	Schllins, Austria	Rural	Los muros se observan de un espesor de 40 cm aproximadamente. Los muros, los techos abovedados, los techos de muros y techos, los pedaleños y platos de dacha e incluso las tejas están formados hasta en un 85% por material resultante de la excavación del lugar.
Catedral Metropolitana de Campinas	Pedipe Teixeira Neri 1848 asumió la dirección de las obras Antonio Baquim Sampaio Pessoa.	La iglesia comenzó a construirse en 1807. Su construcción duró más de seis décadas, finalizando en 1883	Religioso	4000 m <sup>2</sup>		Centro de la ciudad de Campinas en el estado de São Paulo, Brasil	Urbana	De estilo neobarroco, la iglesia comenzó a construirse en 1807. Su construcción duró más de seis décadas con algunos accidentes morales. La técnica de construcción es el de tierra apisonada. Su interior, de estilo barroco Bahía (sin dorar) tiene un fino trabajo de tallado en madera, hecha por los escultores de Victoriano dos Anjos Figueiras, 2 y Bernardino de Sena Reis e Almeida. Se construyó sobre bases enormes, típico de construcción de tierra apisonada.

figura 18. >  
Tabla, construcciones de  
tapia en el mundo

Centro Cultural NKWip Desierto	Brady Dunlop	2006	Centro Cultural	1115.00 m2	1 nivel	Osoyos, Columbia Británica, Canadá	Rural	Está diseñado para ser una respuesta específica y sostenible con el contexto. El paisaje desértico fijo sobre la azotea verde del edificio, frenados por un muro de tierra apisonada. Los veranos calurosos y secos e inviernos fríos y secos, las temperaturas promedio que van desde -18 grados a 33 grados y, a menudo llegando a 40 en los días de verano. La estructura parcialmente enterrada mitiga las temperaturas extremas, y su orientación optimiza el rendimiento de la energía solar pasiva, con acristalamiento minimizado en los lados sur y oeste. A 80m de largo, 5.5 m de altura y 600 mm de espesor, este muro aislado (R33) estabiliza las variaciones de temperatura. Construido a partir de los suelos locales mezclados con aditivos para hormigón y de color, que conserva el calor en el invierno, su masa térmica sustancial enfría el edificio en el como el edificio de la tierra de los alrededores tiene mucho del verano en un sótano. Está cubierta ajardinada habitable reduce impronta visual del edificio en el paisaje, y permite que un mayor porcentaje de hábitat desértico paisaje que se restablezca en el sitio (replantación utiliza especies autóctonas). El techo también proporciona además estabilización de la temperatura y el aislamiento.
Join USGBC	KENDLE DESIGN		Habitacional		1 Nivel	SCOTT'S DALA ARIZONA USA	Rural	
LAURISTON, ESCUELA DE NIÑAS CENTRO DE INVESTITIGACION Y CIENCIA	Sally Draper Architects	2002	Escolar		2 Niveles	Melbourne, Victoria, Australia	Urbano	Las elevaciones este y oeste son planos simples de estabilizado compuesto por tapial, además del uso de ladrillo y concreto.
Napa Valley Rammed Earth House	Eliot Lee, socio de Steven Harris Arquitectos y Eun Sun Chun, Socio de 212 Caja de Arquitectura	comenzó en 2002 y se terminó en 2005	Habitacional	2500 m2	1 Nivel	California, Montañas Diamante anteriores Napa Valley	Rural	
PERA Building - Public Employees Retirement Association Office	Leo a Daly, Conron & Woods Architects	inicio 2007, finalizo 2009	Centro de oficinas PERA	1486.44 m2	1 Nivel	Santa Fe, Nuevo México, Estados Unidos	Rural	Solidas paredes gruesas de 60 cm. de tierra apisonada. Al igual que el uso de la tierra apisonada en la construcción, iluminación natural y las vistas eran una característica importante del para el registro del proyecto LEED. Debido a las condiciones del lugar pre-existentes, se prevé que la mayoría de los puntos LEED para este proyecto provendrá de la innovación en el diseño, las fuentes de energía renovables, el aumento de la eficiencia energética, la mejora de las prácticas de gestión del agua, el uso de materiales reciclados, así como para el medio ambiente materiales de construcción amigables, y la maximización de la iluminación natural.
	Bryan Bowen Architects	2013	Habitacional	30 m2	1 Nivel	Sudáfrica	Rural	El objetivo del proyecto de vivienda fue salvar COMUNIDADES tradicionalmente segregadas y marginadas. El proyecto parte de un concepto de unión y regeneración de espacios habitacionales
Tucson Mountain Retreat	DUST, Cade Hayes, Jesús Robles, Dale Rush	2012	Habitacional		1 nivel	Tucson, Arizona, EEUU	Rural	Sistema de recolección de agua pluvial en conjunto con un sistema de filtración que potabiliza el agua. Los espacios principales se orientan hacia el sur, y hacia grandes ventanales que se abren a los patios y al paisaje, contando con aleros pronunciados que protegen del sol de verano y permiten la entrada del sol en invierno para lograr el calentamiento pasivo.

sistema constructivo, se debe pensar en los acabados, cancelería, instalaciones básicas, como hidráulica, sanitaria (en su defecto evitar esta), eléctrica y de gas. Para esto debemos voltear a otro tipo de instalaciones más adecuadas al tiempo en que vivimos. Poder cambiar estas tecnologías que llevamos usando desde hace más de dos siglos para eliminar estos elementos que tienen un ciclo que va de la cuna a la tumba y poder modificarlos a ciclos que vayan de la cuna a la cuna.

#### 1.4.1 Bacterias y suelos

Clasificación de bacterias en los suelos.

Los cinco principales grupos de microorganismos nativos presentes en el suelo son las bacterias, actinomicetos, hongos, algas y protozoos. Las bacterias son el grupo de los microorganismos de mayor abundancia y diversidad entre las especies. La comunidad bacteriana se estima en alrededor de 10<sup>8</sup> a 10<sup>9</sup> microorganismos por gramo de suelo. (Arrieta, 2011)<sup>39</sup>. El crecimiento de una población bacteriana se puede dividir en 4 etapas: Latencia, exponencial, estacionaria y de muerte, como se

39 Arrieta, M. (2011). Biomineralización aplicada a la mitigación de procesos erosivos superficiales, en un suelo tropical de la Ciudad de Medellín. *Tesis de maestría*. Medellín, Colombia: UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA.

muestra en la *figura 19* (Gomez, 2006)<sup>40</sup>

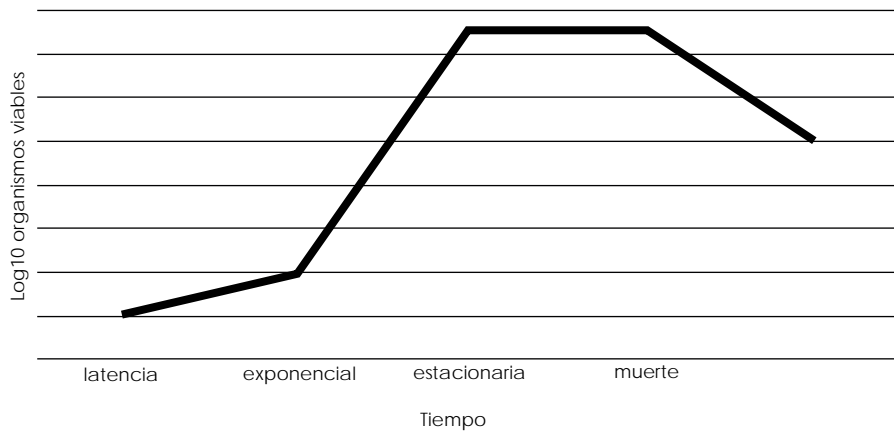
> La etapa de latencia es aquella en la que las bacterias no han comenzado a crecer debido a que se requiere que se adapten al medio en que se encuentran. La adaptación precisa que se sintetizen las enzimas que permitan metabolizar los compuestos presentes en el medio.

> La etapa exponencial es la consecuencia de que la célula se divide en dos, estas en otras dos y así sucesivamente.

> La etapa estacionaria es aquella en que no hay más crecimiento del número de células, aunque siguen ocurriendo muchas funciones celulares, incluyendo el metabolismo energético y algunos procesos biosintéticos. Esta etapa se da porque el medio nutritivo no se renueva o bien porque algún producto de desecho se acumula en el medio hasta alcanzar concentraciones inhibitorias del crecimiento exponencial.

> La etapa de muerte ocurre después de la estacionaria y en algunos casos se da también en forma exponencial aunque normalmente ocurre a menor velocidad. (Arrieta,

40 Gomez, E. (2006). Evaluación de las propiedades geotécnicas de suelos arenosos. *Tesis de Maestría*. Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.



^ figura 19 Gráfica del crecimiento de una población bacteriana

2011)<sup>41</sup>

### Bacteriología y construcción.

La precipitación de Carbonato de Calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) es un fenómeno común que se encuentra en entornos como en aguas saladas, dulces y suelos. (Castenier, Le Métayer-Levrel, & Perthuisot, 1999)<sup>42</sup>, es un proceso químico que se rige por cuatro principales factores: 1. Concentración de calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), 2. La concentración disuelta de carbono inorgánico (DCI), 3. El pH ( $\text{pK}_2(\text{CO}) = 10.3 \text{ A } 25^\circ\text{C}$ ) y 4. La disponibilidad de sitios de nucleación. (Castenier, Le

Métayer-Levrel, & Perthuisot, 1999)<sup>43</sup>.

La nucleación es la formación de núcleos, puntos o sitios que promueven la formación de cristales, en este caso nucleación de carbonato de calcio. Se han estudiado numerosas especies bacterianas diferentes asociadas con la precipitación de carbonatos naturales de diversos ambientes. El papel primario de las bacterias en el proceso de precipitación se ha atribuido a su capacidad para crear un ambiente alcalino (pH alto y [DCI] aumento) a través de diversas actividades fisiológicas. (Castenier, Le Métayer-Levrel, & Perthuisot, 1999)<sup>44</sup>

Esta precipitación puede ocurrir como producto de un proceso metabólico microbiano, por ejemplo la fotosíntesis, la hidrólisis de la urea y la reducción de

41 Arrieta, M. (2011). Biomineralización aplicada a la mitigación de procesos erosivos superficiales, en un suelo tropical de la Ciudad de Medellín. *Tesis de maestría*. Medellín, Colombia: UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA.

42 Castenier, S., Le Métayer-Levrel, G., & Perthuisot, J.-P. (1999). Ca-carbonates precipitation and limestone genesis — the microbiogeologist point of view. *Sedimentary Geology* 126, 9–23.

43 ídem

44 ídem

sulfatos. Estos procesos incrementan la alcalinidad disolviendo el contenido de carbono inorgánico del medio ambiente, favoreciendo así la precipitación del  $\text{CaCO}_3$  (Hammes & Boon, 2003)<sup>45</sup>. Por lo tanto las bacterias poseen enzimas que inducen la bioprecipitación química de carbonato de calcio.

Microorganismos como estabilizadores mecánicos de suelos.

### **Microorganismos que inducen la precipitación de calcita.**

#### **Organic Matrix Macromolecules, extraídas de *Mytilus hispanicus*. (molusco).**

Se ha intentado inducir la precipitación de carbonato cálcico a partir de Organic Matrix Macromolecules, extraídas de *Mytilus hispanicus*. (Molusco).

**Bacillus subtilis** - biomineralización para la restauración y conservación de monumentos. Brunella Perito et al. y Giorgio Mastromei del Departamento de Biología animal y genética 'Leo Pardi', University of Florencia, Italia. Estudian la formación de cristales de calcita en la *Bacillus subtilis* para identificar los genes y estructuras celulares que influyen en la

biomineralización. Este trabajo es parte de 'Bioreinforce' EC project dirigido hacia la búsqueda de métodos de biomineralización para la restauración y conservación de monumentos. (Anexo 6)

**Bacillus Cereus** - Un equipo de la Universidad Pierre y Marie Curie de París consiguió, gracias a un producto activador, que las bacterias fabricasen carbonato de calcio en laboratorio. Sólo faltaba dejar las probetas y dedicarse a las obras de arte, cosa que hicieron el LRMH (Laboratorio de Investigación de los Monumentos Históricos) y la Universidad de Nantes en colaboración con la sociedad Calcite Bioconcept, dueña de la patente francesa depositada en 1989 por la Universidad Curie, después de seleccionar, con la ayuda del Instituto Pasteur, la especie idónea: *Bacillus Cereus*.

**Bacillus cereus** se aplicó como un tratamiento de conservación de la piedra ornamental. El método se basa en la formación inducida por bacterias de un precipitado de carbonato compatible en la piedra caliza, y a diferencia del tratamiento de agua de cal, el cemento de carbonato es altamente coherente. Por otro lado, dos limitaciones importantes son: la calcita es ineficiente para la consolidación

45 Hammes, F., & Boon, N. (2003). Strain - specific ureolytic microbial calcium carbonate precipitation. Applied and Environmental Microbiology 69(8), 4901-4909.

Especies y caminos metabólicos	Ambiente	Tipo de cristal	Referencia
<b>Fotosíntesis</b>			
<i>Synechococcus GL24</i>	Lago meromítico	Calcita <sup>a</sup>	Douglas and Beveridge (1998)
<i>Nannochloris atomus</i>	Medio BG11	Calcita	Yates and Robbins (1999)
<b>La reducción de sulfato</b>			
<i>SRB aislado LVform6</i>	Laguna hipersalina anóxica	Dolomita <sup>b</sup>	Warthmann et al. (2000)
<i>Inespecificado SRB's</i>	Yeso y anhidrita con ricos sedimentos geológicos	Aragonito <sup>a</sup> Calcita	Peckmann et al. (1999)
<i>Inespecificado SRB's</i>	Lago natural con solución salina hiper rica en sulfato	Dolomita	Wright (1999)
<b>Ciclo de Nitrógeno</b>			
<i>Bacillus pasteurii</i>	Degradación de urea en medio sintético	Calcita	Stocks-Fischer et al. (1999)
<i>Bacillus cereus</i>	Reducción de amonificación y nitrato	Calcita	Castanier et al. (1999)
<i>Variovorax spp</i> y <i>Pseudomonas spp</i>	Degradación de urea en medio sintético	Calcita	Fujita et al. (2000)
<b>Caminos metabólicos especificados</b>			
<i>Vibrio spp</i>	Sintético + mezcla de sal marina	Calcita	Rivadeneira et al. (1994)
<i>Flavobacterium spp</i>	Sintético + mezcla de sal marina	Mg- Calcita	Ferrer et al. (1988)
<i>Acinetobacter spp</i>	Sintético + mezcla de sal marina	Mg- Calcita	Ferrer et al. (1988)

<sup>^</sup> figura 20. Ejemplos de caminos metabólicos, especies asociadas y ambientes.

en profundidad (al parecer sólo unas pocas micras) y la formación de una película superficial que consiste en una mezcla de restos biológicos. Este último con relación a los poros de piedra. Se ha demostrado que acelera el taponamiento. Por ello se recomienda

que los tratamientos de piedra deben dejar la superficie de la piedra libre para “respirar”, es decir, para permitir la transferencia de vapor. (Rodríguez-Navarro, Apr. 2003)<sup>46</sup> (Anexo 7)

<sup>46</sup> Rodríguez-Navarro, C. R.-G. (Apr. 2003). Conservatio of Ornamental Stone by Myxococcus xanthus-Induced Carbonate Biomineralization. *Applied*

**Bacilo Pasteurii** - El Bacilo Pasteurii es una espora que al tener las condiciones adecuadas puede unir partículas. Es decir, que da paso a la precipitación de calcita para formar carbonato cálcico. El estudio que se ha llevado a cabo sobre la capacidad de bacterias para producir un tipo de cemento (llamado "biocemento") que adhiere entre sí las partículas de arena hasta formar una roca. "La bacteria *Sporosarcina pasteurii* (conocida como *Bacillus pasteurii*) contiene una enzima que es capaz, dadas las condiciones adecuadas, de realizar este proceso. Cuando su enzima ureasa hidroliza la urea en un ambiente rico en calcio, esta bacteria genera un subproducto de cemento de calcita con propiedades adhesivas (carbonato de calcio)." (Calvo, 2009)<sup>47</sup> "(Carbonato de calcio, muy abundante, que cristaliza en formas del sistema hexagonal, generalmente blanco puro, a veces transparente)" (RAE, 2001)<sup>48</sup> elemento que puede pegar los granos de arena; el proceso se conoce como la precipitación de calcita inducida microbiana o MICP (por sus siglas en Inglés). "El tratamiento de las bacterias

requiere la alimentación, que es donde la orina viene en - urea [(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>CO] se puede hacer de forma sintética o de la orina, y proporciona la nutrición para las bacterias. El agua también es necesaria, como es el cloruro de calcio." (Welland, 2010)<sup>49</sup>

El carbonato cálcico como estabilizador de tierra o suelos para sistemas constructivos de tierra por medio del Bacilo Pasteurii ha sido planteado hipotéticamente en diferentes proyectos arquitectónicos. En 2008 Magnus Larsson presentó una tesis sobre el problema de desertificación en el desierto del Sahara, donde la bacteria solidificaría la arena en piedra arenisca. (Drawl, 2012)<sup>50</sup> En 2009 la Mtra. Ginger Dosier "arquitecta en la Universidad Americana de Sharjah, en los Emiratos Árabes Unidos, interesada en el diseño de sus propios materiales de construcción. Las investigaciones desarrolladas por la Mtra. Ginger Dosier se basaron en hacer ladrillos de tierra, poner arena seca en un molde, añadir las bacterias cultivadas, agua, urea y cloruro de calcio. Tras pruebas varias pruebas y encontrar las proporciones

---

*and Environmental Microbiology Vol. 69, No. 4, 2182-2193.*

47 Calvo, S. (2009). Scientists turn sand to stone. *Science Alert*, [www.sciencealert.com.au/content/view/19095](http://www.sciencealert.com.au/content/view/19095).

48 RAE, R. A. (2001). *Diccionario de la Lengua Española (23da ed.)*. Madrid.

49 Welland, M. (2010). [http://throughthesandglass.typepad.com/through\\_the\\_sandglass/2010/07/sandbacteriaurinebricks-continuing-performances-of-bacillus-pasteurii.html](http://throughthesandglass.typepad.com/through_the_sandglass/2010/07/sandbacteriaurinebricks-continuing-performances-of-bacillus-pasteurii.html).

50 Drawl, A. (may de 2012). The architectural application of a microbial formed sandstone, created through the biofilm of the bacteria *Bacillus pasteurii*. Thesis. U.S.A.: Kent State University.

correctas desarrollo un ladrillo de dimensiones, de 12 x 24 x 6 centímetros.” (Dosier, 2012)<sup>51</sup> Otra aplicación de la piedra arenisca microbiológica es la utilización de esta para reparar y reforzar.

*Bacillus pasteurii* técnica propuesta por Ferris y Stehmeier para la conservación de la piedra ornamental, aunque las variaciones de esta técnica se han utilizado para la consolidación de lecho de arena y de la grieta de remediación en hormigón. Otro potencial inconveniente de la utilización del Bacilo *pasteurii* en la conservación de piedra es que estas bacterias pueden formar endosporas que en condiciones apropiadas (es decir, temperatura, humedad, y la disponibilidad de nutrientes) puede eventualmente conducir a la germinación y el crecimiento de bacterias no controladas y la formación de biopelículas. La complejidad y el gran número de variables en el trabajo en la precipitación de carbonato de bacterias inducidas (por ejemplo, tipo de bacterias, medios de cultivo, de apoyo de piedra, y de la aplicación condiciones) Por tanto, es necesario desarrollar métodos que ayuden a crear un cemento coherente carbonato en el sistema poroso de

la piedra tratada sin que al mismo tiempo bloquear o tapar los poros. El método también debe permitir que el proceso de biomineralización que se detuvo a voluntad con el fin de evitar efectos secundarios no deseados. Esto conducirá a la protección y consolidación de piedras de carbonato porosas cariados adecuada, controlada, y de larga duración. (Rodríguez-Navarro, Apr. 2003)<sup>52</sup> (Anexo 8)

**Myxococcus xanthus** – Según (Rodríguez-Navarro C, 2003)<sup>53</sup> proponen el uso de una mixobacteria, *Myxococcus xanthus*, capaz de depositar calcita, para el recubrimiento de la piedra porosa ornamental. La actividad metabólica de esta myxobacteria induce la producción de amoníaco (NH<sub>3</sub>) que incrementa el pH de la solución. El CO<sub>2</sub> producido por la bacteria es disuelto y transformado en bicarbonato (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) o trióxido de carbono CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>. Los carbonatos formados se adhieren a los granos de calcita original formando un cemento. La ventaja de *M. xanthus* es que no completa su ciclo vital en el cultivo;

<sup>52</sup> Rodríguez-Navarro, C. R.-G. (Apr. 2003). Conservatio of Ornamental Stone by *Myxococcus xanthus*-Induced Carbonate Biomineralization. *Applied and Environmental Microbiology Vol. 69, No. 4, 2182-2193.*

<sup>53</sup> ídem

<sup>51</sup> Dosier, G. K. (2012). *biomason*. Obtenido de <http://biomason.com/>



aunque la bacteria está viva en el cultivo, en la piedra acaba muriendo. La ganancia de peso induce a pensar que la mayor parte de la precipitación ocurre en 5-10 días.

El microorganismo seleccionado *Myxococcus xanthus*, una abundante gramnegativo, no patógeno aeróbico que se encuentra en el suelo. Pertenece a un grupo microbiano peculiar cuyo ciclo de vida complejo implica un notable proceso de morfogénesis y la diferenciación. El *M. xanthus* induce la precipitación de carbonatos, fosfatos y sulfatos (por ejemplo, calcita, calcita de magnesio, estruvita, newberyite, schertelyte, y taylorite) en una amplia gama de medios sólidos y líquidos. Sin embargo, era desconocido si la bacteria sería capaz de inducir la precipitación de carbonatos en una piedra porosa. El objetivo en este trabajo es determinar la capacidad de *M. xanthus* para crear una matriz de carbonato de protección y consolidación coherente en el sistema poroso de la piedra caliza. (Rodríguez-Navarro C, 2003)<sup>54</sup> (Anexo 9)

---

54 ídem



**vivienda tierra  
bacteria**

**sustentabilidad  
medio oriente  
estabilizadores  
latinoamérica**

**bacilo**

arquitectura contemporánea

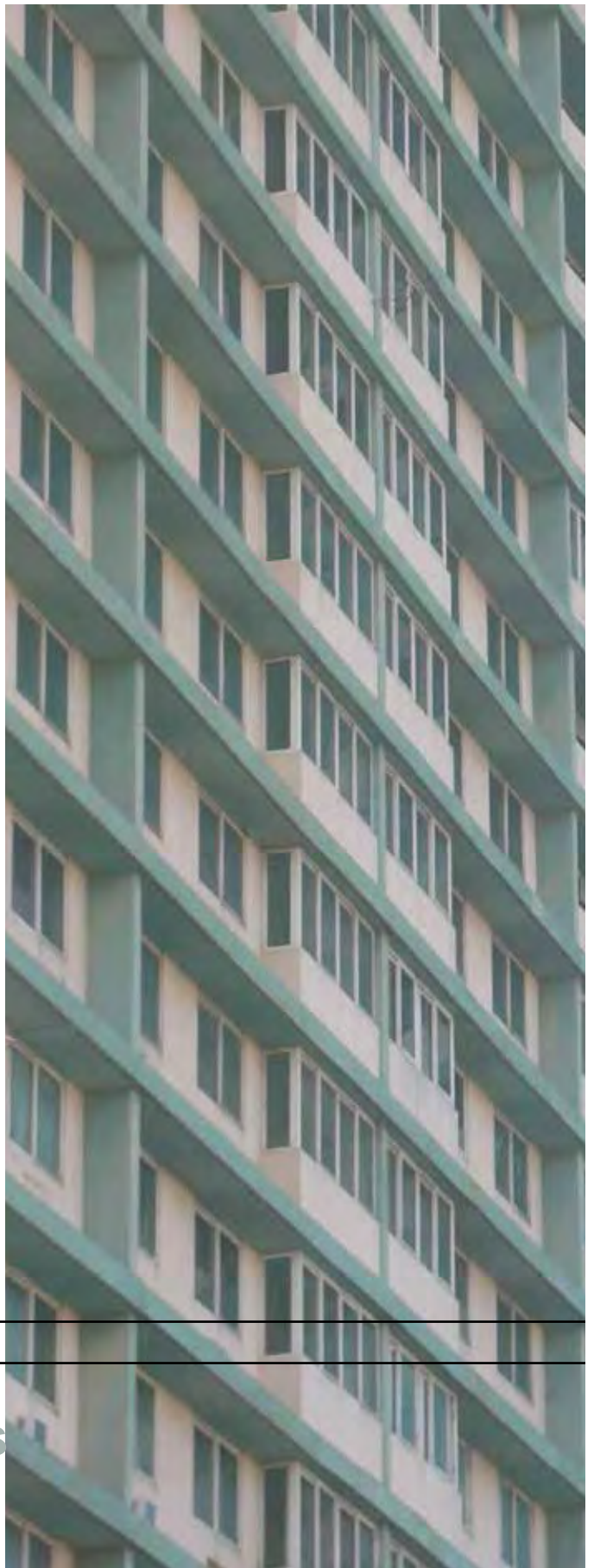
**tapias**

**sostenibilidad  
materiales apropiados**

**ruta histórica**

tecnologías apropiadas

**tapias**





CAPÍTULO II  
habitabilidad  
de la vivienda  
social urbana



< figura 21. Vivienda de autoconstrucción, Lima, Perú.

## 2.1 El habitar y la vivienda

En este capítulo voy a exponer las condiciones actuales de habitabilidad de la ZMVM, desde el marco de la vivienda contemporánea para sectores de escasos recursos y así analizar sus condiciones actuales y sus posibilidades para lograr el desarrollo de una vivienda digna en el contexto existente. El desarrollo de una vivienda digna también debe considerar las situaciones sociales actuales que dan origen a la autoconstrucción como el método más viable para las personas que quieren construir su vivienda en la ZMVM como en la mayor parte del Latinoamérica. (figura 21) En el capítulo anterior se plasmó una idea de los conceptos habitar, habitabilidad y vivienda, esto nos puede formar la siguiente lógica: la vivienda es

la generación de un espacio que relaciona a una comunidad (familia) con su entorno, por lo que este espacio tiene las condiciones de habitabilidad. Los conceptos antes mencionados me generaron este entendimiento el cual no puede ser absoluto, ya que existen fenómenos sociales y lamentablemente ahora fenómenos económicos que degeneran la habitabilidad de un espacio que convierte a la vivienda en un espacio habitable no digno aunque siga siendo habitado. Este hecho da origen al concepto de vivienda digna, una vivienda digna es el objetivo social al que esta investigación quiere llegar y que no solo depende de resolver las problemáticas sociales, sino los problemas técnicos constructivos que puede tener un muro de tapia.

El hábitat dentro de la arquitectura es el espacio posible construido por el hombre para responder a sus

necesidades y al desarrollo de sus actividades, para protegerse del medio y se adapte al medio de la mejor forma con el uso de materiales que buscan el menor impacto ambiental, esto será posible únicamente con materiales naturales de manufactura artesanal. Entonces la habitabilidad urbana o rural debe tener un mínimo de requerimientos, según Felipe Colavides y Julián Salas (2005) han definido la habitabilidad básica:

“...por el conjunto de estructuras físicas elementales (gérmenes de viviendas y cobijos; espacios públicos; infraestructuras de agua, saneamiento y energía; servicios de educación, salud; espacio productivo) que, tanto en su referente social como económico, satisfacen esas necesidades esenciales de residencia que tenemos las personas. Se trata de un mínimo admisible que, sobre todo, no hipoteca ni impide su futuro desarrollo y mejora, sino que, muy por el contrario, lo prevé desde su origen de una manera progresiva (infraestructura de bajo coste con previsión de redes mejorables, vivienda semilla de crecimiento paulatino...)”<sup>55</sup>

## 2.1.1 La vivienda como mercancía

La vivienda actual es una muestra de la división de los sectores poblacionales a través de sus ingresos económicos, la vivienda se puede seccionar en la vivienda para el sector de altos ingresos y la vivienda para el sector de menores ingresos.

¿Pero por qué la vivienda es definida actualmente a partir de los ingresos económicos de cada sujeto? ¿Y por qué pasa a ser una propiedad? Esta lectura que se le da a la vivienda como el significado básico de propiedad es el origen del problema. ¿Qué quiero decir con esto? En el momento histórico que la vivienda cambió de ser un bien de uso a un bien material cambió el sentido y la forma de construir el espacio habitable básico del ser humano. Ese momento histórico fue el punto de inflexión en que la vivienda se transformó en una mercancía, una mercancía que es producida por un individuo pero que él no le dará uso, es decir no la habitará. Entonces hay una segmentación entre la producción y el consumo, es decir deja de existir la autoproducción (la autoconstrucción). Aunque esta autoproducción no cabe dentro del sistema económico de consumo, en Latinoamérica es la realidad de la mayoría de las personas que habitamos esta parte del

<sup>55</sup> Colavides, F., & Salinas, J. (2005). Por un plan cosmopolita de habitabilidad básica. *Revista INVI vol. 20 no. 053*, 226-229.

continente. Pero no cabe duda que también la vivienda como mercancía existe en Latinoamérica, en un inicio para los sectores de altos ingresos económicos pero que cada vez con mayor insistencia el sistema económico lo adapta para sectores de menores ingresos económicos. Esto origina que la vivienda como mercancía dirigida a estos sectores busque ganancias económicas a toda costa sin importar la calidad de la vivienda, así se ha generado una vivienda de fabricación en serie sin identidad. (figura 22)

El valor de uso de cualquier tipo de vivienda no debe modificarse aunque su valor utilitario sea bajo o alto, esto debe ser una condicionante permanente que realmente no ocurre, ya que los intereses económicos se sobreponen en todo momento. Si nos

concentramos en la vivienda para sectores de bajos recursos económicos tenemos dos principales vertientes como lo mencione anteriormente, en el caso de la vivienda de interés social promovida por algunos sectores del gobierno a través de créditos para la obtención de dichas viviendas. Pero la calidad compositiva y constructiva de estas viviendas a lo largo de los últimos 50 años ha ido decreciendo. En un inicio estas viviendas de interés social se componían de espacios dignos que podían albergar a los miembros familiares naturales y que a lo largo de los años la espacialidad de estas viviendas se ha degradado hasta llegar al punto de construir viviendas únicamente con dos cuartos, donde se desarrollan todas las actividades cotidianas. Los problemas en este tipo de viviendas no solo se presentan en



< figura 22. Vivienda de interés social abandonada.

la parte compositiva sino también en el proceso constructivo, se utilizan materiales de poca calidad con sistemas constructivos poco eficientes.

Si tomamos en cuenta las deficiencias de las viviendas de interés social anteriormente mencionadas, al ser habitadas, si es que esto llega a ocurrir, se convierten en espacios donde las personas no se desarrollan plenamente, ya que son casa monótonas idénticas una con la otra donde no existe una identificación con lo construido como en la figura 22. Por consecuencia son espacios donde las personas tratan de adaptar sus necesidades y gustos, al ocurrir esto las personas van transformando las viviendas como mejor les convenga dándole una característica propia al espacio transformándolo en su hogar. Esto nos dirige a otra forma de concebir una vivienda con pocos recursos económicos, esta es la autoconstrucción o con la variante de la autoconstrucción asistida.

## 2.2 Autoconstrucción

Ahora retomo la autoconstrucción como una necesidad ignorada pero más real que cualquier tipo o corriente arquitectónica en el último siglo, el mayor porcentaje las viviendas en este país son de origen autoconstructivo, porque hemos de introducir a la

fuerza la participación de arquitectos en la construcción del hábitat y no progresar con esta realidad de la autoconstrucción. La autoconstrucción será tan particular como precisa simplemente por el hecho de que cada persona, familia o comunidad es única, este valor de originalidad nos es otra cosa que la respuesta idónea para cumplir las necesidades y gustos de quien habitara una vivienda. (figura 23) De igual manera las propiedades negativas que suelen verse en la autoconstrucción como los períodos de realización muy largos y paulatinos, como el uso de mano obra mal llamada no especializada, son realmente las ventajas con las que podemos impulsar la autoconstrucción como una forma viable de ejercer nuestro derecho a la vivienda. Creo que estas propiedades de la autoconstrucción son las que pueden dar identidad a una vivienda, el generar un espacio habitable en períodos largos y paulatinos da la posibilidad de generar espacios habitables progresivos que cambian conforme cambian las necesidades de las personas que los habitan. Algo esencial en la construcción del hábitat es la aportación de las personas que le darán un significado de uso al espacio, una participación en la construcción de una vivienda en su totalidad permitirá llevar un mantenimiento adecuado y su reproducción para la generación





^ figura 23 Vivienda de autoconstrucción, barrio de Albaicín, Granada.



^ figura 24 Vivienda de autoconstrucción, barrio de San Miguel Amantla, Azcapotzalco.

de una comunidad. Fomentar la autoconstrucción ordenada que respete al otro es el generar autoconstrucción de las viviendas, la apropiación del hábitat urbano generará respeto entre personas y después entre comunidades, al hacer suya su vivienda se entenderá y respetará la vivienda del otro.

También puede haber una variación en la autoconstrucción, a través de una asistencia dirigida por un agente con mayor experiencia en la construcción y composición del espacio, esto no quiere decir que un arquitecto o cualquier profesional académico sea siempre la persona adecuada para llevar a cabo tal asistencia especializada. Por lo tanto debemos darle una condición de primordial y necesaria a la autoconstrucción en sociedades latinoamericanas como en la ZMVM dadas las condiciones sociales, culturales, económicas y ambientales. (figura 24) Ante el problema de la

vivienda de alto impacto ambiental que se compone por los materiales contaminantes, la vivienda "informal" y la construcción contaminante las soluciones son el desarrollo de tecnologías y estrategias para la vivienda sustentable, teniendo una planificación urbana, una construcción sustentable y el aprovechamiento adecuado de materiales naturales. Como lo concluye Gernot Minke (2005) al mostrar la viabilidad de la autoconstrucción y la tierra como material de construcción:

"no ha sido posible resolver los inmensos requerimientos de hábitat en los países en vías de desarrollo con materiales industrializados como ladrillo, hormigón y acero, ni con técnicas de producción industrializadas", ya que "no existen en el mundo las capacidades productivas y financieras para satisfacer esta demanda. Las necesidades de hábitat en los países en vías

de desarrollo solo se pueden encarar utilizando materiales de construcción locales y técnicas de autoconstrucción"...técnicas de construcción con tierra recientemente desarrolladas demuestran el valor de la tierra para la autoconstrucción"<sup>56</sup>

## 2.3 Vivienda social

### 2.3.1 Urbana

, creo que es una clara opción para generar vivienda digna, pero que no únicamente debe ser una opción para "países en vías de desarrollo", esta condición social llamada autoconstrucción debe ser una condición prioritaria en cualquier territorio por más industrializado que sea. Debe priorizarse la autoconstrucción que conlleva el uso de materiales constructivos locales y la participación en la construcción del usuario y su comunidad.

Desde una concepción profesionalista académica, el arquitecto aparte de poder asistir en la autoconstrucción de la vivienda tiene la responsabilidad de crear y desarrollar nuevas formas de construir e innovar materiales dentro de un marco manufacturero artesanal o tradicional para dar más herramientas a la composición y construcción de vivienda digna.

La habitabilidad de la ZMVM como en otras ciudades de hoy en día es el resultado del sueño vanguardista de modernidad y modernización, una modernización unidimensional, que sacrifico el tejido urbano de la ciudad a favor del pseudo desarrollo de la industria automovilística que se descontextualiza del ambiente urbano. Los fractales viales dieron condiciones distintas al tejido urbano, que desembocó en el crecimiento urbano a través de conjuntos habitacionales estandarizados. Como lo menciona Peter Krieger (2006) (figura 25)

"El crecimiento ordenado en formas rectangulares y monótonas, es la consecuencia clara de una planificación parcial, y no integral, de la urbe moderna. El trazo y las formas arquitectónicas de la ciudad no aceptan compromisos con la textura tradicional, con las condiciones específicas, con los contextos ecológicos y antropológicos."<sup>57</sup>

Esta negación a los contextos antropológicos es donde nace la no

<sup>56</sup> Minke, G. (2005). *Manual de construcción en tierra*. Kassel, Alemania: Editorial fin de siglo, 2nd edición.

<sup>57</sup> Krieger, P. (2006). *Megalópolis México: Perspectivas críticas*. En *Megalópolis. La modernización de la ciudad de México en el siglo XX*. México D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de investigaciones estéticas.



^ figura 25 Vista de vivienda en ecatepec, Edo. de México.

apropiación y la falta de la identificación con los espacios urbanos. La repetición de células habitacionales en serie y su crecimiento sin límites es causante de la realidad suburbana de ciudades occidentales u occidentalizadas en cualquiera de los continentes. Las periferias de las grandes urbes es posiblemente la definición más exacta de la fragmentación de la sociedad contemporánea, apoyada en una desintegración social, estética, económica y ambiental. Esta fragmentación social es representada por “mallas urbanas” (Calvino, 1991)<sup>58</sup> repetitivas en las grandes ciudades, las cuales ocasionan en la vida cotidiana de las personas una desubicación espacial, la cual se ve interpretada en primera instancia en el deterioro del

hogar. Este deterioro de las viviendas se presentó en mayor medida en la segunda mitad del S.XX y principios de este siglo, a través del crecimiento demográfico y la respuesta del movimiento moderno Le Corbusiano representado en México por Mario Pani y Hannes Mayer, en donde se generaron unidades habitacionales infinitas con una exageración racional geométrica y estandarizada para albergar a las masas. En la ZMVM la generación de unidades habitacionales monumentales fue y es una realidad pero que contradice con la realidad social, tradicional y cultural de los habitantes de esta ciudad como de cualquier ciudad Latinoamericana.

### 2.3.2 Rural

La construcción de unidades habitacionales sin identidad no es un

58 Calvino, I. (1991). *Las ciudades invisibles*. México: Minotauro.

problema único de zonas urbanas. Desde hace algunas décadas, zonas rurales en diferentes estados del país han sido afectadas con la reubicación de viviendas y pueblos enteros para la implementación de políticas de vivienda, basadas en la falsa idea del mejoramiento de las condiciones de habitabilidad. Estos programas gubernamentales sobre la vivienda tuvieron un mayor auge a comienzos del S. XXI y tienen su fundamentación a partir del Plan Puebla Panamá (PPP) que retoma propuestas de algunas fuentes, como el Banco Mundial o el Banco Interamericano de Desarrollo (BID). Actualmente el vicepresidente de sectores y conocimientos del BID, Santiago Levy coautor del ensayo “El sur también existe: un ensayo sobre el desarrollo regional de México” junto con E. Dávila, G. Kessel (2002) donde hacen mención que “la dispersión poblacional frena el aprovechamiento de las economías de escala en la provisión de servicios públicos”<sup>59</sup> con esto el gobierno justifica la construcción de estas unidades habitacionales o ciudades rurales como las llaman en estos programas gubernamentales. A lo anterior se puede resumir según Reyes Ramos & López Lara (2011):

“la construcción de ciudades

59 Dávila, E., Kessel, G., & Levy, S. (2002). El sur también existe: un ensayo sobre el desarrollo de México. *economía mexicana NUEVA ÉPOCA*, 205-260.

rurales persigue la meta de alcanzar mayor cobertura en la provisión de bienes públicos, bajo el supuesto de que el efecto de la concentración poblacional se traduciría en una provisión más barata y eficiente. En lugar de llevar a cada localidad dispersa en el territorio los servicios públicos básicos, el proyecto propone asignar la localización a las familias y comunidades, lo cual implica que las agencias públicas planificarán reubicaciones concertadas a cambio de mejorar las condiciones y la calidad de vida de los habitantes de las nuevas ciudades rurales.”<sup>60</sup>

Entonces la inversión pública en vivienda e infraestructura para favorecer a la población solo es justificable para el gobierno si la concentración poblacional tiene un desarrollo productivo para el país. Sí no existe tal concentración poblacional ideal, se plantea la reubicación de dicha localidad sin importar los usos y costumbres de las comunidades. Con lo anterior puedo definir que el objetivo primario de la ubicación estratégica de nuevas localidades y la inversión en infraestructura en las mismas tiene efectos para el desarrollo del PPP, para contrarrestar el supuesto

60 Reyes Ramos, M. E., & López Lara, Á. F. (2011). Ciudades rurales en chiapas: formas territoriales emergentes. *Nueva época núm. 66*, 121-151.



^ figura 26 Vista de vivienda de ciudad rural Nuevo Juan de Grijalva, Chiapas.

atraso social que a su vez produce un atraso productivo según los intereses económicos de las grandes industrias que buscan una distribución regional de la producción. Pero estos proyectos no solo generan nuevas "urbes" rurales, también generan nuevos ciudadanos que no son por decisión propia en la mayoría de los casos.

Según estos programas gubernamentales el objetivo primordial es proporcionar una vivienda digna para la población rural que lo necesita, ¿Pero quién y cómo se evalúa que población rural necesita una nueva vivienda? ¿A caso estos programas no fueron realizados por comunidades académicas ciudadanas que se encuentran fuera del paradigma de las necesidades de una vivienda digna rural? Para contestar esta pregunta cito

la siguiente referencia, "El programa ciudades rurales sustentables responde a una estrategia de política social cuyo rasgo distintivo consiste en cambiar el criterio focalizado de asignación de subsidios para combatir la pobreza hacia un enfoque territorial de dotación de bienes públicos." (Reyes Ramos & López Lara, 2011)<sup>61</sup> (figura 26) Las líneas anteriores son una muestra de que la intención de este programa es combatir la pobreza, o yo diría de combatir la diversidad de cómo se puede vivir en una comunidad diferente con necesidades distintas a la de cualquier zona urbana, simplemente porque los usos y costumbres son específicos de la geografía en donde se encuentran.

La existencia de la pobreza para el sistema capitalista de consumo, sistema

61 ídem



^ figura 27 Vista aérea de la ciudad rural Nuevo Juan de Grijalva, Chiapas.

representado por el estado mexicano, es consecuencia de la dispersión poblacional. En todo el país se considera que la pobreza y marginación es un problema que se encuentra en mayor medida en las zonas rurales que en las urbanas, por razones como la dispersión poblacional, la accidentada orografía, dificultad de la provisión de servicios básicos como agua, drenaje y electricidad. Por otra parte la política de desarrollo social justifica y atribuye la existencia de la marginación por la segmentación en grupos étnicos, que conllevan a rezagos en la educación, salud, alimentación y que derivan en la exclusión social. Y concluyen que la vida en una ciudad es la forma correcta y la mejor forma de vida, por tal motivo imponen su concepto de vivienda digna, que contempla una vivienda construida a partir de materiales

industrializados, con infraestructura urbana como luz eléctrica generada por grandes plantas contaminantes, por agua entubada, espacios limitados para producción de alimento y servicios públicos ideados para zonas urbanas. De igual manera aunque se impusiera la tipología de vivienda urbana a zonas rurales deberían realizarse viviendas realmente dignas y no espacios arquitectónicos inhabitables, aislados, sin recursos naturales propios, repetitivos y genéricos que no son apropiables para comunidades rurales que siempre tuvieron una relación directa con la naturaleza. (figura 27) Por lo tanto si la vivienda rural no tiene las comodidades pragmáticas que puede tener una vivienda urbana no es resultado de la pobreza o marginación dentro del paradigma social urbano, simplemente es otra forma de vida y

vivienda que en la mayoría de los casos causa menos problemas ambientales, inicialmente por su manufactura no industrializada y posteriormente por los beneficios que conlleva la dispersión poblacional. Cualquier pequeña urbe del país como la ZMVM, son ejemplos de concentraciones poblacionales que originan consecuencia ambientales.

Hasta el momento he expuesto en este capítulo el ordenamiento territorial a través de la vivienda de las dos zonas tradicionales en las que el ser humano habita, zonas urbanas y rurales. El ordenamiento territorial no es más que el método impositivo de generación de vivienda para zonas urbanas estandarizadas y zonas rurales concentradas para la producción. Pero a partir de segunda mitad del siglo XX las zonas suburbanas han crecido de manera exponencial por sus características para la explotación de las personas dentro del sistema mercantil de producción. Aunque estas zonas comúnmente se consideran dentro de las grandes urbes, estas zonas se pueden considerar parte o fuera de las ciudades, por un lado pueden definirse como bordes urbanos los cuales según Kevin Lynch "son límites entre zonas de dos clases diferentes, los bordes que parecen más fuertes son aquellos que no sólo son visualmente prominentes sino que

también tienen una forma continua y son impenetrables al movimiento transversal...cuentan con la capacidad desorganizadora de un borde... pero muchos bordes son verdaderas suturas y unen, en vez de ser vallas que separan " (1984)<sup>62</sup>, pero también se pueden considerar zonas intermedias entre las pequeñas localidades y las ciudades. Zonas intermedias donde hay una baja conectividad espacio-temporal pero que posteriormente facilitarán la articulación territorial, que complemente el ordenamiento territorial.

Las características principales para la generación de viviendas en zonas suburbanas son: el bajo costo y la fácil adquisición de viviendas y terrenos, ¿por qué las zonas suburbanas presentan actualmente tantas facilidades para la generación de vivienda? Los suburbios o áreas suburbanas que se pueden considerar "el borde urbano" de ciudades latinoamericanas donde migran personas de zonas rurales que tienen el objetivo de llegar a la ciudad y de personas de la ciudad con pocos recursos económicos que son despojadas de sus viviendas a través de los altos costos del suelo en el interior de las ciudades. Esto acarrea "problemas asociados con la aglomeración

<sup>62</sup> Lynch, K. (1984). *La imagen de la ciudad*. Barcelona: Ed. Gustavo Gili.

urbana: competencia por el espacio, alto índice de especulación del suelo, deterioro ambiental y la proliferación de asentamientos irregulares... Así se genera un crecimiento desordenado e improvisado, el poblamiento en zonas de riesgo, la utilización irracional del suelo, deterioro ambiental y la precariedad de los núcleos de población." (Reyes Ramos & López Lara, 2011)<sup>63</sup>

Estas nuevas viviendas que crecen en las periferias urbanas se generan comúnmente de dos orígenes: la primera suelen ser una simbiosis de conjuntos habitacionales similares que se encuentran al interior de la ciudad y estas nuevas ciudades rurales, pero a escalas impensables y con los mismos problemas de falta de identidad. La segunda opción para la generación de vivienda, la mal llamada "informal" o de autoconstrucción, esta aunque pueda carecer de servicios básicos si cuenta con una identidad, una identidad dada al ser construida por las mismas personas que habitan estas viviendas. (figura 28)

La vivienda dirigida a sectores con menores ingresos económicos o de

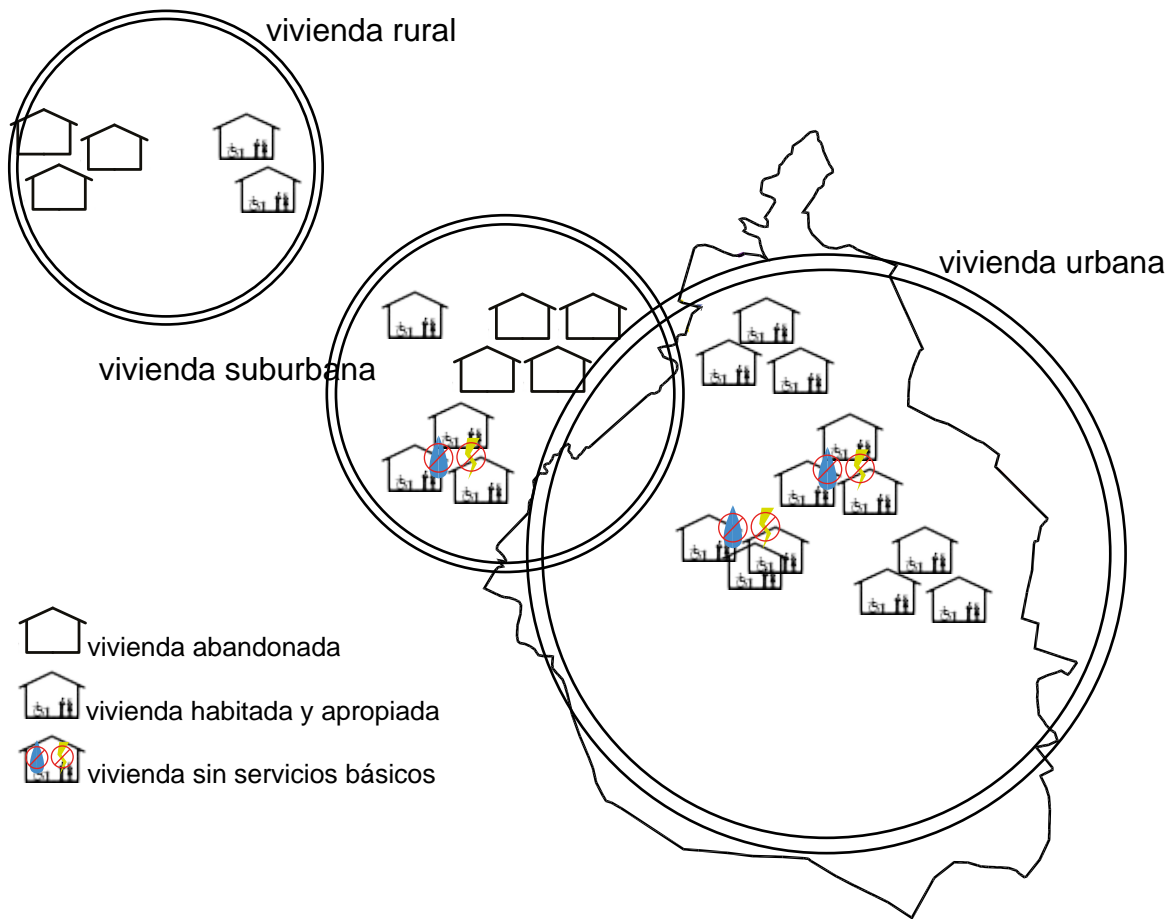
interés social es el tipo de vivienda a la que me dirijo primordialmente en esta tesis, a partir de la mejora de la técnica de la tapia. Pero la cual no depende únicamente de sí misma, tiene que existir una dependencia del contexto, contexto que responde geográfica, temporal y culturalmente en este caso de la ZMVM.

## 2.4 Situación actual Zona Metropolitana del Valle de México ZMVM

La Zona Metropolitana del Valle de México es una muestra de la escasez de vivienda digna, un problema que existe claramente en las zonas urbanas. La pobre dotación de infraestructura urbana y baja presencia de servicios urbanos no es exclusiva de zonas rurales, es una realidad de barrios marginados que emergieron a partir de los modelos económicos. Pero si es verdad de que estos barrios marginados emergieron a partir de la migración rural, barrios marginados que en un comienzo surgen en el dentro de las grandes ciudades como en la Ciudad de México y posteriormente pueblan las periferias a través de la autoconstrucción. Las periferias de las ZMVM también fueron ocupadas poco a poco por sectores de la población urbana que fueron despojados por la gentrificación que ha existido desde la segunda mitad del siglo pasado. La pobre dotación de

<sup>63</sup> Reyes Ramos, M. E., & López Lara, Á. F. (2011). Ciudades rurales en chiapas: formas territoriales emergentes. *Nueva época* núm. 66, 121-151.





^ figura 28 Diagrama de habitabilidad para vivienda de interés social de la ZMVM

infraestructura urbana y baja presencia de servicios urbanos no son las únicas razones de la generación de barrios marginados también “ los bajos niveles educativos, precariedad laboral, desempleo, falta de protección social, redes sociales inexistentes o deficientes y disminución de la capacidad de asociación y gestión colectiva, todas desventajas de carácter concentrado

y acumulativo.” (Bayón, 2008)<sup>64</sup>

En el caso de la ZMVM encontramos un patrón territorial, “en primer lugar identificamos los barrios o colonias de bajos recursos económicos, que se localizan sobre todo en el norte de la Ciudad de México, en el oriente y en

64 Bayón, M. (2008). Desigualdad y procesos de exclusión social. Concentración socioespacial de desventajas en el Gran Buenos Aires y la Ciudad de México. *Estudios Demográficos y Urbanos* 23(1) 123-150, 128.

el sur, en delegaciones que presentan desarrollos urbanos periféricos y zonas de topografía accidentada, como Gustavo A. Madero, Iztapalapa o Magdalena Contreras.” (Aguilar & López, 2016)<sup>65</sup> Estas colonias aunque se encuentran dentro de la ciudad son bordes urbanos que marcan límites territoriales, pero que generalmente cuentan con una mezcla de viviendas de autoproducción y viviendas de desarrolladoras públicas o privadas. Según Aguilar & López (2016) “En segundo término sobresalen franjas de marginación que se han desarrollado a lo largo de ejes de comunicación en zonas de marcadas carencias; es el caso del sur de la delegación de Xochimilco y su conexión con la delegación de Tláhuac.”<sup>66</sup> Estas franjas fueron y se crean a largo de ejes viales, que parte y fragmentan la ciudad, ya que son bordes impenetrables que segregan a la población. “En tercer lugar se observan manchones urbanos en la periferia más lejana, como es el caso de la Delegación de Milpa Alta, y Tlalpan.” (Aguilar & López, 2016)<sup>67</sup> Y esto se repite a lo largo y ancho de toda la zona metropolitana donde todas las periferias se vuelven estas

zonas intermedias de transición entre las zonas urbanas y rurales. Estas zonas se vuelven ciudades dormitorio con bastas carencias de servicios básicos para el desarrollo humano adecuado y de exclusión social.

Un estudio que realizó la Gaceta Oficial del Estado de México, (Díaz, 2015)<sup>68</sup>

“revela que entre 1999 y 2011 se construyeron 560 mil casas de este tipo en 256 conjuntos urbanos autorizados por el Congreso local. El territorio conquistado por las inmobiliarias, tan solo en los municipios conurbados, abarcan una superficie total de 96 km<sup>2</sup>, lo equivalente a la delegación Gustavo A. Madero, y tienen una capacidad para albergar a 2.5 millones de habitantes. Los más afectados por el cambio de uso de suelo son Tecámac, Zumpango, Huehuetoca, (figura 29) donde el entonces gobernador del estado, Enrique Peña Nieto, impulsó las llamadas «Ciudades Bicentenario».”

“¿Quiénes son los habitantes de estos conjuntos urbanos? Se trata en su mayoría de familias pobres que cuentan con un sólo miembro afiliado al INFONAVIT. En 2004, por ejemplo, se estima que 75% de los derechohabientes del Distrito Federal ejercieron su crédito

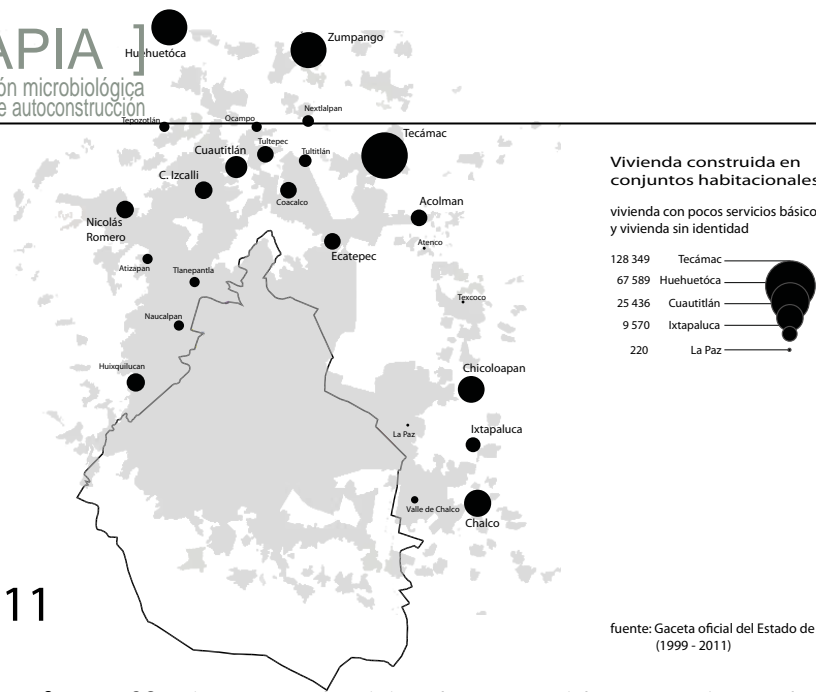
65 Aguilar, A. G., & López, F. M. (2016). Espacios de pobreza en la periferia urbana y suburbios interiores de la Ciudad de México. Las desventajas acumuladas. *EURE*, vol. 42, núm. 125, 5-29.

66 ídem

67 ídem

68 Díaz, J. (9 de junio de 2015). *subversiones*. Obtenido de <http://subversiones.org/archivos/116571>

2011



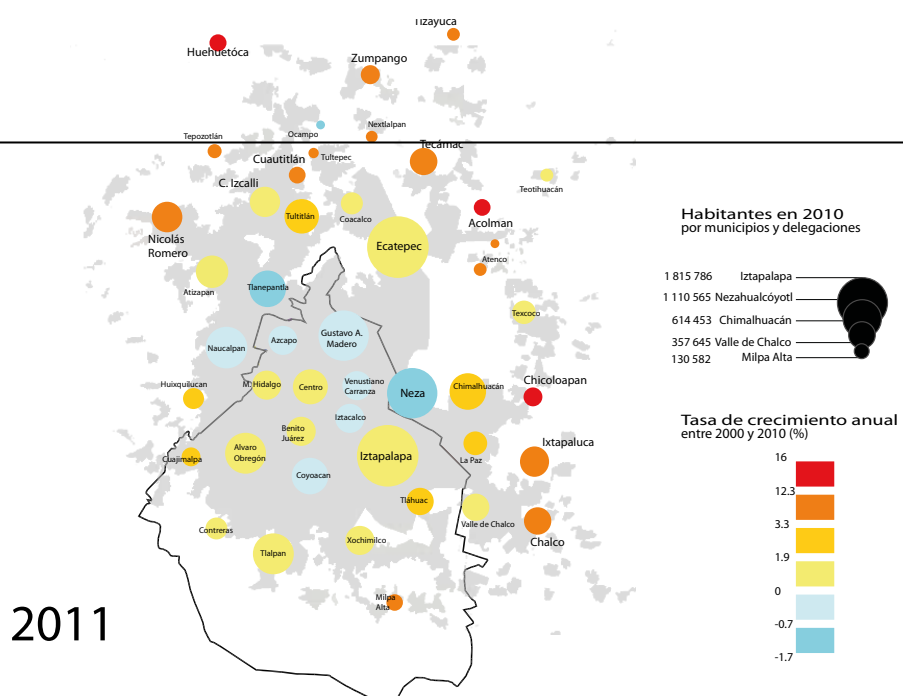
fuerite: Gaceta oficial del Estado de México  
(1999 - 2011)

▲ figura 29 Diagrama de vivienda construida en conjuntos habitacionales.

en el Estado de México. Muchas otras familias abandonaron las colonias populares construidas por sus padres en la periferia del DF en busca de un mejor futuro, atraídas por la promesa de vivir en nuevas colonias autosuficientes dotadas con servicios urbanos modernos. Sin embargo, en vez de introducir escuelas, parques y clínicas como lo indica la ley, las inmobiliarias ocupan hasta el último resquicio con tres o cuatro modelos de casas, todas de pésima calidad." (figura 30)

Todos las deficiencias en la vivienda de interés social que he mostrado en las páginas anteriores son las razones estructurales de porque las personas no pueden habitar en una vivienda digna, entonces el crear vivienda digna debe ser el primer paso para la generación de comunidades. Para generar vivienda

digna, se debe apoyar la vivienda autogenerada, progresiva y consciente. ¿Cómo podemos lograr esto? En esta tesis propongo el rescate de sistemas y técnicas constructivas tradicionales con base a materiales naturales que ahora sustituyan los materiales industrializados, materiales que se han demostrado que causan grandes efectos negativos al ambiente. En base a esto promoveré la construcción con tierra en zonas urbanas y no únicamente en zonas rurales, a partir del desarrollo biotecnológico en técnicas tradicionales como la tapia. Así se podrá pensar en generar vivienda social económica y sobre todo habitable, el fomentar la construcción con tapia debe favorecer a la construcción de viviendas apropiadas para las personas en la zona metropolitana para repoblar



2011

^ figura 30 Diagrama de habitantes por municipio y delegaciones.

la ciudad con distintos centros urbanos, para el rescate de barrios y colonias marginadas.

Técnicas tradicionales como la tapia pueden ser detonadores para fomentar una convivencia de desarrollo de viviendas entre una persona especializada en la construcción y las personas no especializadas, donde la capacitación de las personas para la autoconstrucción de sus viviendas y la sencilla aplicación de la técnica de la tapia puede generar una mejor calidad de vida para los ciudadanos de esta metrópolis. Actualmente estamos acostumbrados al desarrollo de la tecnología y estrategias sustentables aplicadas a la vivienda, pero que comúnmente se encuentran enfocadas al desarrollo de materiales industrializados, es decir contaminantes.

Por lo que debemos cuestionar y comparar los materiales industrializados con materiales naturales y así dirigir futuras investigaciones al desarrollo de tecnologías y estrategias en materiales apropiados para el bajo impacto ambiental.

vivienda tierra  
bacteria  
sustentabilidad  
medio oriente  
estabilizadores  
latinoamérica  
bacilo

arquitectura contemporánea

tapial

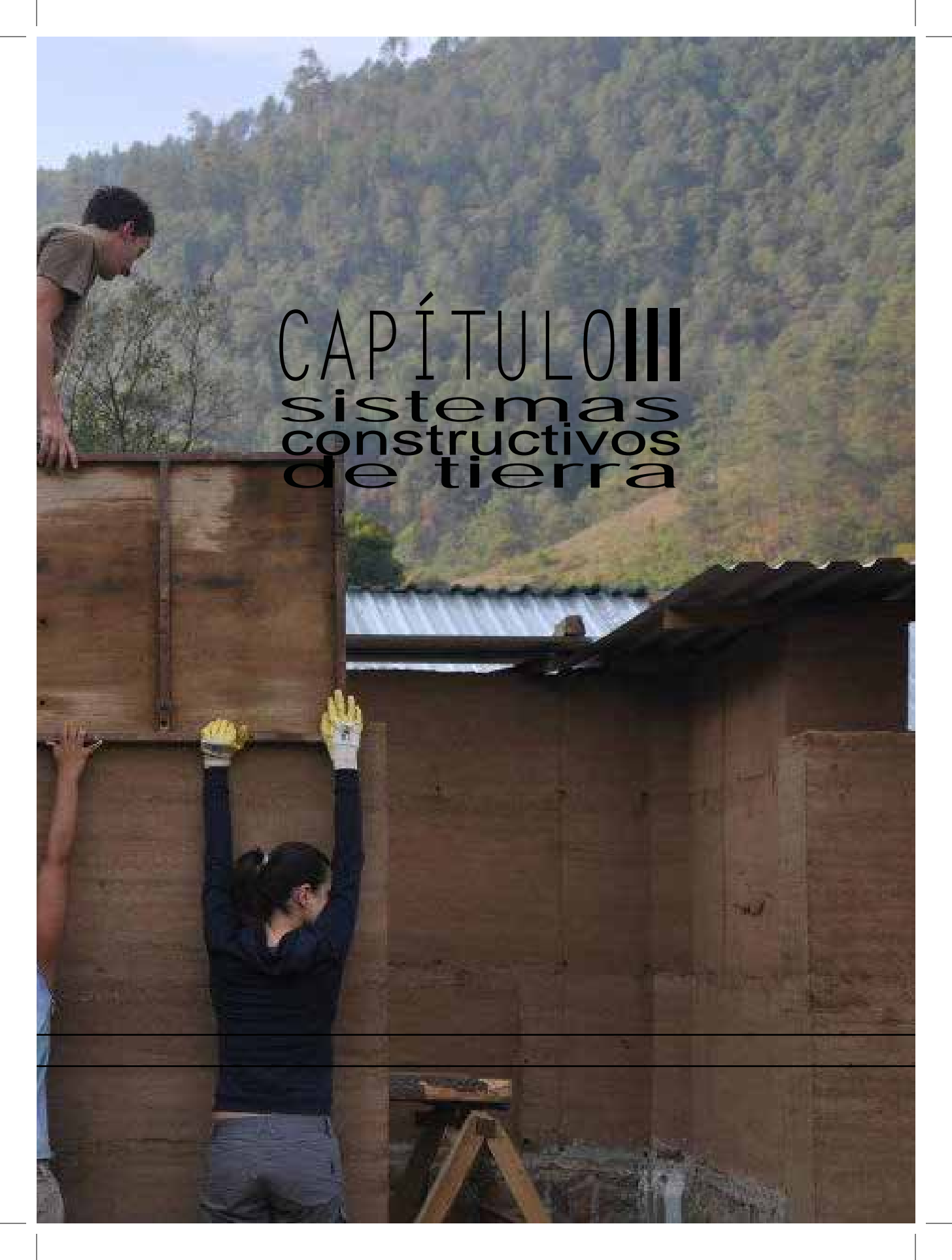
sostenibilidad  
materiales apropiados

ruta histórica

tecnologías apropiadas

tapia





# CAPÍTULO III

## sistemas constructivos de tierra

### 3.1 **Sustentabilidad arquitectónica por medio de materiales tradicionales o apropiados.**

Como introducción a este capítulo sobre los sistemas constructivos de tierra, debo aclarar que la tierra no es el único material tradicional para la construcción de espacios arquitectónicos y como lo menciono en capítulos anteriores estos materiales naturales o tradicionales son propios para obtener una arquitectura sustentable o se acerque lo mayor posible a esto. Si hacemos referencia a la definición de las tecnologías y materiales apropiados por Schumacher (1983)<sup>69</sup>, mencionada en el Capítulo I de esta tesis, donde se menciona que este tipo de materiales para su uso en cualquier sistema constructivo debe ser la opción más adecuada para respetar el contexto de cualquier obra arquitectónica, entonces es la metodología que más se acercará para llegar a la sustentabilidad. El respeto al contexto tiene diferentes enfoques, el más estudiado en cualquier análisis de sustentabilidad es el enfoque ambiental. La perspectiva ambiental dentro la sustentabilidad se encauza al conseguir en una edificación el menor impacto al ambiente en todo su ciclo de vida, el ciclo de vida de un espacio construido por el ser humano

inicia desde la obtención de los materiales para dicha construcción, su transportación a la obra, el proceso constructivo y el tiempo de uso por los usuarios de la edificación. Pero para realizar un espacio habitable que sea sustentable también tenemos que referirnos a los demás enfoques para tener la sustentabilidad óptima. El aspecto social es la condición primordial para que cualquier elemento hecho por el ser humano pueda ser sustentable, en este caso si una edificación es sustentable socialmente existirá un equidad social y ética entre las personas que estén relacionadas con esta edificación, el usuario directo e indirecto y los constructores de dicha obra arquitectónica. Esto crea una comunidad alrededor de ese espacio habitable y podrá con mayor facilidad solucionar la sustentabilidad ambiental, económica, innovadora y estética.

Entonces para resolver los cinco enfoques que engloba la sustentabilidad se debe pensar de la manera más simple y sencilla en el trabajo con la materia prima con que se construye un espacio, esta materia prima sin duda serán los materiales naturales o tradicionales que no requieren una manufactura industrial y por consecuencia los sistemas constructivos en donde sean aplicados también serán sistemas

---

<sup>69</sup> Schumacher, E. (1983). *Lo pequeño es hermoso*. Buenos Aires: Ed. Orbis.

## Proceso de los materiales industrializados para la construcción

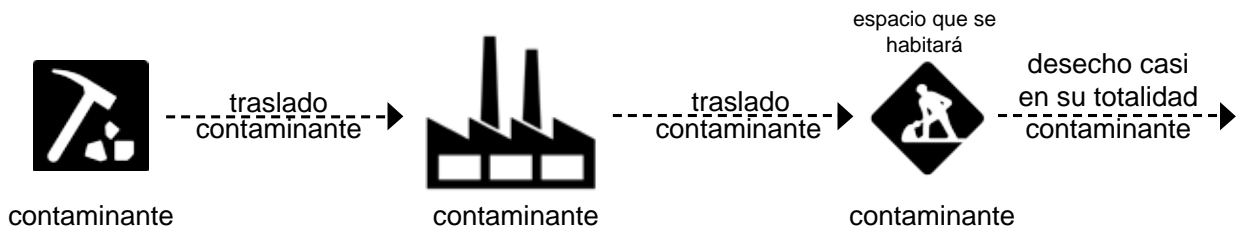


figura 31. ^  
Proceso de materiales industrializados para la construcción, inservible para un desarrollo sustentable.



figura 32. >  
Proceso cíclico de materiales naturales utilizados para la construcción.

tradicionales con procesos artesanales que respetaran nuestro entorno. (figura 31 y 32) Si favorezco a la utilización de procesos y manufacturas artesanales para la construcción no debe condicionar la innovación o desarrollo de estos procesos constructivos, solo que al innovar dichos sistemas constructivos debemos analizar y desarrollarlos dentro de procesos sustentables para su correcta innovación.

Como lo menciona T.M. Carvalho y R. Lopes (2012)<sup>70</sup> "...es evidente la

necesidad de implementar sistemas de construcción que cumplen con los parámetros de sostenibilidad, es decir, sin consumir grandes cantidades de energía, que hacen uso de los recursos naturales, y que son renovables, limpios, duraderos y capaces de reutilización; tener bajo consumo de energía y, sobre todo, presentar en el lugar, y por lo tanto adaptado a él." Por lo tanto debemos voltear a los materiales naturales de manufactura artesanal, que son los que

(2012). *LA ARQUITECTURA DE TIERRA Y LA CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE*. La Habana: 16 Convención científica de ingeniería y arquitectura.

70 CARVALHO, T. M., & LOPES Wilza Gomes, R.  
calpupan.chiliarq@gmail.com  
jgutierrez.eco@gmail.com



rigen en una arquitectura tradicional. La arquitectura tradicional, la cual entendemos como arquitectura no hecha por especialistas, es espontánea, típica y en la que permanecen constantes elementos de lo popular y tradicional.

Los materiales para una construcción deben responder al clima, el frío o el calor para mantener el espacio confortable, ¿Cómo podemos definir que materiales son aptos para una edificación? Nuestro entorno nos dará la respuesta sobre los materiales que correctos para lograr un confort en nuestros espacios, los materiales existentes de la región que sean suficientes y que no dependan de una transportación o fabricación desmedida serán los correctos para responder al clima del sitio. La materia prima que podamos transformar para el uso constructivo sin afectar el medio es el material idóneo como puede ser la madera, piedra, arena, cal, bambú, tierra, etc.; con la yuxtaposición de estos materiales y al cambiar sus condiciones físicas o químicas podemos crear distintas técnicas constructivas propias de cada sitio por los aspectos físicos del ambiente, la cultura y las costumbres de la civilización del mismo lugar.

En esta investigación me centro en la arquitectura tradicional hecha

con tierra por ser la materia prima al alcance de casi cualquier comunidad establecida en el planeta Tierra. El uso de la tierra como material de construcción sin importar la técnica utilizada, no produce una contaminación directa al ambiente pero si puede generar afectaciones indirectas como puede ser la transportación desmedida del material. Al considerar que el sector de la construcción es responsable en gran parte del total mundial de las emisiones de gases invernadero, aproximadamente entre el 30-40 % de las emisiones totales (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, s.f.)<sup>71</sup>, donde la mayor actividad de la construcción se encuentra en zonas urbanas, por lo tanto tenemos que concientizarnos de que debe mejorar las condiciones del sector de la construcción. Bajar los niveles de contaminación en la extracción de materia prima para la edificación, evitar largas distancias de traslados de las mismas materias primas para su manufactura y el poder construir con materiales que podremos reaprovechar, son acciones dependientes de quién construye, no pueden continuar ajenas a quién construye día a día en ciudades como

---

71 *Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.* (s.f.). Obtenido de <http://www.unep.org>

la Ciudad de México. Dentro de todos los beneficios que puede traer la construcción sustentable en este caso con un material como la tierra también hay que identificar los problemas y deficiencias que puede llegar a tener cualquier técnica hecha con tierra, en este caso la tapia, que puede llegar a ser un sistema constructivo urbano para la vivienda actualmente.

Como mencioné anteriormente la tapia es una técnica que necesita la extracción de tierra pero que debe tener ciertas características granulométricas, de plasticidad, de compactibilidad, cohesión y estabilización. Por lo que la extracción de la tierra a utilizar en zonas urbanas debe cumplir ciertos estándares de sustentabilidad, primero debe ser una tierra adecuada para la tapia con las propiedades que acabo de mencionar pero gracias a la bacteria como estabilizador estas características de los suelos podrá tener un rango más amplio, es decir un margen mayor que permitirá utilizar un mayor tipo de suelos o tierra. Esta mejora contribuirá a la extracción de tierra dentro de zonas geográficas más cercanas a la construcción ya que no será necesario una tierra muy específica para la construcción con tapia y esto originará menor contaminación en el traslado del material esencial para la construcción con tapia. Con estabilizadores y

materiales naturales se podrá pensar el desarrollo de una arquitectura cíclica, donde los materiales utilizados para una vivienda puedan reutilizarse al transcurrir su ciclo de vida de algunas décadas y demolerse dicha vivienda en un futuro y construir con los mismos materiales otra vivienda.

Para conseguir apropiarse de la tierra o de otros materiales para la construcción de espacios habitables, se debe entender dichos materiales. Conocer la tierra como un material de construcción, es comprender desde su origen biológico hasta la experimentación con el mismo para ver todas sus aristas.

## 3.2 Estudio del suelo.

Propiedades básicas de la tierra.  
Composición granulométrica o textura:

La composición granulométrica se describe como la distribución del tamaño de los granos o partículas de la tierra y se constituye por el porcentaje de contenido de piedras, grava, arenas, limos y arcillas, estas se clasifican de acuerdo al tamaño del diámetro de sus partículas. Dependiendo cuál de estas partículas sea la dominante el suelo tendrá las propiedades predominantes de dicha partícula, así el suelo puede denominarse como tipo arcilloso,

arenoso, limoso o gravoso. (Houben & Guillaud, 1994)<sup>72</sup> (figura 33)

Tamaño en mm.	
Grava	Superior a 2mm
Arena	0.6 – 2 mm
Limo	0.002 – 0.6 mm
Arcillas	menores a 0.00

figura 33. ^ Tabla granulometría del suelo.

Por lo tanto la tierra se compone de partículas de grava, arena, limo y arcillas.(figura 34 y 35)

Plasticidad.

Es la característica de la tierra de presentar deformación sin falla elástica que se caracteriza por agrietamiento o desintegración. Los parámetros básicos en el análisis de la plasticidad de la tierra son su composición granulométrica y la naturaleza mineralógica de sus arcillas. Lo que determina la plasticidad de la tierra es la cantidad y la calidad de la fracción de arcilla. La tierra puede tener distintas consistencias, líquida, plástica o sólida. Estos estados dependen del contenido de humedad y sus límites.

IP= indicador de la plasticidad de la

72 Houben, H., & Guillaud, H. (1994). *Earth construction: a comprehensive guide*. London, UK: Intermediate Technology Publications.

tierra.

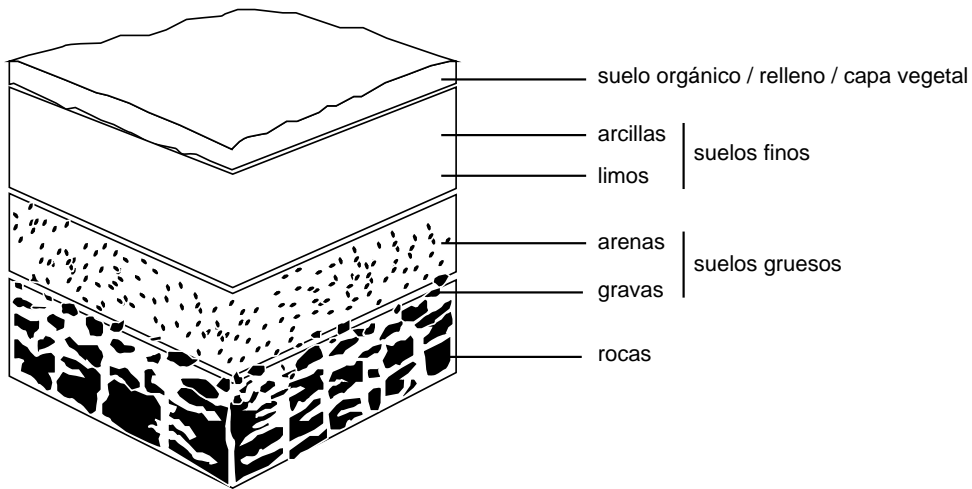
LL= límite líquido es la transición del estado líquido al estado plástico.

LP= límite plástico es la transición del estado plástico al estado sólido

Se entiende por límite líquido, la humedad que tiene un suelo amasado con agua y colocado en una cuchara de Casagrande cuando el surco realizado con un acanalador que divide esta masa en dos mitades se junta a lo largo de su fondo en una distancia de 13mm después de haber dejado caer 25 veces la cuchara desde una altura de 10mm con una cadencia de 2 golpes por segundo. (Houben & Guillaud, 1994)<sup>73</sup>

Para calcular el límite plástico usamos el resto de la masa que hemos utilizado para calcular el límite líquido y con esta haremos unos cuantos fideos de barro sobre un cristal esmerilado por tal de secarlos a medida que los vamos amasando. Cuando vemos que el barro de los fideos se empieza a agrietar querrá decir que el barro ya empieza a estar seco y situamos los fideos dentro de una cápsula con el fin de determinar más tarde su humedad. Después de haber llenado las tres capsulas de esta manera y de haber calculado sus respectivas humedades

73 ídem



^ figura 34 Diagrama de capas del suelo por granulometría

## Tipos de suelos.

### SUELOS GRUESOS

estos suelos son los más usados en construcciones con tapia

No todas las tierras son adecuadas para la construcción de tapia, se estima que la mejor tierra debe estar compuesta por:

- **GRAVILLA : 0 a 15%**
- **ARENA: 40 a 50%**
- **LIMO: 35 a 20%**
- **ARCILLA: 15 a 25%**

#### Suelos arenosos.

Más del 50% de los elementos mayores a 0.08mm tiene un diámetro menor a 2mm.

**Sin suelos finos-**  
Menos del 5% tiene un diámetro menor a 0.08mm

Todos los diámetros están representados, ninguno es predominante.-

Arena limpia, bien graduada.- No apta para su uso sin estabilización, deben añadirse suelos finos.

Un tamaño de grano o fracción de grano predominante.-

Arena limpia, mal graduada.- No apta para su uso sin estabilización, deben añadirse suelos finos.

**Con suelos finos-**  
Más del 12% tiene un diámetro menor a 0.08mm

Elementos finos sin cohesión.-

Arena limosa.-  
Apto para uso sin estabilización.-  
Algunas veces debe añadirse suelos finos.

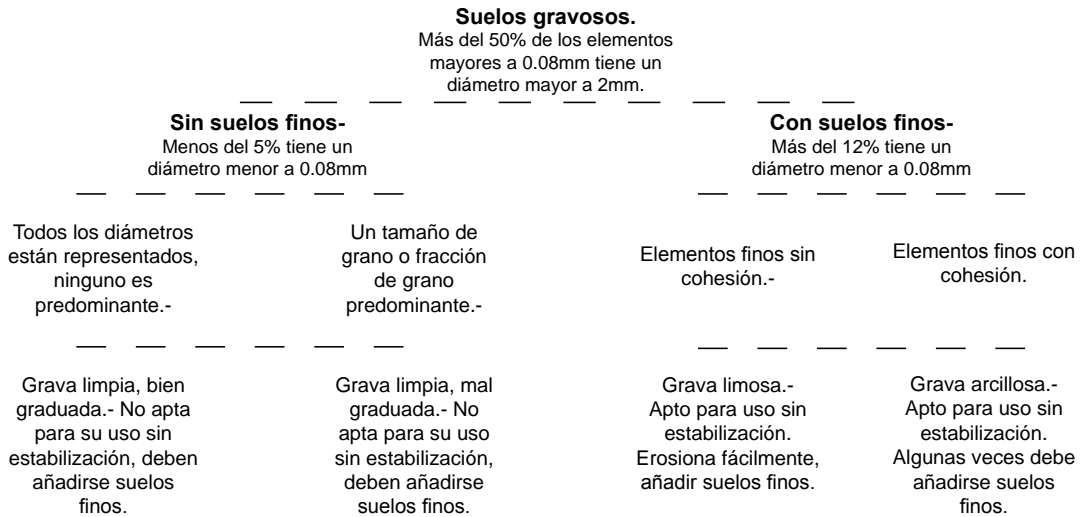
Elementos finos con cohesión.

Arena arcillosa.-  
Apto para uso sin estabilización.  
Algunas veces debe añadirse suelos finos.

## Tipos de suelos.

### SUELOS GRUESOS

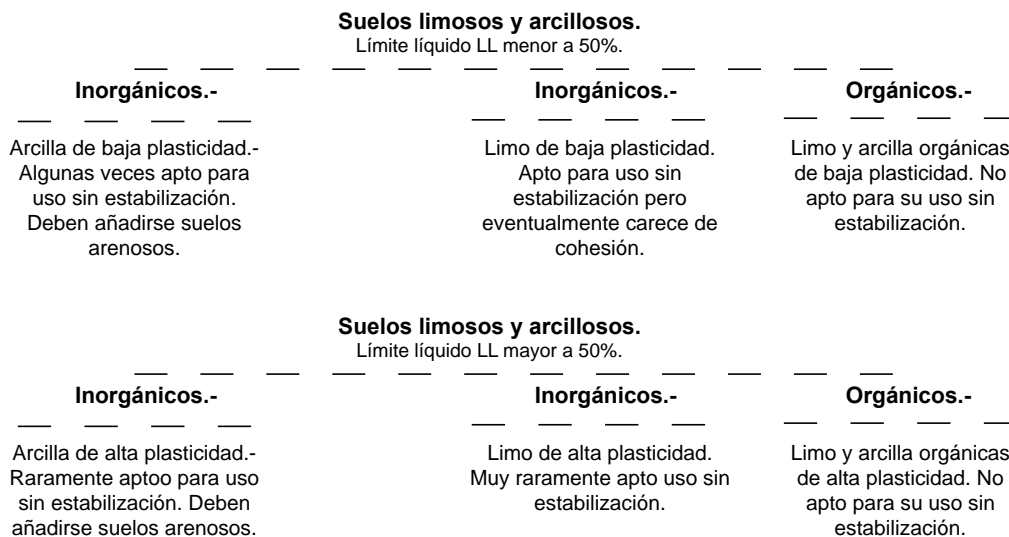
Son permeables, su comportamiento mecánico viene definido por el peso y fricción de sus partículas; su resistencia es en función de la proximidad de éstas entre sí, es decir la densidad relativa, las deformaciones motivadas por la acción de las fuerzas exteriores se produce con rapidez.



## Tipos de suelos.

### SUELOS FINOS

Contienen huecos muy pequeños y son impermeables, por lo que retienen el agua. Su comportamiento depende de la película de agua existente entre sus partículas, su resistencia depende del espesor de esta película. Cuanto más gruesa es más débil el suelo; las deformaciones son motivadas por la acción de las fuerzas exteriores, se producen muy despacio, ya que el paso de agua a través de los huecos es un proceso lento. Tienen un comportamiento intermedio. Los inorgánicos son suelos de grano fino con poca o ninguna plasticidad.



▲ figura 35 Esquemas de los diferentes tipos de suelos y sus características.

hacemos la media aritmética de los tres valores y obtendremos el límite de plasticidad. El índice de plasticidad lo obtenemos haciendo la resta del límite líquido y del límite plástico.

#### Compactibilidad.

La compactibilidad del suelo es la propiedad para ser compactado al máximo para una energía de compactación y un grado de humedad. La tierra al ser sometida a una fuerza se comprime y la relación de vacíos disminuye, si la densidad de la tierra aumenta la porosidad se reduce y menos agua podrá penetrarlo. (Houben & Guillaud, 1994)<sup>74</sup>

#### Cohesión.

Es la capacidad de las partículas de la tierra a permanecer juntos cuando una fuerza de tensión es aplicada. La cohesión está condicionada por el contenido de humedad, la cohesión es alta cuando el contenido de húmedas es menor que el Límite plástico. (Houben & Guillaud, 1994)<sup>75</sup>

construir durante miles de años y ha demostrado su potencial y su durabilidad a través de ejemplos construidos en diferentes técnicas en muchos rincones de planeta, desde la antigüedad, que persiste hasta hoy en día, desafiando a los elementos y el tiempo mismo. A medida que los ejemplares presentes en Jericó, China, Mesopotamia, Irán, Iraq y en muchos países de África, cuya existencia se remonta a alrededor de 8000 a.C. La arquitectura de tierra se encuentra en todas las partes del mundo, a través de diversas técnicas, debido a su versatilidad. En cada sitio, se adapta a las condiciones climáticas existentes y las limitaciones físicas y materiales que se encuentran, hay la adaptación al medio ambiente local y las particularidades de cada región y la satisfacción de necesidades de bienestar del hombre." (CARVALHO & LOPES Wilza Gomes, 2012)<sup>76</sup>

Históricamente la tierra ha sido utilizada en grandes civilizaciones, pero que a partir del desarrollo industrial fue olvidándose por las "necesidades"

### 3.3 La tierra: material de construcción local

"Se sabe que la tierra cruda se ha utilizado para

<sup>74</sup> ídem

<sup>75</sup> ídem

<sup>76</sup> CARVALHO, T. M., & LOPES Wilza Gomes, R. (2012). *LA ARQUITECTURA DE TIERRA Y LA CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE*. La Habana: 16 Convención científica de ingeniería y arquitectura.

figura 36. >>  
Viviendas de adobe, isla  
de Amantani, Peru.

figura 37. >  
Edificio de adobe y tapia  
en Shibam, Yemen.

figura 38. >>  
Vivienda de adobe y  
repellado de barro, isla de  
Amantani, Peru.



de la sociedad moderna. Por lo tanto la tierra no tiene que ser un material que se use únicamente en “países en desarrollo” para la construcción en comunidades marginadas. Si consideramos que los países, regiones y ciudades más contaminantes son las más desarrolladas industrialmente, la tierra tiene que ser un material que debe utilizar en cualquier zona poblada (figura 36, 37 y 38) y eso incluye a la ZMVM y la autoconstrucción es una realidad en la ciudad de México. “En esta ciudad como muchas otras en la Latinoamérica las personas construyen sus viviendas que demandan eficiencia económica y energética, a la par se ha comprendido que la tierra como de construcción natural tiene mejores cualidades que los materiales

industriales como el concreto, los ladrillos, etc.” (Minke G. , 2005)<sup>77</sup> Pero es una realidad que la tierra tiene algunas desventajas a comparación de los materiales industrializado antes mencionados pero son desventajas que debemos analizar para contrarrestarlas y la característica de material local sea de mayor peso para su mayor utilización en zonas altamente pobladas. Las desventajas según Gernot Minke (2005)<sup>78</sup> son las siguientes:

1. El barro no es un material de construcción estandarizado.

Su composición depende del lugar de donde se extrae puede contener diferentes cantidades y tipos de

<sup>77</sup> ídem

<sup>78</sup> ídem

arcilla, limo, arena y agregados. Por sus características pueden variar del lugar a lugar y la preparación de la mezcla correcta para una aplicación específica puede variar también. Resulta necesario saber la composición específica de la tierra para poder juzgar sus características y modificarlas con aditivos si fuera necesario.

2. La tierra se contrae al secarse.

A través de la evaporación del agua de amasado (necesaria para activar la capacidad aglomerante de la arcilla y para poder ser manipulada pueden aparecer fisuras. La retracción lineal durante el secado oscila entre 3-12% en técnicas de tierra húmeda (como las que se usan para morteros y bloques de barro) y entre 0.4-2% en técnicas con mezclas secas (utilizadas para tapia o bloques compactados) La retracción se puede disminuir reduciendo la cantidad de agua y arcilla, optimizando la composición granulométrica o mediante el empleo de aditivos.

3. La tierra no es impermeable.

El barro debe ser protegido contra la lluvia y las heladas especialmente en estado húmedo. Las paredes de tierra pueden protegerse con aleros, barreras impermeabilizantes, tratamientos de superficies, etc.

Por otra parte la tierra mucha

ventajas en comparación a los materiales de construcción industriales. (Minke G. , 2005)<sup>79</sup>

1. La tierra regula la humedad ambiental.

La tierra tiene la capacidad de absorber y desorber humedad más rápido y en mayor cantidad que los demás materiales de construcción. Por eso regula el clima interior.

2. La tierra almacena el 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, la tierra puede balancear el clima interior.

3. La tierra ahorra energía y disminuye la contaminación ambiental.

La tierra prácticamente no produce contaminación ambiental en relación a los otros materiales de uso frecuente, para preparar, transportar y trabajar la tierra en el sitio se necesita solo 1% de la energía requerida para la preparación, transporte y elaboración de concreto armado o ladrillos cocidos.

4. La tierra es reutilizable.

La tierra cruda se puede utilizar

---

<sup>79</sup> ídem



ilimitadamente. Solo necesita ser triturada y humedecida con agua para ser reutilizada. La tierra nunca será un escombros contaminante en comparación a otros materiales.

5. La tierra 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 utilizado para la construcción, depende del tipo de granulometría de cada banco de tierra será necesario o no mezclarse con otras tierras para su utilización en la construcción. En comparación con otros materiales de construcción se pueden disminuir costos si se utiliza el suelo excavado, aun cuando este deba ser transportado de otros lugares resulta usualmente más económico que los materiales industrializados.

6. La tierra es apropiada para la autoconstrucción.

Las técnicas de construcción con tierra pueden ser ejecutadas por personas no especializadas en construcción.

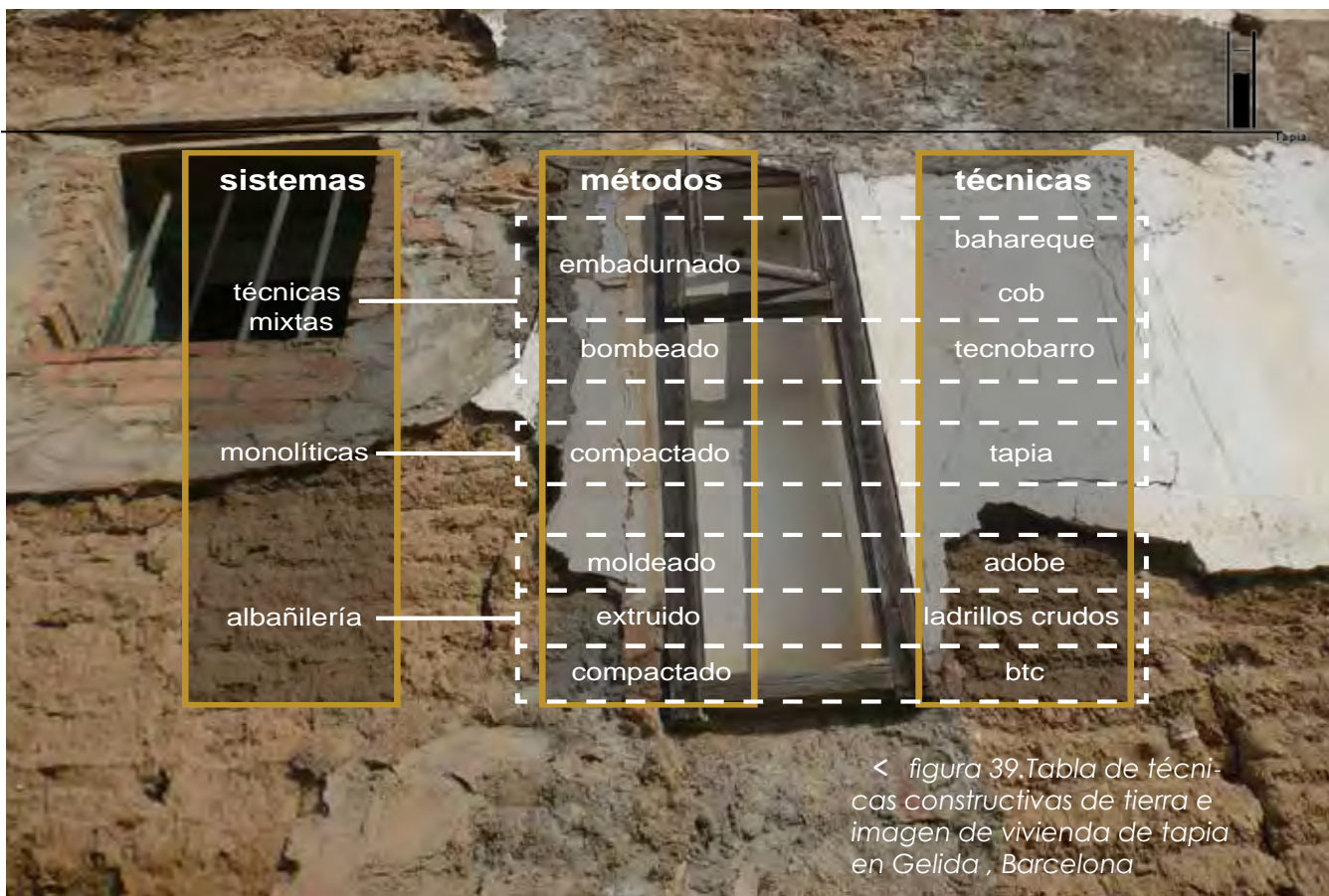
7. La tierra preserva la madera y otros materiales orgánicos.

La tierra mantiene secos los elementos de madera y los preserva

cuando están en contacto directo con ella, debido a su bajo equilibrio de humedad de 0.4 a 6% en pesos y a su alta capilaridad.

8. La tierra absorbe contaminantes.

Es una realidad que la tierra puede absorber contaminantes disueltos en agua.



### 3.4 Técnicas constructivas de tierra

#### 3.4.1 Propiedades ya características generales de las técnicas constructivas de tierra.

##### Adobe.

El adobe es una técnica constructiva realizada a través del método del moldeado que parte de un sistema constructivo de albañilería. Se moldean y compactan bloques de barro a mano al rellenar moldes que son secados al aire libre.

“La elaboración de adobes se

realiza al rellenar los moldes con un barro de consistencia pastosa o se lanza un barro menos pastoso en el molde, estos moldes comúnmente son hechos de madera. En la técnica de lanzado se mezcla barro arenoso con agua, usualmente se añade paja cortada y se lanza la mezcla con fuerza al molde, mientras más fuerte se lance el barro en el molde mejor serán la compactación y la resistencia. La superficie se uniforma con la mano, una madera o una cuchara. Una persona puede elaborar aproximadamente 300 adobes por día, incluyendo la preparación de la mezcla el transporte y el apilado. Los porcentajes aproximados de

granulometría para adobes o bloques de suelo son 14% arcilla, 22% limo, 62% arena y 2% grava. Generalmente los adobes deben de tener suficiente arena gruesa que le permita alcanzar una alta porosidad y alta resistencia a la compresión con un mínimo de retracción. Pero a la vez deben de contener suficiente arcilla para tener una buena cohesión que permita la manipulación de los adobes.

Los adobes se unen con mortero de barro, de cal hidráulica o altamente hidráulica. Se pueden añadir pequeñas cantidades de cemento a esta mezcla pero grandes cantidades de cemento pueden causar fisuras en el adobe. Es posible construir muros de adobe prescindiendo del mortero, si los adobes se sumergen en agua unos minutos antes de la colocación, para que las superficies se ablanden. Los adobes reblandecidos se colocan y se aprietan unos contra otros, de modo que luego de secados queden pegados." (Minke G. , 2005)<sup>80</sup>

### **Bahareque.**

Esta técnica se utiliza comúnmente en climas tropicales, sub-tropicales y templados. Es una técnica de

embadurnado donde el barro se lanza sobre una estructura de ramas de madera, carrizo u otro material que puede entretorse. Esta técnica se puede llamar bahareque o quincha.

La estructura consiste en elementos verticales y horizontales que forman una malla de tal manera que todos los elementos están cubiertos con al menos 2 cm de mezcla. La consistencia del mortero a utilizar se comprueba fácilmente dejando caer una bola de 10 cm de diámetro desde la altura de 1 m sobre una superficie dura. Si el diámetro del disco aplastado que se forma es de 13 a 14 cm la consistencia es apropiada. (Minke G. , 2005)<sup>81</sup>

### **Cob y moldeado con barro.**

"La tierra como ningún otro material de construcción tiene la característica de convertirse en un material plástico al mezclarse con agua, para así ser moldeado. Representa por ello un reto de creatividad para los diseñadores y constructores. El moldeado manual de muros con bolas de barro plástico o pastas plásticas de barro, es una técnica tradicional en África, Asia y también conocida en Europa y América. Es la técnica más simple y primitiva ya que ninguna herramienta es requerida. En esta

---

80 ídem

---

81 ídem

técnica, la mezcla preparada se utiliza directamente (sin moldes ni procesos intermedios). La desventaja de está sin embargo, es que incluso las mezclas rebajadas con solo 10 a 15% de arcilla muestran una retracción lineal de 3% a 6% al secar. Mientras más elevado sea el contenido de arcilla y agua en la mezcla, mayor será la retracción. Mientras que la construcción con adobes, éstos se colocan con mortero, en las técnicas húmedas se emplea para la construcción de muros, barro plástico sin mortero, uniéndolo mecánicamente a través del compactado, pegado, apretado o lanzado." (Minke G. , 2005)<sup>82</sup>

El moldeado con barro en todo el mundo se ha utilizado a lo largo de la historia, la misma técnica con distintos nombre depende de cada cultura, en Inglaterra Cob, en el norte de África Panes de Barro, en Alemania Stranglehm, esta última para hacer muros, pisos o cúpulas. (Minke G. , 2005)<sup>83</sup>

### **Barro alivianado y barro vertido.**

Existen varias técnicas para utilizar barro alivianado mediante apisonado, vertido y bombeado para la ejecución de pisos, muros o sistemas de cubiertas. Los muros de barro alivianado pueden

ser contruidos con cualquier tipo de cimbra, debido a que el impacto del apisonado para esta técnica es menor que la de la tapia, las tablas de las cimbras pueden ser más delgadas. El barro alivianado se puede mezclar con paja o madera para hacerlo más resistente. El barro alivianado con minerales se puede compactar en una cimbra como el barro con paja y también puede ser bombeado si la consistencia es la adecuada. Este absorbe menos agua y por ello seca más rápido, tiene mayor resistencia después del secado, mayor resistencia a la difusión del vapor y mayor dureza en la superficie que el barro aliviando con paja o madera. (Minke G. , 2005)<sup>84</sup>

Los muros de barro vertido son los más simples de hacer a partir de barro alivianado con mineral es sencillamente verterlo en una cimbra, se prepara la mezcla en una mezcladora. También se usa la técnica de muros bombeados, donde la mezcla de barro se bombea con bombas de concreto.

### **BTC (Bloque de Tierra Compactada).**

El bloque de tierra comprimida, generalmente llamado BTC, es el elemento de la albañilería hecho con tierra (suelo) compactada en el molde por compresión o prensado, seguido por el desmolde inmediato.

83 Idem

84 ídem

Para mejorar las propiedades físicas y mecánicas del BTC como su resistencia a la compresión y a la acción abrasiva del viento, impermeabilidad, durabilidad, puede utilizarse la estabilización granulométrica, que consiste en la mezcla de proporciones de diferentes tierras y la estabilización química, en que se agrega un aditivo químico a la tierra, generalmente aglomerante tipo cemento o cal.

Las paredes tanto pueden estar con el mampuesto a la vista (cuando estén protegidas de la lluvia), como cubiertas, pudiendo recibir revestimiento de mortero, diversos tipos de pintura o revestimiento cerámico. Se recomienda el uso de tierra con un porcentaje de arena superior al 50% para la fabricación del BTC. La arena es responsable de la estructuración interna (resistencia) del bloque, mientras que la arcilla responde a la aglutinación o cohesión de las partículas de la tierra. Sin embargo, la arcilla también es responsable del efecto de retracción del material durante el secado y la aparición de grietas en los bloques. Por eso, a veces es necesario adecuar la tierra disponible o, como se dice, estabilizar la tierra para la producción del BTC. La estabilización también se hace en el sentido de mejorar la

resistencia y la impermeabilización del bloque (Neves, 2009)<sup>85</sup>.

La primera opción es lograr la estabilización granular de la tierra mediante la adición de otros tipos de suelo o arena para mejorar su granulometría y plasticidad.

Para reducir la sensibilidad al agua, las altas tasas de contracción y expansión, y la baja resistencia a la abrasión del BTC, se debe realizar la estabilización química con la adición de aglomerantes como cemento, cal o asfalto, entre otros. Sin embargo, la elección de un agente de estabilización dependerá del tipo de tierra y de las condiciones técnicas y financieras para adquirir los aditivos químicos.

Para la fabricación de BTC con adición de cemento, se recomienda el uso de la tierra arenosa, siendo ideal la elección de tierras con las siguientes características:

- 100% que pase por el tamiz de 4,8 mm .
- 50% a 95% de arena heterogénea (o granulometría continua, composta de arena gruesa, media y fina), pues

---

85 Neves, C. M. (2009). *Selección de suelos y métodos de control en la construcción de tierra, prácticas de campo*. Obtenido de Red Iberoamericana Proterra: <http://www.redproterra.org>

los espacios dejados por los granos más grandes son llenados por partículas menores del propio suelo.

- LL (límite de liquidez)  $\leq 45\%$  y IP (índice de plasticidad)  $\leq 18\%$ , pues los suelos con índices de plasticidad y límites de liquidez elevados son más difíciles de estabilizar. Sin embargo, la plasticidad es necesaria para transmitir la cohesión suficiente a los bloques producidos para que puedan ser manipulados.

### 3.5 Muros de tapia o muros de tierra compactada – tapiales

La técnica constructiva que se conoce como tapia, tapial, suelo-cemento o tierra compactada, tradicional en México corresponde a un sistema constructivo monolítico a

partir de un método de compactación de tierra. (figura 40) Este consiste en la construcción de muros a partir de tierra cruda que rellenan un tapial (cimbra) con capas de tierra de 10 a 15 cm compactando cada una de ellas con un pisón. El tapial está compuesto por dos tablonces paralelos separados, unidos por un travesaño con lo cual adquiere el nombre de muro de tapia. El muro de tierra, se conforma por apisonado dentro de un molde que se apoya sobre el mismo muro que se está ejecutando que sirve, a su vez, como único soporte de las actividades de montaje del encofrado, moldeo, desencofrado y traslado del molde hacia la siguiente posición de servicio.

El sistema constructivo de la tapia es una técnica tradicional milenaria, es un sistema monolítico de construcciones

v figura 40 Croquis esquemático de muro de tapia en construcción.



v figura 41 Croquis esquemático de estabilización de muros de tapia por su forma.



con tierra a través de un método de compactación que lo hace único entre las demás técnicas de tierra. La tierra compactada ya sea como tapia o BTC son técnicas que son de suelos secos pero a diferencia de los BTC, la tapia no se elabora con un mortero de barro simplemente se van compactando capas de 10 a 15cm y se va moviendo el tapial hacia arriba sujetándose del mismo muro de tapia.

La tapia trabaja a compresión y como técnica de tierra seca trabaja muy poco a tensión y flexión. Por esto los muros de tapia se pueden estabilizar también por su forma, es decir elementos de muro en forma de L, T, U, X, Y o Z. (*figura 41*) De igual forma si el muro tiene un espesor de 30 cm, el extremo debe ser de no más de 3/4 de la altura y no menos de 1/3 de la altura. (*figura 42*) Esta longitud mínima es necesaria para transmitir las fuerzas diagonalmente a los cimientos. Las fuerzas perpendiculares al muro se transfieren a la sección del muro paralela a las mismas. Debido a que las fuerzas se concentran en la esquina del ángulo, este tiende a abrirse, por ellos es recomendable diseñarlas con un espesor mayor a la del resto del elemento evitando el ángulo a 90°. Para obtener una estructura más flexible se pueden emplear elementos de pequeña longitud.

Descripción del proceso constructivo tradicional de la tapia:

### 1 Cimentación

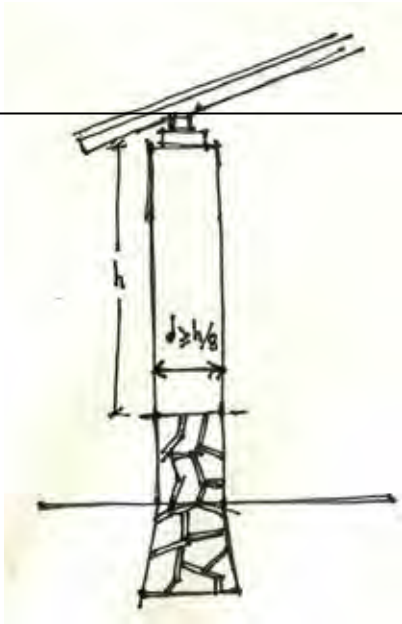
Se debe considerar una cimentación como en cualquier otro sistema constructivo tradicional, ya sea con una zapata corrida de piedra, concreto, etc. También se debe dejar un sobre-cimiento donde desplante el muro de tierra para evitar que el muro tenga contacto directo con la humedad en caso de lluvias.

### 2 Selección de la tierra

La tierra o suelo, es el material principal y de sus propiedades depende en gran medida el resultado. La tierra de mejor calidad es aquella derivada de rocas como el granito, para una mejor durabilidad requiere de cuidado y de agregados necesarios para tener un mejor resultado. Para un menor costo de material y transportación es ideal la proximidad de la tierra al lugar donde se va construir. No todas las tierras son adecuadas para la construcción de tapia, se estima que la mejor tierra debe estar compuesta por: GRAVILLA: 0 a 15%, ARENA: 40 a 50%, LIMO: 35 a 20%, ARCILLA: 15 a 25%

### 3 Estabilización

La función de la estabilización es incrementar la resistencia de un material



< figura 42. Croquis esquemático de la proporción de la altura por el espesor en un muro de tapia.

al deterioro producido por la lluvia, el agua estancada, la compresión, flexión, tensión y la durabilidad en general. Los estabilizantes estructurales, que ayuda a la arcilla en su labor de cohesión para evitar modificaciones de la forma, tamaño y resistencia. (cal, cemento, yeso, arena y arcilla, paja, etc.) Los impermeabilizantes, que mantienen fuera de contacto a la arcilla de la humedad. (Sabias de algunos vegetales como el cactus y el nopal, la orina de bovino o equino, el asfalto o chapopote y resinas.)

#### 4 Colocación de tapial (cimbra)

- El tapial debe ser rígido para evitar pandeos durante el proceso de apisonado.
- Las piezas deben ser lo suficientemente ligeras como para poder ser transportadas por dos

personas.

- El tapial de ser fácil de ajustar en la dirección horizontal y vertical.
- Las variaciones en el espesor del muro debe ser controlables a través de una tolerancia específica.
- Es preferible que las esquinas no requieran tapias especiales. Por ellos el tapial debe admitir variaciones en la longitud.

#### 5 Humedecimiento

Es necesario humedecer la tierra al mezclarla antes de compactarla, se debe tener cuidado de no mojar en un solo punto tratando de humedecer homogéneamente. Demasiada agua dará poca resistencia, menos durabilidad y será fácilmente atacable por la abrasión.

#### 6 Compactación



El tapial (cimbra) se rellena con capas de tierra entre 10 y 15 cm. Se utiliza un pisón manual o uno neumático para ir compactando la tierra. El trabajo del apisonado debe ser parejo para que no cause diferencias en la compactación de la tierra.

### 7 Descimbrado y resane

Una vez compactada toda la hilera, se puede descimbrar. Se debe de realizar con cuidado en el sentido vertical del muro, de arriba hacia abajo o abajo hacia arriba e inmediatamente rellenar los huecos de los sujetadores, con la misma mezcla pero cuidando que sean solamente agregados finos y con un poco más de humedad, haciendo presión para que se adhieran al resto del muro.

### 8 Sello

La tierra sin sellar (sin estabilizante impermeabilizante) aun cuando este estabilizada estructuralmente es vulnerable al viento y a la lluvia, por esto, se recomienda aplicar sellador que permita que el muro respire. La mezcla hecha de agua y nopal fermentado, produce un sello de consistencia viscosa.

## 3.5.1 Tapial. (cimbra)

“En los tapiales tradicionales, los tablonos paralelos separados

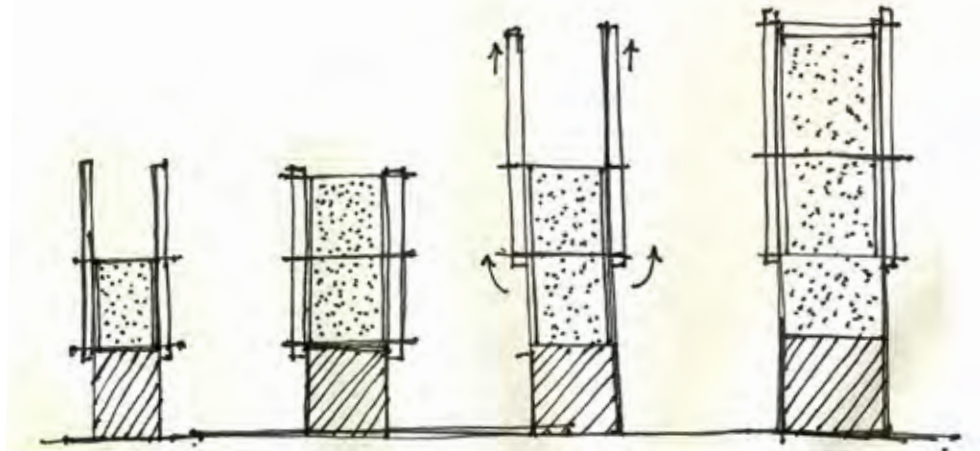
se unen por medio de travesaños (de un espesor considerable) que atraviesan el muro, al desmoldar el elemento dejan espacios vacíos que posteriormente deben ser rellenados. Cimbras comunes empleadas en la construcción de elementos de concreto pueden también se utilizados pero generalmente son muy pesados y sus costos son elevados. En Europa, los tablonos de 19mm de espesor son comúnmente utilizados. Estos deben sujetarse con elementos verticales cada 75 cm. El encofrado debe ser rígido para evitar pandeos durante el proceso de apisonado. Por ello, es más económico emplear tablonos de 35 a 45 mm de espesor, los mismos que requieren sujeciones tan solo cada 100 a 150 cm. Si la mezcla es muy arcillosa, el tapial no debe desmontarse directamente sino más bien debe deslizarse cuidadosamente sobre la superficie del elemento, para evitar que las partículas de la mezcla se peguen al tapial. Por ellos, no es aconsejable utilizar tableros de superficies muy rugosas ni muy lisas.” (Minke G. , 2005)<sup>86</sup> (figura 43)

- El tapial debe ser rígido para evitar pandeos durante el proceso de apisonado.
- Las piezas deben ser lo

<sup>86</sup> Minke, G. (2005). *Manual de construcción para viviendas antisísmicas de tierra*. Kassel, Alemania.

figura 43. >  
Tabla de análogos de  
tapia

	Material	Medidas	Manufactura	Costo	Durabilidad	Impacto ambiental
Rammed Earth_Bhutan	madera	mediana aprox. 1.50m x 0.60m x 0.60m	en el sitio	bajo	bajo	alto
Rammed Earth House in Maun_Botswana arquitecto Paul Marais	madera	grande aprox. 6.50m x 2.50m x 0.60m	en el sitio	medio/alto	medio	alto
En Ayerbe (prepirineo de Huesca, España)	madera y costal de acero	mediana aprox. 1.20m x 0.60m x 0.60m	costales prefabricados y ensamble en el sitio	medio/alto	medio	alto
En Zaachila Oaxaca.	madera, estructura y costal de acero	mediana aprox. 1.20m x 1.00m x 0.60m	prefabricado	medio/alto	medio/alto	alto
Secondary school_ Gando_Burkina Faso_ arquitecto Francis Kere	metálico	mediana aprox. 2.10m x 3.20m x 0.60m	prefabricado	alto	alto	alto
<b>EVALUACIÓN</b>	madera/metálico, pero nunca se a explorado otros materiales en masa	mediana es la opción más viable	un combinación de prefabricados y ensamble en el sitio para su fácil trans-portación.	con los 3 puntos anteriores debe bajar el costo	encontrar un punto medio donde sea durable pero no contamine en su producción	encontrar un material con ciclo de vida continuo, por lo tanto un proceso de manufactura sustentable



^ figura 44 Croquis esquemático del crecimiento de un muro de tapia

suficientemente ligeras como para poder ser transportadas por dos personas.

- El tapial de ser fácil de ajustar en la dirección horizontal y vertical.
- Las variaciones en el espesor del muro debe ser controlables a través de una tolerancia específica.
- Es preferible que las esquinas no requieran tapias especiales. Por ellos el tapial debe admitir variaciones en la longitud. (Minke G. , 2005)<sup>87</sup> (figura 44)

## 3.6 Procesos constructivos de tapia

### 3.6.1 Prehispánicos e ibérico

La tapia es una técnica constructiva que se ha formado a través de muchas civilizaciones y culturas a través de los siglos, el entendimiento de como se ha generado la técnica actual de la

tapia es una conjunción de técnicas influenciadas por muchas culturas, pero también esta técnica constructiva ha sido usada en distintas civilizaciones que no tuvieron un contacto directo. ¿Cómo se puede explicar las similitudes de las técnicas?

“En Latinoamérica, la tecnología andina precolombina, “pared de Mano”, o bollos de barro, se utilizaba para construir murallas en tongadas de 80 cm., muy parecida a la técnica del “Zabour” en Yemen, las dos eran estructuras piramidales, que a veces se mezclaban o encofraban con piedra.” (BARBETA I SOLÀ, 2002)<sup>88</sup>

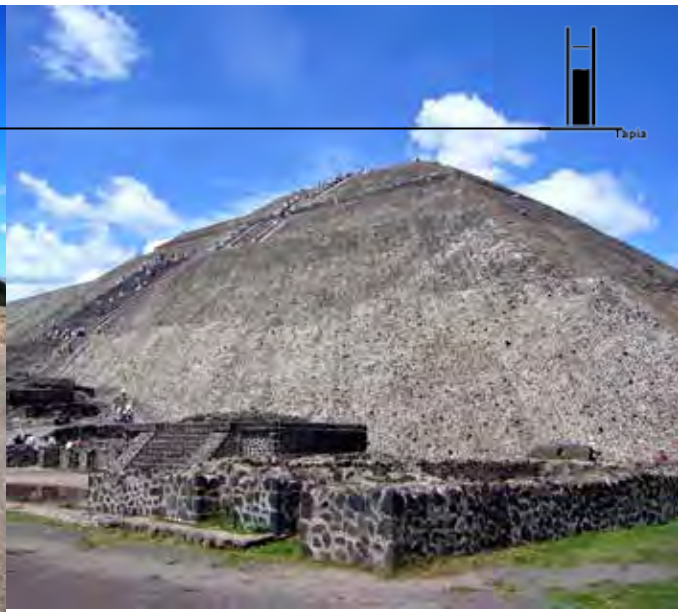
En Centroamérica aparecen los primeros asentamientos

<sup>88</sup> BARBETA I SOLÀ, G. (2002). Mejora de la tierra estabilizada en el desarrollo de una arquitectura sostenible hacia el siglo XXI. *Tesis doctoral*. Barcelona, Catalunya, España: UPC.

<sup>87</sup> Ídem



▲ *figura 45* Tierra compactada en Paquimé, Chihuahua.



▲ *figura 46* Tierra compactada, con tapial de piedra, Teotihuacán, Edo. de México

permanentes construidos integramente en tierra., entre el 500 y 600 a C. Además existen referencias de las más grandes pirámides jamás construidas, la Vaca de Sol y la Vaca de Luna, con 65 metros de lado por 35 de alto, o en la Venta (México) del año 8.000 a.C. Aparte, en el mismo Teotihuacán, se encontraban construcciones de 63 metros de alto, donde la piedra rodeaba un núcleo de tierra de 2.000.000 de m<sup>3</sup> de tierra compactada. Al mismo tiempo, se ejecutaron canales de tierra apisonada y un sinfín de construcciones en adobe. En algunas construcciones de las comunidades indias (culturas de los .indios pueblos., Anasazis, Hopis, Zuni...) como el caso de Mesa Verde, se advierten las plantas rectangulares de adobe; en Taos

(Nuevo México), las viviendas superpuestas configuran formas piramidales, con cubiertas de rollizos y tierra compactada. (BARBETA I SOLÀ, 2002)<sup>89</sup> (*figura 45 y 46*)

La técnica de la tapia actual que se usa en México es la conjunción de dos técnicas independientes pero con la misma esencia, dos técnicas separadas por un océano, ¿Por qué dos técnicas constructivas de diferentes continentes son tan similares? El material constructivo que se usa para la tapia es el material que se encuentra casi en cualquier parte de la Tierra "la tierra", por lo tanto la tierra si es un material que podemos encontrar en todos sitios y sus características no se diferencian de manera muy notables, el ser humano

<sup>89</sup> Idem

desarrolló técnicas muy similares sin importar si se encontraba en uno u otro continente. La tapia ibérica apoyada de materiales naturales como la madera y la tapia prehispánica en materiales naturales como la piedra pero con el mismo principio de compactar la tierra.

### **3.7 Propiedades y características**

La divulgación apropiada de las técnicas constructivas de tierra se basará en detectar, mostrar y mejorar los puntos más frágiles de dichas técnicas constructivas que son los puntos que provocan el desuso de los sistemas constructivos tradicionales como son los sistemas constructivos a base de madera, piedra, tierra, etc. En específico con la técnica de la tapia al igual que otras técnicas constructivas de tierra presentan problemas mecánico estructurales por fallas estructurales a resistencia a la compresión y tensión.

#### **3.7.1 Análisis mecánico de la tapia**

El rescatar técnicas tradicionales mexicanas no está en contra del desarrollo de técnicas o tecnologías sustentables, es decir técnicas innovadoras, eficiencia de recursos ambientales, económicamente favorables, equitativas socialmente y con un correcto impacto contextual y estético. Solo hay que encontrar el punto exacto entre estas características y el entendimiento con una sociedad

urbana desligada de las tradiciones constructivas que nos acompañó antes de la época industrial que consta de los últimos dos siglos. Por lo que se vuelve una tarea complicada pero no imposible, como arquitectos necesitamos encontrar el enlace de las técnicas tradicionales con la evolución de nuevas tecnologías no nocivas para el ambiente o el ser humano.

Uno de los problemas más emblemáticos de las construcciones con tierra es el desgaste del material o las fallas estructurales originadas por diversos motivos y las fallas originadas por sismos. Para responder a estos problemas estructurales que puede presentar una construcción a base de muros de tapia esta investigación se enfoca a la mejora de la resistencia a la compresión por la transición que sufrirá la tierra a utilizar al introducir una bacteria capaz de transformar las propiedades de la tierra por propiedades más similares a la de una roca caliza. Esta transformación tendrá tales efectos que no solo mejorará la resistencia a la compresión sino que la tapia como sistema constructivo también trabajará a la tensión algo no factible en una técnica constructiva con tierra seca. Esta transformación que sufrirá la tierra hacia una estructura más similar a una estructura de piedra caliza también será beneficiosa para

Barroso	Peso específico (kg/cm <sup>2</sup> )	Vibración (l/min)	Fuerza de compresión (N/mm <sup>2</sup> )
Limoso	2003	0	3.77
	1977	1500	4.11
	2005	3000	4.17
Arenoso	2023	0	2.63
	2009	1500	2.91
	2024	3000	3.00

▲ figura 47 Forschungslabor für experimentelles Bauen (FEB) Laboratorio de Investigación de construcciones experimentales., 1978

el mantenimiento de muros, ya que comúnmente la tierra necesita un mantenimiento más constante que cualquier piedra.

No todas las tierras son adecuadas para la construcción de tapia, se estima que la mejor tierra debe estar compuesta por (Navarro, 2014)<sup>90</sup>:

- GRAVILLA : 0 a 15%
- ARENA: 40 a 50%
- LIMO: 20 a 35 %
- ARCILLA: 15 a 25%

Mejorar la resistencia a la compresión de la tierra (kg/cm<sup>2</sup>) propiedades de los minerales compuestos de carbonato de calcio. La resistencia a la compresión de elementos de construcción secos hechos de tierra, como la tapia, 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. Según (Niemeyer, 1946)<sup>91</sup> "la resistencia a la compresión es proporcional a la cohesividad y que por ellos los barros con una misma cohesividad deberían tener el mismo rango de compresión permisible para su uso en edificios."

**Resistencia a la compresión, flexión, peso, módulo de elasticidad longitudinal, permeabilidad y penetración.**

Cuando un objeto pesado cae sobre la tierra, ocasiona ondas que provocan vibraciones en sus partículas. Esto a su vez, crea movimientos que permiten a las partículas entrar en un patrón más denso. (figura 47) Así mismo,

90 Navarro, A. (2014). LA TIERRA COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN. *Low Tech*.

91 Niemeyer, R. (1946). *Der Lehm bau und seine praktische Anwendung*. Hamburg.

si hay suficiente agua, los minerales de arcilla tienen la capacidad de formar una estructura interlaminar paralela, que es más ordenada y que conduce a una mayor cohesión y resistencia a compresión.

### **Resistencia a sismos.**

Fallas por cortante o por flexión.

Se deben principalmente a los esfuerzos excesivos en las juntas horizontales entre bloques y que dependen de la relación entre longitud y la altura del muro. En el caso de muros altos y poca longitud, la falla se producirá por flexión, mientras que la relación de muros largos de poca altura la falla se producirá por cortante. En el caso de una falla por cortante, se asocia también a muros que reciben grandes empujes horizontales debido a sobrecargas, que se ven aumentadas por la distribución de las aperturas correspondientes a vanos de puertas y ventanas.

### **Resistencia a la compresión.**

La resistencia a la compresión de elementos de construcción secos hechos de tierra, como la tapia, 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. Según Niemeyer (1946) la resistencia a la compresión es proporcional a la cohesividad y que por ellos los barros con una misma cohesividad deberían tener el mismo rango de compresión permisible para su uso en edificios.<sup>92</sup> Cuando un objeto pesado cae sobre la tierra, ocasiona ondas que provocan vibraciones en sus partículas. Esto a su vez, crea movimientos que permiten a las partículas entrar en un patrón más denso. Asimismo, si hay suficiente agua, los minerales de arcilla tienen la capacidad de formar una estructura interlaminar paralela, que es más ordenada y que conduce a una mayor cohesión y resistencia a compresión.

### **Resistencia a la tensión. (Cohesividad)**

Para la tierra seca, la resistencia a la tensión no es relevante ya que las estructuras de tierra no deben someterse a estos esfuerzos. En el caso de materiales de tierra en estado plástico, a la resistencia a tensión se le denomina cohesión, y esta depende de la composición de la mezcla en cuanto a materiales y contenido de agua. La cohesividad del barro depende no solo del contenido de arcilla sino

---

<sup>92</sup> Niemeyer, R. (1946). *Der Lehm- und seine praktische Anwendung*. Hamburg.

también del tipo de minerales arcillosos Regularmente la resistencia a tensión es de alrededor del 10% de la resistencia a la compresión para el caso de los bloques y de entre 11 y 13% para morteros de tierra. (Houben & Guillaud, 1994)<sup>93</sup>

### Resistencia a la flexión.

La resistencia a flexión de la tierra en estado seco es de poca importancia, pero debe considerarse para efectos de la calidad del mortero de tierra y la rigidez de los bordes en bloques de barro. La resistencia a la flexión del barro depende principalmente del contenido de arcilla y del tipo de minerales arcillosos. En los morteros, un concepto importante en relación a su resistencia a la flexión y la aspereza de la superficie, es de aspecto de la adherencia con el fin de lograr superficies más uniformes en elementos de mampostería. (Houben & Guillaud, 1994)<sup>94</sup>

### Proporción de alto y largo de un muro de tapia.

Los puntos anteriores sobre resistencia mecánica de la tapia podrá determinar la relación de espesor de muro y altura de muro, donde la relación

de muros altos y de poca longitud provocará fallas por flexión, mientras que en relaciones con muros largos y de poca altura la falla se producirá por cortante. Por consiguiente la relación de espesor de muros y altura de muros que a continuación se presenta tendrá que optimizarse por las condiciones mecánicas que puede adquirir la tapia tras la estabilización biológica. (figura 48)

Espesor de muros	Altura de muro
0.305 m	1.83 m
0.457 m	1.83 m
0.457 m	1.83 m
0.508 m	3.45 m
0.559 m	3.65 m
0.610 m	3.86 m

^ figura 48 New Mexico earthen building materials code , 2009

### Resistencia al fuego.

El comportamiento en relación al fuego de la tierra en general, incluidos los muros de tapia de acuerdo a la norma alemana DIN 4102, parte 1 (1977), la tierra aún si contiene paja no es considerada combustible si la densidad de es menor que 1700 kg/m<sup>3</sup>. (Minke G. , 2005)<sup>95</sup>

### Durabilidad.

La durabilidad de construcciones

93 Houben, H., & Guillaud, H. (1994). *Earth construction: a comprehensive guide*. London, UK: Intermediate Technology Publications.

94 ídem

calpupan.chiliarq@gmail.com  
jgutierrez.eco@gmail.com

95 Minke , G. (2005). *Manual de construcción en tierra*. Kassel, Alemania: Editorial fin de siglo, 2nd edición .



hechas con sistemas constructivos de tierra pueden tener la misma calidad que cualquier otro material natural o materiales industrializados, en cualquiera de los dos casos los materiales y construcciones tienen que tener un mantenimiento durante todo el ciclo de vida de las edificaciones. En el caso de la tierra no es siempre necesario que las superficies tengan aditivos o estabilizadores para hacerles resistentes a las inclemencias del tiempo. Es a veces suficiente proteger o reforzar la superficie con repellado o pintura.

El método más simple de reforzar una superficie especialmente contra la erosión por lluvia y viento es consolidándola. Esto se puede hacer alisando la superficie con herramientas industriales manuales o con herramientas tradicionales como piedras lisas pero convexas con las cuales se frota la superficie con movimientos circulares y gran presión.

Al tomar en cuenta las deficiencias estructurales que puede tener la tierra como material constructivo, se plantean soluciones estructurales comunes en estas técnicas milenarias, como son los estabilizadores. Pero también se debe considerarla sostenibilidad de

un estabilizador por lo que se debe evitar el uso excesivo de estabilizadores industrializados que dañan el ambiente en su extracción y manufactura en exceso, como son los estabilizadores de tierra más utilizados, la cal y el cemento. La cal es el producto que se obtiene calcinando la piedra caliza pura a la acción de temperatura entre 880 – 900°C. Se tiene registros de la existencia de la cal como aglomerante desde el Neolítico, Egipto o la antigua Grecia, la fácil disponibilidad y ductilidad hicieron de esta materia prima el principal componente para morteros, pero su proceso de manufactura no era en cantidades excesivas como hoy en día donde la industria de la construcción extrae más materia prima que la que se puede extraer. Del mismo modo el cemento en su producción genera gran cantidad de contaminantes, su extracción, transportación y energía liberada en su proceso de producción son las condicionantes que hacen que el cemento no sea un material adecuado para la sociedad actual. Entonces es urgente el replanteamiento de estabilizadores de tierra para obtener técnicas constructivas ambientalmente integrales.

El retomar materiales y técnicas constructivas tradicionales aparte de rescatar la cultura arquitectónica de nuestros antepasados también tiene

como objetivo retomar materiales y técnicas ancestrales con una mayor empatía con la Tierra, apropiados con el lugar o sitio donde habitamos. Tomar el material del lugar donde queremos construir y que sea posible devolverlo cuando una edificación ya no sea necesaria o necesite mantenimiento, para esto hay que trabajar técnicamente con los materiales de forma que no se contaminen con otros materiales o que si llegan a mezclarse saber con qué materiales es apropiado hacerlo.

Mejora la resistencia a la tensión de la tierra ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ) propiedades de los minerales compuestos de carbonato de calcio.

En comparación de la resistencia a la compresión con la resistencia a la tensión no es relevante ya que las estructuras de tierra seca no deben someterse a estos esfuerzos. En el caso de materiales de tierra en estado plástico, es decir tierra mayormente húmeda, a la resistencia a tensión se le denomina cohesión, y esta depende de la composición de la mezcla en cuanto a materiales y contenido de agua. "La cohesividad del barro depende no solo del contenido de arcilla sino también del tipo de minerales arcillosos regularmente la resistencia a tensión es de alrededor del 10% de la resistencia

a la compresión para el caso de los bloques y de entre 11 y 13% para morteros de tierra." (Minke, 2006)<sup>96</sup>. Pero en el caso de la estabilización de la tapia por medios biológicos la resistencia a la tensión tendrá un comportamiento distinto, como lo explicó más adelante la tierra obtiene una granulometría de mayor concentración a través de una precipitación de calcita que transforma la mezcla de tierras en roca.

Para poder construir una vivienda urbana en la Ciudad de México como en cualquier gran urbe en la actualidad hay condiciones económicas que truncan la posibilidad de que personas con pocos recursos económicos puedan tener una vivienda digna. En el México contemporáneo la vivienda digna es lujo que no todas las personas pueden obtener, espacios seguros, confortables y propios son una ilusión para la gran mayoría en zonas urbanas altamente pobladas como es la ZMVM. Las personas en estas grandes urbes se enfrentan en primer lugar a la falta de terrenos o superficies adecuadas en las cuales puedan construir su vivienda, en segundo lugar que estos terrenos tengan infraestructura básica para cubrir los servicios de una vivienda, en tercer lugar tener las posibilidades

---

<sup>96</sup> Minke, G. (2006). *Building with Earth: Design and Technology of a Sustainable Architecture*. Basel : Birkhäuser - Publisher for Architecture.

económicas para obtener materiales y mano de obra para construir la vivienda. Cuando las personas logran superar estas tres condicionantes la generación de la vivienda crece progresivamente a través del tiempo según las necesidades.

Las tres condicionantes expuestas en líneas anteriores son las motivaciones que originan y conducen las características principales de este tema de investigación. La tapia como una técnica tradicional tiene las ventajas de uso de materiales que se pueden encontrar la mayoría de las veces en el sitio donde se desarrollará la vivienda, es cierto que no cualquier tipo de tierra es adecuada para los muros de tapia pero una de las mejoras que se buscan con el estabilizador microbiológico es la posibilidad de tener un rango mayor de tierras para su utilización de tapia. La tapia puede favorecerse por la factibilidad de no necesitar mano de obra y equipo especializado a sabiendas de la falta de recursos económicos, reflejándose en el costo por metros cuadrados de la construcción de una vivienda.





**vivienda tierra**  
**bacteria**  
sustentabilidad  
**medio oriente**  
estabilizadores  
latinoamérica  
**bacilo**

arquitectura contemporánea

**tapiál**

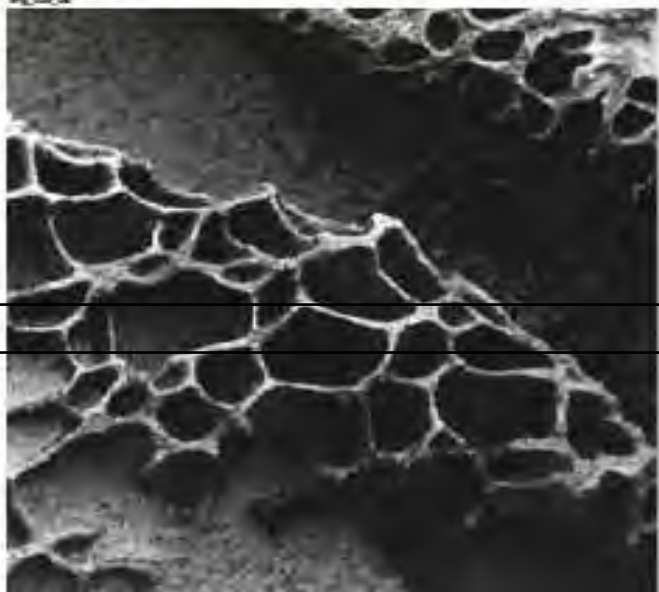
**sostenibilidad**  
materiales apropiados

**ruta histórica**

tecnologías apropiadas

**tapia**

CAPÍTULO IV  
estabilización  
microbiológica  
una estabilización  
cerocontaminante





< figura 49. La tierra como material de construcción extraído en el mismo sitio, en Pensamiento Liberal Mexicano, Zaachila, Oaxaca.

## 4.1 introducción la sustentabilidad de la tapia

El rescate de la tierra como un material constructivo tradicional a través de una técnica como la tapia que ha existido a lo largo de la historia en Latinoamérica pero en las zonas urbanas es inexistente actualmente, se tiene que concientizar a la comunidad por qué el uso de esta técnica constructiva, para demostrar cómo responde a una correcta contextualización simplemente porque la tierra es una materia prima que se encuentra en cualquier sitio sobre la Tierra.

Este retorno a una tradición constructiva milenaria nos ayudará a entender por sí mismo como se puede construir una sociedad horizontal e

igualitaria, porque al usar un material natural y propio del sitio no generará diferencias sociales ya que habrá una equidad social desde los materiales con los que construimos nuestros hogares así será más complicado encontrar sociedades fragmentadas. Todo esto se complementará con la autoconstrucción como un sistema de participación y desarrollo de comunidades a través de poner en pie nuestro hábitat natural cada vez más acreciente de los últimos siglos "la ciudad", la autoconstrucción es una actividad normal y necesaria en ciudades Latinoamericanas, es una opción viable y democrática para el desarrollo de viviendas para sectores marginales o de bajos recursos económicos. La autoconstrucción si es una actividad colaborativa y cooperativa como fue y siguen siendo los "tequios" en comunidades menos

individualizadas como es la ciudad de México, la autoconstrucción es realmente una herramienta de intercambio y no paternalista como puede ser una arquitectura participativa que es regida y organizada por un ente externo a la comunidad. Introducir la tapia a la sociedad urbana no debe ser una disputa entre la arquitectura tradicional y la contemporánea, pero la tapia como una técnica tradicional debe contener estética, confort y debe ser reproducible por las personas a partir de entender esta técnica.

Una técnica constructiva como la tapia se tiene que basar en el respeto de una equidad social de la misma forma debe respetar los recursos del planeta, el no respetar esto segundo será una contradicción ambiental, ya que el planeta se compone de diferentes comunidades vivientes. Al construir con tierra encontramos una igualdad social que evita las diferencias socioeconómicas en la construcción de barrios, comunidades o ciudades, pero primordialmente la tapia como una técnica de construcción tradicional responderá a los problemas ambientales que existen en el planeta y los cuales son provocados en mayor medida por las zonas urbanas como consecuencia de las actividades humanas como la construcción.

Por ello el retomar técnicas como la tapia se valorara aún más la arquitectura sustentable por medio de materiales con ciclos constructivos menos contaminantes. El uso excesivo de materiales constructivos con ciclos que dañan el ambiente desde su extracción, su manufactura industrial, uso constructivo y generación de escombros. Son la razón de porque quiero que el uso de la tierra sea un ejemplo de un mejor convivio de los materiales de construcción con el medio, aunque el uso de materiales naturales para la construcción no está exento de tener impactos ambientales negativos al medio natural y la tierra no es la excepción. El extraer cualquier material natural fuera del entorno inmediato o en exceso tiene consecuencias sobre los demás recursos naturales, por ello ningún material queda libre de intoxicar el medio, aunque algunos materiales son más amables con el ambiente, lo que se debe modificar es su ciclo constructivo. La tapia como una técnica constructiva paleolítica demuestra que su uso por sus características ecológicas y sustentables puede disminuir los problemas ambientales que la industria de la construcción genera. Pero su uso en zonas urbanas ha decaído por la necesidad de construir en grande escala y por el desprecio hacia la arquitectura tradicional como una



visión de la falsa modernidad. Pero es verdad que también es complicado motivar y convencer a la población urbana de que estos materiales son mejores para el ambiente, si no hay un convencimiento global sobre las técnicas apropiadas, ni tampoco será 100% funcional el construir con materiales naturales si no cambiamos más hábitos tan convencionales pero tan contaminantes, como el uso que le damos al agua en todas sus facetas. Debe haber una propuesta integral que acompañe a este cambio sustentable en la construcción, la tapia es un buen inicio para fundamentar la arquitectura responsable, pero se puede continuar con cambios de alimentación en la vivienda, a través de la autoproducción de alimentos o también en el desarrollo sanitario de un hogar, por medio de instalaciones de bajo consumo de agua y reutilización o hasta excluir de raíz el agua de los sanitarios y poder convertir a una tecnología de sanitarios secos.

Todas estas tecnologías apropiadas nos da paso a cambiar y evolucionar en los sistemas tecnológicos para poder argumentar y mostrar como el uso de estas técnicas pueden llevar un ritmo "moderno" al que la sociedad urbana está acostumbrada y pueda aceptar todos estos cambios de la vida diaria y realmente convertirlos en algo común.

Para responder a la sustentabilidad y la equidad social, la innovación de esta técnica debe ser primordial y convertirla en una tecnología para ponerla en las manos de las personas para seguir manipulándola como una técnica viable de construcción de vivienda social y de autoconstrucción. La innovación de la tapia debe darse en todas sus propiedades, atacar las características que llevan a esta técnica al desprecio, la mecánica, térmica y acústica. (figura 50)

La tapia es considerada mecánicamente insuficiente para las necesidades de una ciudad como es la ciudad de México o la zona metropolitana, las altas características sísmicas de nuestro país dan paso a innovar en los estabilizadores de tierra compactada pero que también respeten caracteres sustentables. El desarrollo de la tapia por medio de estabilizadores biotecnológicos es un proceso transdisciplinario que debe acercarse a la sociedad, pero que debe mantener una base tecnológica para realmente convertir esta técnica en una tecnología reproducible, pero no reproducible para los grandes capitales nacionales y transnacionales, sino llevar esta tecnología a la población en general convertirla en un desarrollador de participación tecnológica y no sea un elemento



▲ figura 50 Alberca en Toro (Zamora), España.

complejo que no todos pueden utilizar. Innovar en los procesos constructivos, para generar su fácil aplicación para el desarrollo de los muros de tapias por medio de tapias ergonómicas.

La tapia como una arquitectura tradicional y usada mayormente en zonas rurales es una técnica económicamente prospera pero al desarrollarla tecnológicamente no debe perder esa característica que ya posee, la innovación de esta técnica debe mantener las propiedades de fácil proceso constructivo y en consecuencia mantener el aspecto económicamente accesible.

Busca el desarrollo de espacios habitables sociales en zonas urbanas para cualquier persona sin importar en que sector económico pertenezca, que pueda ser usado por una persona con recursos económicos limitados y

también para personas que tienen una mayor accesibilidad económica, no tiene caso aportar una tecnología a la sociedad si excluyes a cualquier grupo social, minoritario o no. El reto primordial en este ámbito es desarrollar esta técnica sin subir costos de ejecución durante todo el proceso constructivo.

La estética de la tapia es otra propiedad que ya posee, su estética en forma y espacio es natural y puede mejorar la estética urbana con la adaptación de otros materiales y sistemas constructivos. La homogenización de la tierra con otros materiales para llegar a un balance compositivo sin que los espacios pierdan su habitabilidad. La tapia por sus propiedades físicas es óptima para la flexibilidad en variantes de tipologías y morfologías que una ciudad requiere y la estética puede ser una de las características que ya

posee, que le corresponde atraer a las personas para lograr su difusión. Como es muy común en cualquier actividad humana una técnica siempre tiene una estética distinta a cualquier producto tecnológico a excepción a aquellos productos tecnológicos desarrollados con un capital sobreestimado. Por este motivo el desarrollo de la tapia como una tecnología del siglo XXI debe respetar esta estética que ya tiene sin importar las condiciones tecnológicas que vaya a adquirir.

#### **4.1.1 Definición de la estabilización microbiológica de la tierra.**

El producto que surgirá a partir del estudio de la técnica de tapia, será innovar dicha técnica para divulgarla como una tecnología confiable estructuralmente, ergonómica y sustentable para la construcción en zonas urbanas como la Ciudad de México, por medio de la optimización de sus propiedades mecánicas y constructivas. Para lograr innovar una técnica o desarrollar una nueva tecnología, debemos conocer y sobretodo entender sus orígenes para poder: Primero, identificar claramente la finalidad de dicha técnica o tecnología; segundo para quién será útil y tercero se identifica el sitio en donde se aplicará. La tecnificación de la tapia en mi

investigación se enfoca en mejorar las características mecánicas de la tierra cruda mediante una correcta elección de los estabilizadores estructurales e impermeabilizantes que sean lo menos contaminantes durante su vida útil, como los materiales naturales, es decir sin proceso de manufacturación industrial. El uso de bacterias que provocan una reacción biológica que estabilizan la tierra estructuralmente como es la bacteria *Bacilo pasteurii* o la *Myxococcus xanthus* será el objetivo primordial del producto esperado.

Por lo tanto en esta investigación como primer paso para el diseño de las probetas me enfocare a obtener un resultado óptimo para la escala del prototipo partiendo de investigaciones previas. La bacteria ha sido aplicada en ladrillos de dimensiones menores con relación a las escalas que puede tener una tapia debe haber un primer cuestionamiento de cómo aplicar la bacteria en este muro a gran escala. Entonces al analizar la técnica de la tapia en todas sus etapas constructivas y en comparación con otras técnicas, la tapia construida con un tapial y tierra compactada tiene un proceso constructivo en el sitio casi en su totalidad. Esto me lleva al desarrollo de un tapial sustentable como un producto compuesto, donde el tapial aparte de desarrollar su tarea común

también tenga la posibilidad de adaptarse a la biotecnología de la estabilización por medio de la bacteria. Para conformar una innovación integral en la tapia estabilizada de forma microbiológica, debo considerar todas las características constructivas de la tapia. Técnica que se le implantará una bacteria durante el proceso constructivo debo pensar en la mejora del tapial. El tapial debe mejorar en su calidad de manufactura para su mejor aprovechamiento a los largo de su vida útil y a largar la misma, debe tener una mejora ergonómica, excluyendo los tapiales de difícil transportación y complejo manejo durante la obra, con esto se propongo una cimbra o tapial a partir de plásticos reciclados que cierre un ciclo de autosuficiencia en la tapia.

A partir de esta tecnificación de la tapia se pretende fomentar su uso a escala urbana, que sea propia del sitio en dirección a un bajo impacto ambiental simplemente porque la tierra es una materia prima que se encuentra en cualquier sitio sobre la Tierra. Una técnica constructiva como la tapia que respeta una equidad social de la misma forma respetara los recursos del planeta, esto verificará lo sostenible que puede ser construir a partir de arquitectura tradicional, no solo mostrará las virtudes de la tierra sino que también mostrará las virtudes de otros

materiales que hemos dejado a un lado por la falsa creencia de modernidad constructiva que a su vez forja un mito de prosperidad económica. Todo esto puede ser demostrado a partir de la eficiencia expuesta por construcciones hechas con materiales apropiados, su óptimo confort térmico, acústico y seguridad estructural.

#### **4.1.2 Desarrollo del proceso para experimentación.**

El proceso que a continuación describiré para el desarrollo de la investigación para tecnificar la tapia y que pueda alcanzar un nivel de progreso para que pueda ser considerada un sistema constructivo apto, de producción eficiente, que sea una tecnología accesible económicamente, adaptable a cualquier sitio y de posible uso autoconstructivo por cualquier persona que no tenga los conocimientos especializados previos a su uso será el siguiente. La autoconstrucción es una realidad para la Ciudad de México y seguirá siendo una alternativa para los habitantes de esta ciudad por las condiciones económicas en que vivimos, por eso es mucho más fácil construir tu vivienda que pagarle a alguien para que la diseñe y la construya, pero el tipo de materiales que son usados siempre son los mismos



▲ figura 51 Vivienda hecha de materiales industrializados, La Paz, Bolivia



▲ figura 52 Vivienda hecha de materiales industrializados, Azcapotzalco, Ciudad de México.

por cuestiones de economía pero sobre todo por desconocer sobre el tema, el uso de concreto, blocks de concreto y cada vez con menor frecuencia ladrillos recocido es lo más común en la ciudad y en la mayoría de las ciudades latinoamericanas. (figura 51 y 52)

Posteriormente por medio de entrevistas en varios sectores de la población se evaluara en qué medida y él porque no se utilizan materiales tradicionales o naturales en zonas urbanas, en específico la tierra y si sería posible optar por la tierra como un sistema constructivo adecuado para la población. Al evaluar este estudio de campo y con la investigación teórica previa, se valorara con que materiales plásticos se desarrollara el diseño de un prototipo de cimbra, con el objetivo de encontrar los plásticos óptimos que tengan las propiedades de la tierra

en cuanto a sustentabilidad, con esto me refiero que el material adecuado tendrá que provenir del entorno inmediato al sitio de construcción, sea posible su armado en el mismo sitio y tenga un ciclo de la cuna a la cuna. Este tapial se puede hacer con materiales reciclados como el plástico para tomar la "basura" y reutilizarla, El poder meter la bacteria a la tierra compactada tendrá el objetivo primordial de no debilitar la tapia y su característica de monolítica, y siga siendo una misma pieza.

De igual forma se realizaran pruebas mecánicas en el laboratorio. Estas pruebas se aplicarán en la tapia y se compararán con pruebas a tapias hechas anteriormente por otros investigadores que ayude a comparar las ventajas y desventajas de las

características de mi prototipo de muro de tapia para sustentarlo como una opción viable para la edificación.

#### **4.1.3 Validación Cualitativa y Cuantitativa de la estabilización microbiológica de la tapia.**

La función crítica de esta investigación es la estabilización microbiológica de la tierra a través de cualquier bacteria que genere una precipitación de calcita y se mejore el proceso constructivo por medio de un tapial sustentable y adaptable a la inserción de la bacteria.

Así se demostrará que se puede estabilizar de mejor forma la tierra en un muro de tapia por medio de alguna bacteria, a través de la mejora de sus propiedades de compactibilidad y cohesión sin el uso de un estabilizante industrializado que tiene mayores impactos ambientales que un estabilizador microbiológico.

Para sustentar la aplicación de la bacteria en la tapia como estabilizador se debe valorar su forma de aplicación en la tierra para que tenga un 100% de eficiencia mecánica, a partir de esto también se debe analizar la eficiencia constructiva de la tapia, para desarrollar una tapia integral tecnológicamente. Como consecuencia se debe evaluar

los materiales adecuados para un tapial sustentable supliendo materiales contaminantes, como puede ser el PET o Polietileno, un material que puede rescatarse del desecho y entrar en un ciclo de vida sin desperdicio.

Las variables que pueden afectar en el desarrollo experimental de esta investigación pueden ocurrir desde aspectos técnicos constructivo o sociales que serían las variables definitivas para el posible uso de esta innovación en la estabilización de la tapia.

a. Apropiación de la técnica de la tapia.

- Apropiación de técnicas de construcción con tierra. Que las personas de zonas urbanas se apropien de técnicas tradicionales con materiales tradicionales como es la tierra.

b. Tapia

- Mecánica de la tierra- Detectar tipo de suelo- Caracterización de la tierra. Humedad, Límite plástico, Límite Líquido y Granulometría.

- Compactación- La tierra al ser sometida a una fuerza se comprime y la relación de vacíos disminuye, si la densidad de la tierra aumenta la porosidad se reduce y menos agua

podrá penetrarlo.

- Reproducción de bacteria- Tipo de bacteria, a partir de que bacteria se usa depende el medio de cultivo, proceso de crecimiento y tiempo de crecimiento.

- Porcentaje de bacteria a aplicar. Mejorar las propiedades mecánicas y sea sustentable ambientalmente de otros estabilizadores.

- Forma de aplicación de la bacteria- Mezcla, aspersion por capas o inyección

#### c. Tapial

- Material con un ciclo sin residuos
- Sin pérdida de forma y estabilidad- Soporte grandes fuerzas de compresión.

- Sustentable económicamente- Sea un producto viable donde el molde para hacer los tapiales pueda utilizarse gran cantidad de veces y de igual forma cada tapial de Polietileno.

- Fácil reproducción para una correcta distribución.

Técnicas para la obtención de datos.

#### a. Encuestas. Variable social.

- Análisis cualitativo de la tierra

(tapia)-

Propiedades estéticas de la tierra como material constructivo.

Características de colectividad de un sistema constructivo tradicional como la tapia.

Taller de construcción con tierra en una zona urbana.

- Análisis cuantitativo de la tierra (tapia)-

Propiedades mecánicas de la tapia como un sistema constructivo posible en la Ciudad de México.

Propiedades económicas de la tapia para las condiciones financieras del habitante de bajos recursos en la ciudad de México.

Propiedades ambientales de la tapia como sistema constructivo en la Ciudad de México.

#### b. Experimentación de laboratorio.

- Identificar los porcentajes de granulometría más adecuados para la técnica de la tapia.

- Identificar el porcentaje granulométrico en la mezcla de tierra para aplicar la cantidad necesaria de la solución bacteriana.

- Obtener alguna de las bacterias

(bacilo pasteurii, Myxococcus xanthus, Organic Matrix Macromolecules, Bacillus subtilis, Bacillus Cereus).

- Propagar bacteria, cantidades necesarias para muro de tapia.

- Obtener tiempo de formación de carbonato de calcio a partir de bacterias.

- Definir porcentaje de tierra y bacteria necesario para calcificación.

- Concluir y diseñar método de inserción en bacteria a partir del tiempo y porcentajes.

- Pruebas de compresión de las muestras de tapia original de donde se obtuvo la tierra.

- Diseño y construcción de probetas de tapia.

- Inserción de bacteria en probetas de tapia.

- Pruebas de compresión de las muestras de tapia con estabilizador de bacteria en una máquina digital versa tester.

- Aplicar pruebas térmicas y de acústica al muro de tapia con mejores resultados obtenidos en las pruebas mecánicas de compresión para alcanzar un sistema constructivo integral.

c. Experimentación en campo de uso de tapial sustentable.

- Realizar un muro de tapia con un tapial a partir de una estructura metálica y tapiales de polietileno reciclado.

#### HIPÓTESIS Experimental

Lograr la mejora de las propiedades mecánicas de la tapia mediante la estabilización microbiológica de la tierra para resistir a compresión un mínimo de 20 kg/ cm<sup>2</sup> con la bacteria cualquier bacteria que precipite en calcita a través del perfeccionamiento del proceso constructivo de un tapial sustentable y adaptable a la inserción de la bacteria. (figura 53 y 54)

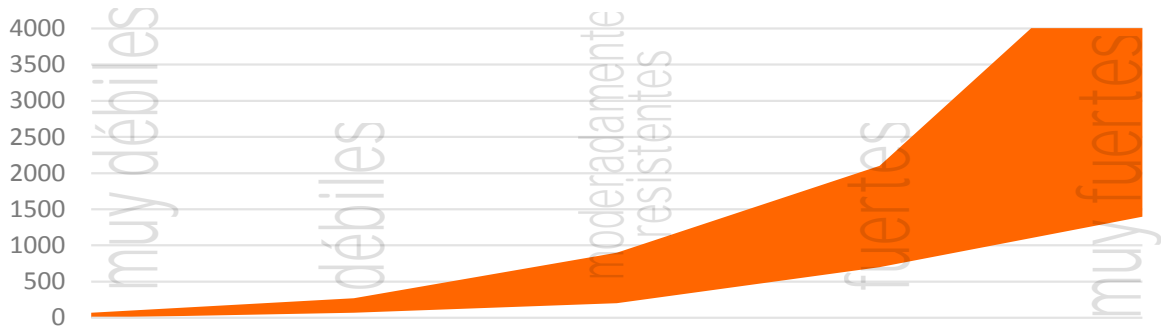
La resistencia a la compresión de los materiales de construcción es muy variable, oscilando desde materiales:

Entonces el alcance de este proceso químico dentro del muro de tapia obtendrá propiedades mecánicas como lo puede tener una piedra o mineral:

- Calcita
- Aragonito
- Caliza
- Travertino
- Mármol

Travertino - 400-700 kg/cm<sup>2</sup> (Guerrero





▲ figura 53 Gráfica de rangos para clasificar la resistencia a compresión de materiales.

Estabilizador	Unidades	Fuente
estabilizador de cemento	50 a 100 kg/cm <sup>2</sup>	CRATerre Francia
estabilizados con cal	30 a 80 kg/cm <sup>2</sup>	CRATerre Francia
estabilizados con productos químicos	20 a 40 kg/cm <sup>2</sup>	CRATerre Francia
estabilizados con muy fuertes productos químicos	150 a 400 kg/cm <sup>2</sup>	CRATerre Francia
estabilizados con bacteria	--	Juan Jaime Gutiérrez Salgado

▲ figura 54 Tabla de estabilizadores de tapia y su resistencia a compresión.

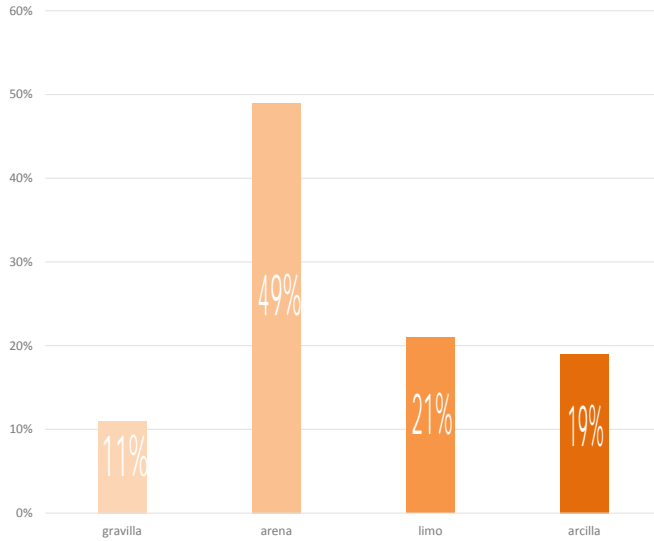
	Peso Volumétrico ( g/cm <sup>3</sup> )	Resistencia a la compresión. ( Kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia a la tensión. ( Kg/cm <sup>2</sup> )	Densidad ( Ss )	Absorción ( % )
Media	2.1102	282.6708	50.98	2.1707	7.1125

▲ figura 55. Media de la resistencia a la compresión y tensión de la piedra caliza. Salomón & Graham, 2003

figura 56. ^^  
Gráfica hipótesis de porcentaje de granulometría para una buena calidad de la tapia.

figura 57. ^  
Tabla de hipótesis de muro de tapia con estabilización de bacteria.

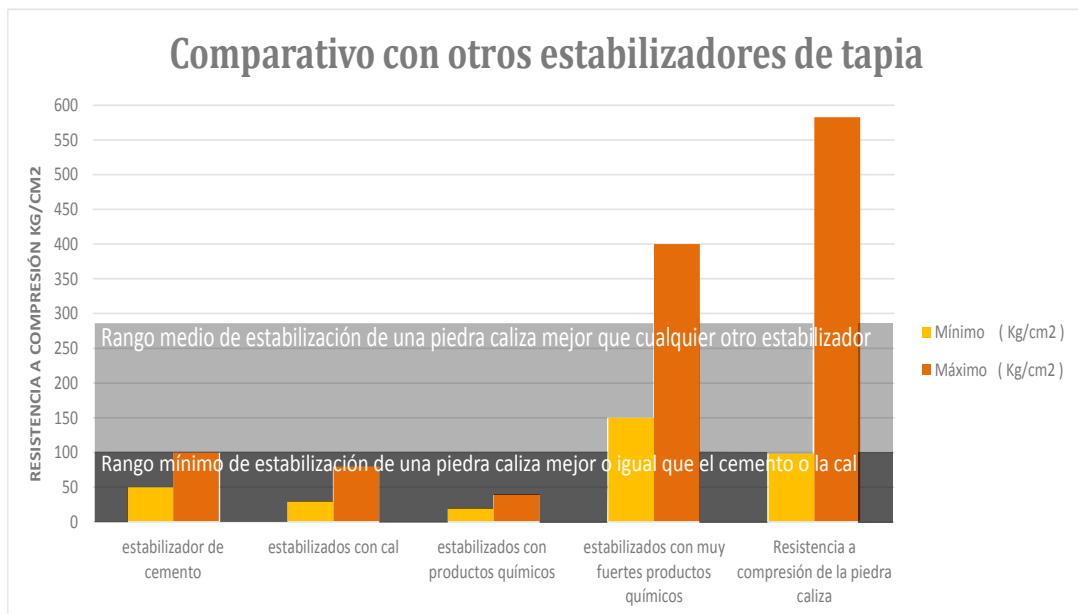
figura 58. >  
Gráfica comparativa con otros estabilizadores de tapia.



hipótesis del posible porcentaje granulométrico para una buena calidad de tapia a partir de los estudios de casos análogos que se encuentran en los anexos

Tapia con estabilizador	MEDIA: Resistencia a la compresión. ( Kg/cm <sup>2</sup> )	MÍNIMO: Resistencia a la compresión. ( Kg/cm <sup>2</sup> )
(cal, cemento, etc.)	102.5	30
microbilógico. (myxococcus xanthus)	282.6	98.4

Hipótesis de muro de tapia con estabilización de bacteria con relación a la resistencia a compresión de piedra caliza, si se alcanza el mínimo o la media será un avance muy importante .



Hernández, 2001)<sup>97</sup>

Mármol- 680-980 kg/cm<sup>2</sup> (Guerrero Hernández, 2001)<sup>98</sup>

Caliza- - La resistencia de la caliza es una propiedad importante a la compresión, al aplastamiento que oscila entre 98.4 y 583.5 kg/cm<sup>2</sup> (Guerrero Hernández, 2001)<sup>99</sup>

Por lo tanto el estabilizador a usarse tendría un ciclo de vida menos dañino y una mejora de las propiedades mecánicas de la tapia en una mejora de 275.77% en la resistencia a compresión y un 2178.63% en la resistencia a la tensión.

## 4.2 Estabilización microbiológica

La bacteria mejora la resistencia a compresión de la tierra y podrá reducir el trabajo de compactación de la tierra que ejecuta una persona. Esto permitirá la construcción más eficiente con sistemas constructivos de tierra e implicará en un desarrollo de viviendas más adecuado. Esto resultará que cualquier técnica constructiva con tierra pueda ser estabilizada de mejor

forma y promueva el uso de materiales naturales como la tierra o la piedra.

Por lo anterior, las mejoras mecánicas reducirán espesores de muros por lo que cambiarán las condiciones tradicionales de una construcción de tierra, que tiene la generalidad de gran ocupación de m<sup>2</sup> por el área de los muros de carga en una vivienda. Esto ayudará a contextualizar las construcciones de tierra en una urbe como la Ciudad de México donde los m<sup>2</sup> escasean y deben ser aprovechados al máximo.

Las expectativas de esta investigación tiene como una meta el activar la investigación biotecnológica para el campo de la construcción, esto ayudará al desarrollo de una arquitectura sustentable integral y pueda aplicarse en varios sistemas constructivos con materiales de cualquier tipo. El ejemplo adecuado será la estabilización de la tierra para la construcción con métodos bacterianos en primer lugar en la tapia, pero con una prospectiva a los distintos sistemas de construcción con tierra.

Según el tipo de bacteria el tiempo de calcificación será distinto; Entre los agentes biológicos en los que se ha comprobado la formación de carbonato, nos encontramos los siguientes:

97 Guerrero Hernández, C. J. (2001). Rocas calizas: Formación, ciclo del carbonato, propiedades, aplicaciones, distribución y perspectivas en la Mixteca Oaxaqueña. *TEMAS DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA* vol. 5 número 14, 3-14.

98 ídem

99 Ídem

Tipo de bacterias e instituciones colectoras de cultivos.

- Bacilo Pasteurii - American Type Culture Colection- ATCC 11859.

7 días. (Bachmeier KL, 2002)<sup>100</sup>

- Myxococcus xanthus - Colección Española De Cultivos Tipo- CECT 422T

5-10 días. (Rodríguez-Navarro C, 2003)<sup>101</sup>

- Organic Matrix Macromolecules, extraídas de Mytilus hispanicus. (molusco).

**Por determinarse.** (Tiano, 1999)<sup>102</sup>

- Bacillus subtilis - biomineralización para la restauración y conservación de monumentos. (Mastromei., Agosto 2003)<sup>103</sup>

**Por determinarse.**

100 Rodríguez-Navarro C, R.-G. M.-M. (2003). Conservation of ornamental stone by Myxococcus xanthus-induced carbonate biomineralization. *Environ Microbiol.*, 69(4):2182-93.

101 Bachmeier KL, W. A. (2002). Urease activity in microbiologically-induced calcite precipitation. *J Biotechnol*, 171-81.

102 Tiano, P. B. (1999). Bacterial biomediated calcite precipitation for monumental stones conservation: methods of evaluation. *J Microbiol Methods*, 36, 139-145.

103 Mastromei., B. P. (Agosto 2003). Conservation of monumental stones by bacterial biomineralization. *Microbiology Today vol. 30*.

- Bacillus Cereus - sociedad Calcite Bioconcept. (Castanier, 2000)<sup>104</sup>

**Por determinarse.**

Porcentaje de bacteria con relación al porcentaje de suelo arenoso.

El desconocimiento de la biotecnología en la arquitectura o en sistemas constructivos es producto de la falta de trabajo multidisciplinario y transdisciplinario del arquitecto con otras ramas del conocimiento como la biología. Por tal motivo esta investigación quiere propiciar el intercambio de ideas y desarrollos tecnológicos entre personas de disciplinas aparentemente opuestas.

A partir del punto anterior se genera la primera incógnita sobre ¿cómo será la forma en que se introducirá la bacteria a la tierra durante el procesos constructivo de la tapia? Primero para aprovechar de mejor forma la bacteria como estabilizante de tierra para muros de tapia, se tiene que encontrar los porcentajes adecuados de suelo arenoso con el que se construirán los muros. Por lo que la característica importante de la tierra a utilizar en su mayor parte dependerá de encontrar suelos arenosos en las zonas urbanas.

104 Castanier, S. G.-L. (2000). Bacterial carbonatogenesis and applications to preservation and restoration of historic property. 201-216.

Para identificar las características de la tierra a utilizar en la tapia o cualquier técnica de construcción con tierra se debe realizar una serie de pruebas para identificar las propiedades físicas (humedad, liquidez, granulometría, etc.) Al conocer estas propiedades puedo plantear los diferentes métodos para la inserción de la bacteria en las probetas de la fase experimental y posteriormente su aplicación en un muro de tapia real.

El dimensionamiento de las secciones del muro de tapia para una correcta aplicación de la bacteria serán determinadas por la forma de inserción de la bacteria y por la misma técnica tradicional de la tapia, así se podrá establecer el espesor adecuado para los muros de tapia, a partir de lo anterior dependerá el mejor aprovechamiento de las bacterias para la óptima estabilización de la tapia con métodos microbiológicos.

Durante los procesos técnicos de la tapia no se puede dejar a un lado la etapa del tapial y su manufactura para que pueda ser esta técnica viable para la vivienda de interés social. Por lo que es fundamental la correcta distribución y el desarrollo del tapial sustentable para que sea fácil de reproducir y de igual forma tenga una durabilidad superior a cualquier cimbra

tradicional en su mayoría hecha con madera. Si se resuelve cada uno de los puntos anteriores se podrá solucionar el problema que es más recurrente de las construcciones con tierra, la aceptación social por la desconfianza que las personas tienen a métodos constructivos que no se conocen en las ciudades. Por lo que posteriormente se tendrá que evaluar cómo se distribuirá y cómo funcionará la aplicación de este estabilizante biológico para la construcción de vivienda en las ciudades.

## 4.3 Introducción a la etapa experimental

El trabajo que realicé en mi estancia de investigación en el Laboratorio de Materiales de l'Escola Politècnica Superior de l'Edificació de Barcelona (EPSEB), de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) durante el 3er semestre constó de cuatro etapas esenciales para el correcto desarrollo de la estancia de investigación y minorizar los errores durante el desarrollo experimental.

La etapa experimental a sí misma la dividí en cuatro etapas. Primero realicé una etapa de definición de la investigación para tener los menores errores en las siguientes tres etapas; esta consta de definir la bacteria con las mejores características biológicas

para la estabilización de muros de tapia y la búsqueda de una tierra granulométricamente adecuada y con suficiente porosidad para el óptimo manejo de las bacterias como estabilizador biológico. Esta etapa también consta de la búsqueda y contactar con el distribuidor de la bacteria para la experimentación en laboratorio, con esto se buscará la sustentabilidad económica de la experimentación.

Como segunda etapa se compone de la gestión de todos los recursos para la experimentación en laboratorio, los recursos a gestionar son: conseguir la bacteria, reproducir la bacteria en un laboratorio microbiológico y obtener la tierra adecuada.

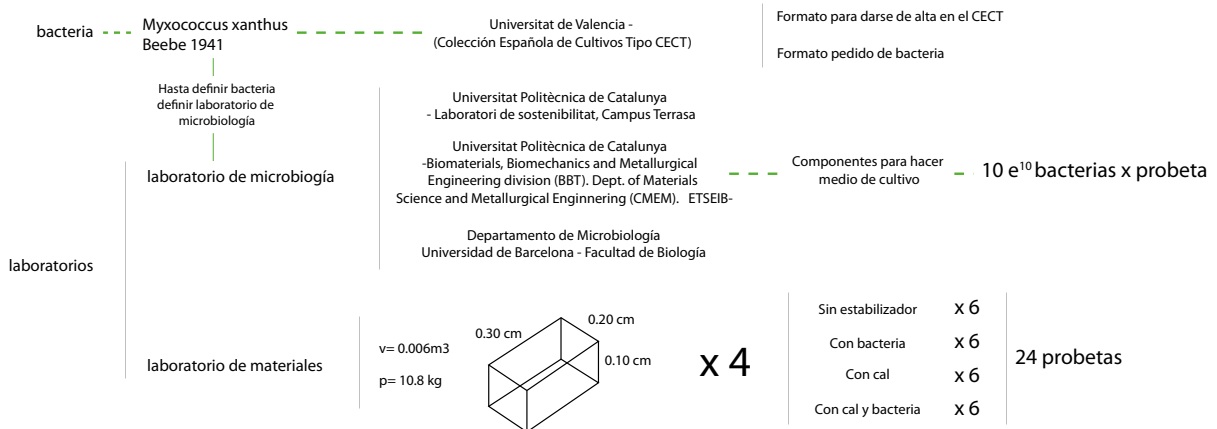
La tercera etapa consta de la

experimentación en el laboratorio de materiales para la mejora mecánica de un muro de tapia.

La cuarta etapa es el proceso de los resultados obtenidos en la etapa experimental.

El trabajo realizado en la segunda etapa se enfocó en la gestión de todos los recursos para la experimentación en laboratorio (*figura 59*), los recursos a gestionar son: conseguir la bacteria, reproducir la bacteria en un laboratorio microbiológico y obtener la tierra adecuada. Para llegar a estos objetivos concentre la gestión en dos esquemas esenciales para aprovechar al máximo los recursos disponibles. Primero debí aclarar la metodología para la tercera etapa, la etapa de experimentación en el laboratorio de materiales, me

v figura 59.



ayudará a limitar mis condiciones experimentales a partir de las constantes y variables disponibles para dichas pruebas. Al tener claros estos objetivos tendré definida las cantidades de material necesario para estabilizar la tapia con la bacteria y hacer las pruebas de resistencia a compresión; con estos datos elaboré un esquema de gestión para conseguir todos los elementos en el menor tiempo posible y con el menor costo económico.

Esta parte del trabajo fue la base para completar las pruebas experimentales en tiempo pero sobre todo obtener los resultados esperados que dependerán de distintos factores externos como son los tiempos de entrega de material, el crecimiento adecuado de la bacteria en laboratorio y los tiempos de cada persona que colabora con este tema de investigación.

## 4.4 Desarrollo de la etapa experimental

Como primeros cuestionamientos de la estabilización microbiológica había que resolver el siguiente punto:

La precipitación de calcita se lleva a cabo por los procesos biológicos de ciertas bacterias durante su metabolismo estas son capaces de transformar el calcio y el carbonato en

carbonato de calcio. Su metabolismo solo puede llevarse a cabo en un ambiente aeróbico. Por tal motivo es de gran importancia identificar la capacidad aeróbica de las bacterias para vivir dentro del muro de tapia hasta precipitarse y morir. A partir de esta primera condicionante que pudiera tener la bacteria a utilizar, retome el estado del arte con el que contaba sobre la estabilización biológica para definir con claridad la bacteria a utilizar, ya que cuento con cinco posibles bacterias para la estabilización.

Tipo de bacterias que se ha comprobado la formación de carbonato e instituciones colectoras de cultivos:

- Myxococcus xanthus - Colección Española De Cultivos Tipo- CECT 422T
- Bacilo Pasteurii - American Type Culture Collection- ATCC 11859
- Macromoleculas matrices orgánicas, extraídas de Mytilus hispanicus. (molusco).
- Bacillus subtilis - biomineralización para la restauración y conservación de monumentos.
- Bacillus Cereus - sociedad Calcite Bioconcept.

Por lo que planteo la elección de las posibles bacterias a utilizar y cuál sería la mejor opción para trabajar experimentalmente con la estabilización de la tierra desde las características propias de la tapia, a partir de lo siguiente:

Dos propuestas de estabilización de la tapia -

a) Trabajar superficialmente con la bacteria en el muro de tapia, para que trabaje como un estabilizador mecánico pero sobre todo como un estabilizador impermeable.

b) Trabajar con la bacteria como estabilizador mecánico en la totalidad de muro pero estudiar de forma más precisa la granulometría y la porosidad de la tierra para no afectar aeróbicamente la bacteria.

Con estas opciones me planteé precisar aún más el estado del arte biológico para obtener las características precisas que debía tener la bacteria a utilizar en un muro de tapia y mejorar la estabilización del mismo. Por lo que a continuación muestro algunas características importantes para la calcificación de la tierra por medio de las bacterias anteriormente mencionadas:

- Estabilización de la arena -piedra arenisca-

- Proporciones de suelos y bacteria para tapia.
- Forma de implantación de bacteria por medio del tapial.

Una condición importante para la elección de la bacteria es que esta tenga las mejores condiciones que adhieren las partículas de arena para la estabilización de la tierra al formar rocas. También la bacteria debe desarrollar su proceso metabólico completo, es decir su ciclo vital no debe completarse en el cultivo de bacterias debe continuar con su metabolismo en la tierra compactada hasta morir.

La investigación para definir la bacteria con las mejores características para su uso en muros de tapia se definió entre dos posibilidades:

- *Myxococcus xanthus* - Colección Española De Cultivos Tipo- CECT 422T ([bacdive.dsmz.de/index.php?site=search&rd=9981](http://bacdive.dsmz.de/index.php?site=search&rd=9981), 2015)<sup>105</sup>
- *Bacilo Pasteurii* - American Type Culture Colection- ATCC 11859 ([bacdive.dsmz.de/idx.php?site=search&rd=11797](http://bacdive.dsmz.de/idx.php?site=search&rd=11797), 2015)<sup>106</sup>

Estos dos tipos de bacterias fueron la mejor elección por sus características

<sup>105</sup> [bacdive.dsmz.de/idx.php?site=search&rd=11797](http://bacdive.dsmz.de/idx.php?site=search&rd=11797). (octubre de 2015).

<sup>106</sup> [bacdive.dsmz.de/index.php?site=search&rd=9981](http://bacdive.dsmz.de/index.php?site=search&rd=9981). (octubre de 2015).



biológicas.

Por lo que me puse en contacto con colecciones que podrían distribuir estas bacterias, pero con la importante condicionante de que tuvieran o distribuyeran alguna de estas dos bacterias en España y México. Por lo tanto me puse en contacto con distintas colecciones de bacterias, por ejemplo: American Type Culture Collection (ATCC), Colección Española de Cultivos Tipo (CECT), Deutsche Sammlung von Mikroorganismen und Zellkulturen (DSMZ), Netherlands Culture Collection of Bacteria (NCCB), etc.

Al haber definido las dos posibles bacterias a utilizar para la estabilización de muros de tapia, tenía que definir por la mejor opción microbiológica para la precipitación de carbonato de calcio, a partir de esto tenía que elegir la mejor opción para que cumpla su ciclo metabólico sin estrés, es decir debe precipitar con las condiciones adecuadas, por lo tanto las bacterias deben tener suficiente aire para realizar su metabolismo con temperaturas idóneas. Según (Rodríguez-Navarro, Apr. 2003)<sup>107</sup> el *Myxococcus xanthus* cumple con estas propiedades al

crear una matriz de carbonato de protección y consolidación coherente en el sistema poroso de una piedra caliza, por lo tanto podrá tener el mismo efecto en una tierra controlada con determinado porcentaje de porosidad. De igual forma el pH que necesita el *M. xanthus* para un correcto metabolismo es inicialmente de entre 6.5 y 7.5 y durante su metabolismo en el pH va aumentando al pasar de los días ocasionando una consolidación más adecuada mayor a las otras bacterias que tienen el mismo proceso de biomineralización para la estabilización de un muro de tapia.

Por lo anterior la *M. xanthus* es la bacteria con las mejores características biológicas y al recibir respuesta de la Colección Española de Cultivos Tipo (CECT) es la mejor opción para el desarrollo del experimento en el Laboratorio de Materiales de l'Escola Politècnica Superior de l'Edificació de Barcelona (EPSEB) y en la American Type Culture Collection (ATCC) distribuye la *M. xanthus* en México.

La metodología la resumiré en tres ejes principales Bacteria – Laboratorios – Tierra, con el (Anexo 10)

A partir de esta metodología a seguir tuve que organizar una estrategia de gestión para ahorrar los

<sup>107</sup> Rodríguez-Navarro, C. R.-G. (Apr. 2003). Conservatio of Ornamental Stone by *Myxococcus xanthus*-Induced Carbonate Biomineralization. *Applied and Environmental Microbiology Vol. 69, No. 4, 2182-2193.*

mayores recursos posibles como el tiempo, el económico y el humano. A la par continúe con la búsqueda de un laboratorio de microbiología, para ese momento contacte con tres laboratorios en universidades de Cataluña. Tuve que evaluar las condiciones académicas, de mi participación en el proceso de la generación de biomasa, de las condiciones temporales y económicas de cada uno de los tres laboratorios para elegir la mejor opción.

La segunda etapa de esta estancia de investigación (gestión de recursos para la experimentación en laboratorio) comencé a gestionar todos los recursos y las variables por terceras personas. El trabajo en el laboratorio de microbiología para el crecimiento de *M. xanthus* se realizó (*Anexo 11*) en el Departamento de Microbiología de la Universidad de Barcelona con el Dr. Jordi Urmeneta Maso Secretario del Departamento de Microbiología de la UB.

Para obtener las cantidades necesarias de biomasa bacteriana debemos sujetar a nuestra bacteria a un proceso de crecimiento microbiano.

Entendemos por crecimiento microbiano el aumento del número de microorganismos a lo largo del tiempo. Por tanto, no nos referimos al crecimiento

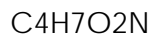
de un único microorganismo que denominaremos ciclo celular, sino al demográfico de una población. Denominamos ciclo celular al proceso de desarrollo de una bacteria aislada. A lo largo del ciclo celular tiene lugar la replicación del material genético, la síntesis de componentes celulares, la elongación de la bacteria para alcanzar un tamaño doble del inicial y su división por bipartición para dar lugar a dos células hijas. La duración del ciclo celular coincide con el tiempo de generación y depende, en general, de los mismos factores de los que depende este. El crecimiento de una población resulta de la suma de los ciclos celulares de todos los individuos de dicha población. (Prescott, 2004)<sup>108</sup>

Cultivo de microorganismo - El cultivo de microorganismos consiste en proporcionarles las condiciones físicas, químicas y nutritivas adecuadas para que puedan multiplicarse de forma controlada; estos cultivos pueden ser líquidos o sólidos en función de las características del medio. "Si queremos que una población bacteriana crezca

108 Prescott, H. y. (2004). *Microbiología. 5ª ed.* Ed. McGraw-Hill.

en un determinado medio, deberemos dar nutrientes al sistema que respeten las fórmulas promedio de las bacterias. Los elementos traza son también necesarios, por esta razón suele agregarse al medio de cultivo extracto de levadura (bacterias muertas que contienen todos los elementos que garantizan el crecimiento celular)." (Prescott, 2004)<sup>109</sup>

Medios de cultivo - Un microorganismo necesita para crecer nutrientes que le aporten energía y elementos químicos para la síntesis de sus constituyentes celulares. Dependiendo de la fuente de carbono que utilizan, los microorganismos se pueden clasificar en autótrofos si es el CO<sub>2</sub> atmosférico (microorganismos que fotosintetizan) y heterótrofos si utilizan carbono orgánico. La fórmula elemental de un microorganismo es, aproximadamente,



lo que supone que los componentes de las células son: carbono que representa alrededor del 50% del peso seco, oxígeno (32%), nitrógeno (14%), fósforo (3%), azufre (en torno al 1%) y otros elementos traza entre los que se encuentran Fe, K, Mg, Mn, Co, Mb, Cu y Zn. La elaboración de medios

de cultivo requiere proporcionar los elementos antes citados en una forma asimilable. Además, en ciertos casos, es necesario añadir a los medios de cultivo algunos aminoácidos o vitaminas que determinados tipos de microorganismos no pueden sintetizar. En el caso de la levadura del pan (*Saccharomyces cerevisiae*) la fórmula elemental más concreta es:

C3.72 H6.11 O1.95 N0.61 S0.017 P0.035  
K0.056

...esta composición puede variar ligeramente en función de las condiciones de cultivo o de fase de crecimiento. El conocimiento de la fórmula elemental del microorganismo que se cultiva facilita la formulación del medio de cultivo más adecuado para el mismo. (Prescott, 2004)<sup>110</sup>.

Los medios de cultivo se pueden clasificar en definidos cuando su composición química se conoce totalmente y complejos cuando no es el caso porque están compuestos por mezclas de extractos de materiales complejos (extracto de levadura, extracto de carne, etc.). Por otra parte, los medios de cultivo pueden ser líquidos o sólidos si se añade algún agente solidificante que no sea consumible por los microorganismos (normalmente

<sup>109</sup> Ídem

<sup>110</sup> Ídem



VNIVERSITAT  
DE VALÈNCIA



COLECCIÓN ESPAÑOLA DE  
CULTIVOS TIPOS SE OBTUVO LA  
BACTERIA **MYCOCCUS XANTHUS**

^ figura 60. Universidad de Valencia y CECT

agar).

La mayoría de las bacterias se reproducen por medio de una fisión binaria. El tiempo que tardan en formarse 2 células de una célula común se llama tiempo de generación, pero como coincide con el tiempo en que se duplica el número de células se denomina también tiempo de duplicación. Este tiempo varía significativamente según la especie bacteriana y según las condiciones del medio de cultivo.

Factores que afectan el crecimiento y los procesos metabólicos.

Nutrientes

PH

Temperatura

Disponibilidad de agua

Otros factores vinculados a los sustratos

(figura 60) A la Colección Española de Cultivos Tipo, solicitamos la bacteria *Myxococcus xanthus* Beebe 1941 (Anexo 12)

## 1er Informe / extracción de tierra:

A principios de diciembre (1º diciembre 2015) se realizó la primera visita al sitio en Gelida, Cataluña. (figura 61) Esta primera visita fue de gran utilidad para observar y tener un primer acercamiento para el posible uso de la tierra del lugar o la posibilidad de utilizar la tapia existente. El sitio se constituye de una casa construida con tapia pero que se encuentra en un estado deficiente, ya que no tuvo el mantenimiento adecuado y estuvo en estado de abandono por muchos años. El terreno fue adquirido hace poco tiempo por los actuales dueños los cuales se encontraron una construcción con algunos problemas estructurales y con un trabajo de albañilería para ocultar y supuestamente para reforzar los muros de tapia.

Como se muestra en las imágenes el desprecio por la construcción tradicional con tierra es evidente en lugares como Gelida en Catalunya



^ figura 61. Gelida lugar de extracción de la tierra para las pruebas experimentales.

(figura 62 y 63) esto también ocurre en ciudades como es la Ciudad de México donde el desprecio por una arquitectura tradicional es denigrado por la falta de conocimiento sobre el beneficio de estas técnicas.

Al analizar las posibles opciones para extraer la tierra por el equipo

v figura 62. Muro de tapia para extracción en Gelida, Cataluña.



humano y de maquinaria con el que contamos se decidió que la tierra para las pruebas en un ambiente controlado se obtendrá directamente de los muros de tapia de la casa en Gelida, como lo muestra la siguiente imagen se eligió una sección del muro contigua al vano existente en la segunda planta.

v figura 63. Muro de tapia para extracción en Gelida, Cataluña.



## 1er Informe / de laboratorio de microbiología

El Dr. Jordi Urmeneta realizó el pedido de los medios de cultivos necesarios para la recuperación del cultivo liofilizado de *Myxococcus xanthus*, los cuales llegaron esa misma semana para comenzar con el proceso de recuperación.

Partimos del microorganismo, *Myxococcus xanthus*, liofilizado (en polvo), obtenido de la CECT (Colección Española de Cultivos Tipo). Para la recuperación del cultivo liofilizado, utilizamos el medio de cultivo específico que nos indica el catálogo de la CECT.

Elaboración del medio de cultivo 126M. Para la elaboración de 1 L de medio de cultivo 126M líquido, se usan los siguientes componentes:

- Casitona 3.00 g
- CaCl<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O 1.36 g
- Agua destilada 1 L

Para la obtención del medio 126M en sólido se le añade al medio líquido:

- Agar 15.00 g

Una vez elaborados los medios, se esterilizan en el autoclave, 1 atm. 121°C, 20 minutos.

El medio con agar se vierte en placas de Petri, antes de que el agar

se solidifique. Una vez abierta la botella de cristal donde se encuentra el cultivo liofilizado, se le añade 0.2-0.3 ml del medio líquido estéril 126M. De este modo resuspendemos el cultivo en líquido. Utilizamos la mayor parte de la suspensión para inocular botellas de vidrio de 100 ml de capacidad con aproximadamente 20 ml de medio líquido estéril 126M.

Además, utilizamos también parte de la suspensión para inocular placas de Petri con el medio 126M sólido (con Agar) para comprobar las posibles contaminaciones.

Todos los cultivos se incuban a una temperatura de 30°C, en aerobiosis (con presencia de oxígeno). Los cultivos líquidos se mantienen en agitación (200 rpm) durante 6-7 días, tal y como indica la ficha del microorganismo de la CECT para la incubación, pero el crecimiento de la bacteria se empezó a notar hasta esta semana, es decir hasta el octavo día y continua pero con un crecimiento bastante lento.

Esta semana la bacteria terminó de crecer y se comenzó la producción de biomasa. Pasado el tiempo de incubación, utilizamos los cultivos líquidos del microorganismo, para volver a inocular otros 1,5L de medio 126M líquido, para la obtención de la biomasa requerida de *Myxococcus*

xanthus.

El cultivo se incubó bajo las mismas condiciones que el anterior. (30°C, en aerobiosis en agitación durante 6-7 días). (Anexo 13)

## 2<sup>nd</sup> Informe / extracción de tierra:

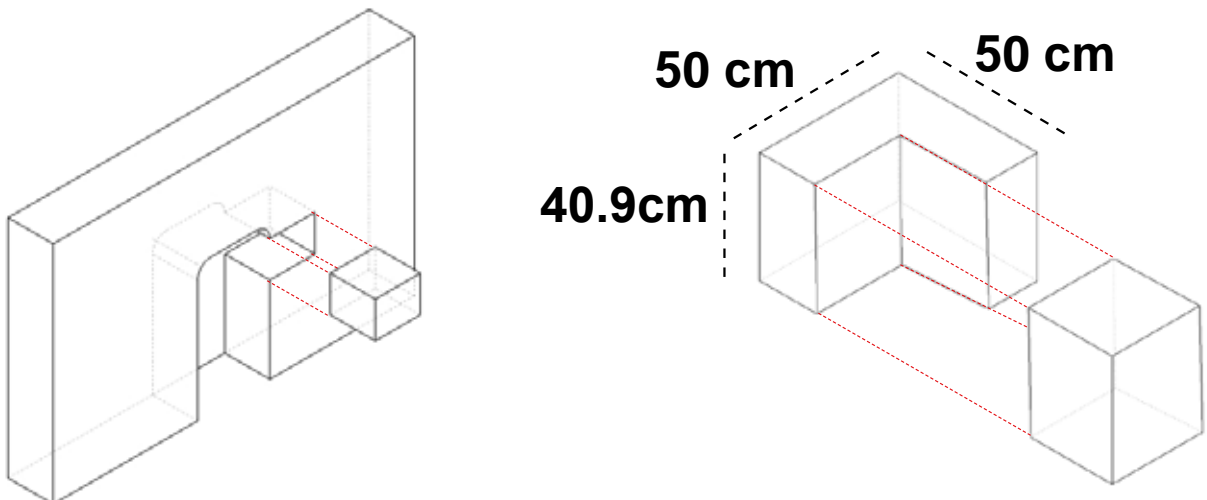
El viernes 11 de diciembre lleve a cabo la preparación de herramientas para la práctica del día siguiente que comprendía herramienta para apoyo del equipo con el que contaba la constructora Urcotex y equipo y material para la transportación del bloque de muro de tapia al laboratorio de la Universidad. El sábado 12 se realizó la segunda visita al sitio, la cual se enfocó en la extracción del muro de tapia para obtener la tierra deseada

para las pruebas experimentales en el laboratorio.

La tierra que se usó para las probetas se extrajo de muros de tapia así se hicieron posible unas primeras pruebas experimentales de resistencia a la compresión con la tapia original, a continuación ya con la tapia destruida se hicieron probetas de las medidas mencionadas anteriormente con cal como estabilizador y otras probetas con bacteria como el estabilizador.

Para esta visita se convocó a la constructora Urcotex y a alumnos de posgrados de la EPSEB que quisieran participar. Al llegar al sitio se explicó más profundamente a todos los participantes cuales son los objetivos de mi tema de investigación, las pruebas experimentales y los objetivos

v figura 64. Esquema volumétrico de la extracción de bloque de muro de tapia.





^ figura 65. Serie de imágenes del procesos que se llevo acabo para la extracción del muro de tapia.

de esta práctica de campo. El trabajo de extracción consistió en encontrar la sección adecuada del muro para obtener la tierra deseada, la sección de muro tenía que tener un aproximado de 0.250m<sup>3</sup> para tener la tierra necesaria para las pruebas de laboratorio. Se seccionó un trozo de muro de 0.5m de ancho x 0.5 de profundidad x 0.4m de altura el cual se dividió en dos para su fácil maniobrabilidad y transportación

como lo muestra la figura 64.

El proceso para trozar el muro se llevó acabo con dos motosierras de punta de diamante para obtener las caras de la sección del muro lo más planas posibles para su mejor manejo en el laboratorio de materiales. Al mismo tiempo también se extrajo tierra virgen del terreno para su caracterización de propiedades. (figura 65)



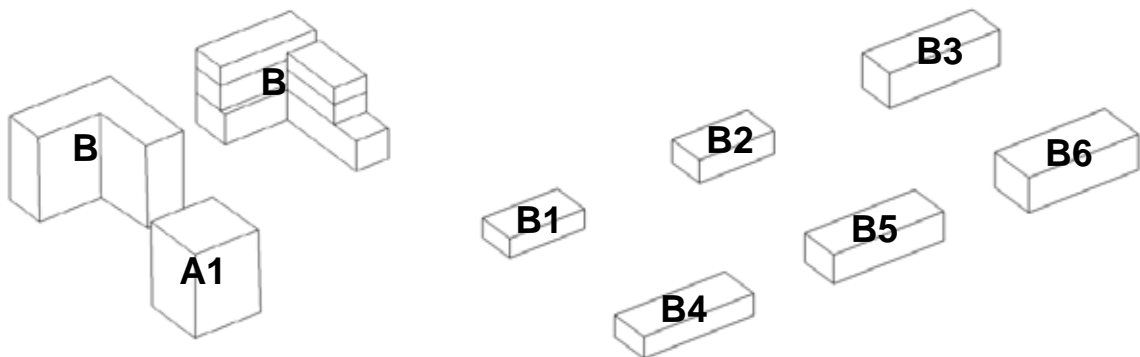
## 1er Informe de laboratorio de materiales:

Como primera tarea tuve que descargar la tierra y herramientas del vehículo para preparar el área de trabajo en el laboratorio. Dimensioné, pese y obtuve el volumen todos los bloques de muro de tapia que obtuve para definir para que pruebas usaría cada trozo de muro. (figura 66)

Para tener una referencia de la resistencia a compresión que puede soportar la tapia con la tierra que obtuve, como primer prueba mecánica destructiva rompí la pieza (bloque A1) más grande que se sacó del muro. Para romper el bloque A1 tuve la tapia en una superficie horizontal (figura 67) y determinar si las caras inferior y

superior son suficientemente lisas para recibir la prensa mecánica, ya que la falta de planicie de 0.25mm puede reducir a un tercio la resistencia. Ya que las caras no eran suficientemente planas tuve que refrentar las dos caras (figura 68), el refrentado se lo realicé con dos piezas de mármol de 50cm x 50cm y una mezcla de cemento aluminoso (para un fraguado más rápido) y arena con una proporción de 1 a 3. Tengo que considerar que este muro de tapia tiene más de medio siglo compactado y levantado, ¿Por qué hay que considerar esto? A través del tiempo la estabilización de la tierra compactada se consolida de mejor manera al paso de los años la tierra se compacta asemejándose más a una

v figura 66. Definición de bloques del muro de tapia para su uso en el laboratorio de materiales.



pedra, según mi hipótesis este proceso es el cual la bacteria acelerará para reducir tiempos.

## 2<sup>nd</sup> Informe de laboratorio de microbiología:

Una vez ya hemos obtenido la biomasa (1,5L de cultivo después de la incubación) centrifugamos todo el cultivo en tubos de 10 ml durante 15 minutos a 4000 rpm, para separar los microorganismos (pellet) del medio de cultivo (sobrenadante) para poder concentrar las muestras.

Para ello colocamos 10 ml de cultivo en tubos de plástico y los centrifugamos. Después de cada centrifugación, descartamos el sobrenadante (el medio sin microorganismos) y nos quedamos

con los pellet. Se le vuelve añadir al tubo con los microorganismos (pellet) más cultivo y se repite el proceso.

Una vez ya se ha centrifugado todo el cultivo, y se han recuperado todos los microorganismos, se colocan en 6 tubos de 10 ml de plástico, y se resuspenden con 10 ml de solución Ringer  $\frac{1}{4}$  estéril. De uno de estos tubos, se utilizan 100  $\mu$ l de la suspensión para elaborar recuento de viables a partir de diluciones seriadas y posterior cultivo en placa. Se diluye la suspensión de microorganismos con Ringer  $\frac{1}{4}$ , y se siembran las diluciones 10<sup>-7</sup>, 10<sup>-8</sup>, 10<sup>-9</sup> y 10<sup>-10</sup> en placas de Petri con medio 126M sólido, y se incuban (30°C, en aerobiosis durante 6-7 días) para el

v figuras 67 . Manipulación de bloque A1





^ figuras 68 . Refrentado de bloque A1

posterior contaje de microorganismos.  
(figura 69 y 70)

## 2<sup>nd</sup> Informe de laboratorio de materiales:

Mientras que el refrentado del bloque A1 de tapia a gran escala fraguaba para realizar la prueba destructiva, los bloques de tapia de dimensiones menores las comencé a triturar con marro y cincel, pero este proceso llevaba mucho tiempo y

esfuerzo que no iba ser eficiente para los recursos con que se contaban. Por tal motivo se hizo una prueba con una pequeña porción de la tierra, al verterle un poco de agua destilada para que la tierra absorbiera por capilaridad dicha cantidad de agua y la tierra se aflojara para poder triturarla de forma más eficiente.

De regreso al bloque A1, al tener listos los refrentados, con una grúa



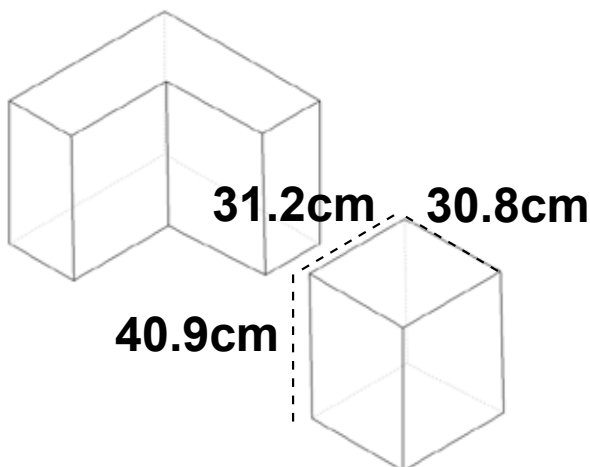
**1 millón de bacterias x cada 100 gr de tierra**

^ figuras 69. En el laboratorio de microbiología de la ub se activo, crecio y se hizo la biomasa necesaria para las pruebas mecánicas destructivas

manual coloqué el bloque A1 sobre la prensa y comencé con las pruebas destructivas para determinar la resistencia a compresión. Obtuve la carga de ruptura y la carga máxima que llego a 18,864.0087 kg.

(figura 71) Los bloques (B1, B2, B3, B4, B5, B6) al ser triturados tome muestras para caracterizar su granulometría, liquidez, plasticidad y humedad de acuerdo a las normas UNE 103 101 para la granulometría de suelos gruesos, la norma UNE 103102 para la

v figuras 70. Medidas de bloque A1 y proporciones de bacterias para estabilización en relación a la proporción natural de la tierra y bacterias que contiene.



100 gr de tierra contiene = 1 Millon de bacterias.

peso específico de la tierra compactada= 1800kg/m3.

cada probeta pesa 10.8 kg / 100 gr x 1 millon =

10 e<sup>10</sup> bacterias por probeta

		kg			
		peso	largo	ancho	altura
A1	pieza original de muro		31.92	30.4	40.9
B1	pieza original de muro	8.833	32	16	8
B2	pieza original de muro	9.947	32	16	9.5
B3	pieza original de muro	> 20			
B4	pieza original de muro	11.742	47	17	9
B5	pieza original de muro	17.474	47	17	12
B6	pieza original de muro	> 20			

^ figura 71. Tabla de peso y volumetría de los bloques extraídos del muro de tapia.

v figura 72. Tablas y ecuaciones para obtener la humedad de la tierra de los bloques de tapia.

humedad tapia original		
muestra		perdido
400 gr		8.09 gr
		0.0081 kg
		2.02 %

humedad tierra molida y cernida a partir de la tapia

A1= tara
A2= tara+tierra+agua
A3= tara+tierra

$$w = \frac{A2-A3}{A3-A1} * 100$$

M1			M2			M3		
A1= 121.32 gr			A1= 81.08 gr			A1= 77.19 gr		
A2= 131.67 gr			A2= 91.24 gr			A2= 87.2 gr		
A3= 129.53 gr			A3= 88.99 gr			A3= 85.06 gr		

$$w = \frac{131.67 - 129.53}{129.53 - 121.32} * 100$$

$$w = 26.07 \%$$

tierra= 8.21 gr  
agua= 2.14 gr

$$w = \frac{91.24 - 88.99}{88.99 - 81.08} * 100$$

$$w = 28.45 \%$$

tierra= 7.91 gr  
agua= 2.25 gr

$$w = \frac{87.2 - 85.06}{85.06 - 77.19} * 100$$

$$w = 27.19 \%$$

tierra= 7.87 gr  
agua= 2.14 gr

granulometría de suelos finos, la norma 72, 73 y 74)

UNE 103 103 94 para el límite líquido, la norma UNE 103 104 93 para el límite plástico y la norma UNE 103 300 93 para la humedad. (AENOR, 1995) <sup>111</sup> (figura

A la par de la caracterización de la tierra comencé con el tamizado de la misma con un tamiz de 2 mm sobre una tamizadora. Ya que se conseguí la granulometría adecuada para la compactación de la tierra,

111 AENOR, A. E. (junio de 1995). Norma española. Madrid, España.

		golpes	humedad
golpes de 15 a 35 entre 10gr a 15gr	M1	27	26.07
golpes de 15 a 25 entre 10gr a 15gr	M2	23	28.45
golpes de 25 a 35 entre 10gr a 15gr	M3	30	27.19

plasticidad tierra molida y cernida a partir de la tapia

		M1	M2	
A1=	tara	29.62	29.96	gr
A2=	tara+tierra+agua	37.25	33.07	gr
A3=	tara+tierra	35.9	32.06	gr
A4=	tierra	6.28	2.1	gr
A5=	agua	1.35	1.01	gr
A6=	humedad	3.62	3.05	%



^^ figura 73. Tablas para caracterizar la tierra según las normas españolas UNE 103 300 93 humedad / UNE 103 104 93 limite plástico / UNE 103 103 94 limite líquido.

^ figura 74. Imágenes del proceso de caracterización de la tierra.

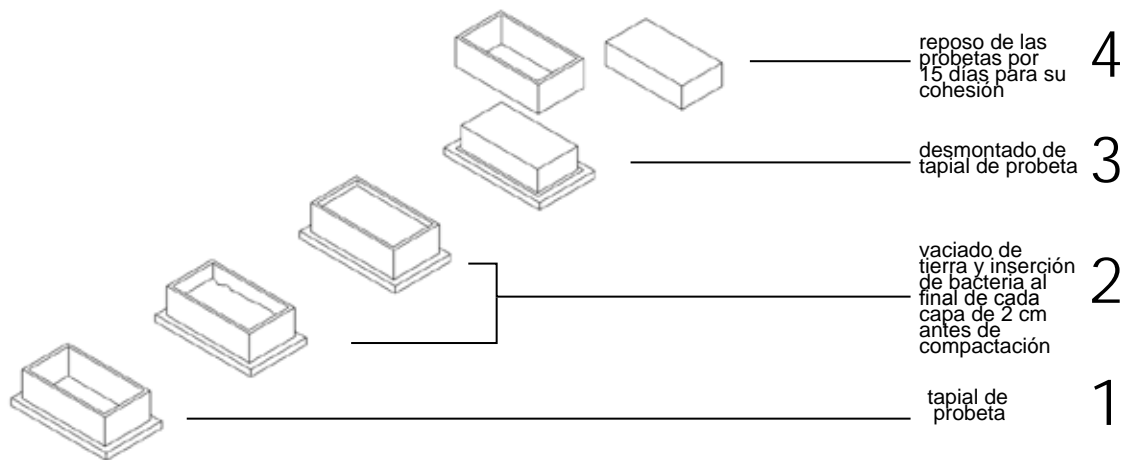
preparé el tapial. Hasta este punto de la investigación y experimentación el tapial para las probetas de tapia lo desarrolle con madera que ya tenía a mi disposición en el laboratorio de materiales. Preparé el tapial con aceite en todas sus paredes para que proceso de descimbrado fuera mucho más sencillo como se hace en la

construcción con tapia escala 1:1.

Introducción de bacteria.

Para introducir la bacteria en las probetas de tapia en esta etapa experimental, desarrolle dos posibles opciones:

1. Realizar el vaciado de la tierra



^ figura 75. Volumetría del proceso de probetas experimentales.

por 15 días para que la bacteria *Myxococcus xanthus* realizara la precipitación de calcita para lograr una buena estabilización de las probetas de tapia. A transcurrir estos 15 días se decimbraron las probetas y se caracterizaron, saque las dimensiones exactas de cada probeta, su peso y volumen. (figura 77)

Se realizó las pruebas no destructivas con el martillo Schmidt para determinar la resistencia de las probetas y posteriormente comparar los resultados con los resultados de la resistencia a compresión de las pruebas destructivas. El ensayo se realizó en las tres probetas (M1,M2,M3) en cada una de las cuatro caras laterales, que representan las caras verticales de un muro de tapia.

En la gráfica (figura 78) podemos

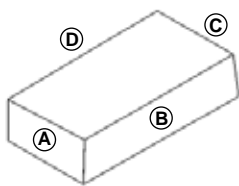
observar en las probetas M2 y M3 un comportamiento similar en el rebote del martillo, donde la media de M2 es 45.25 y la media de M3 es 45.00. La media de M1 (la probeta sin bacteria) es de 40.75. Por lo tanto puedo determinar que los valores más altos de rebotes del martillo fueron en las probetas de tapia que se estabilizaron con bacterias, estos resultados pueden demostrar que las probetas M2 y M3 tienen una mayor resistencia. Con las pruebas destructivas vamos a comprobar estos resultados, confirmar si las probetas M2 y M3 tienen una mayor resistencia a la compresión o tuvieron simplemente una mejor compactación.

Las probetas de tapia para conocer la resistencia a compresión tienen las proporciones aproximadas que muestra la figura 79, un espesor de 30 cm, un

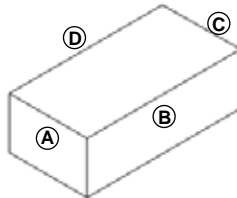


^ figuras 76. Imágenes del proceso de probetas experimentales. (obtención de la tierra a través de absorción por capilaridad y machacar el bloque de tierra - tamizado de tierra - vaciado de la tierra, inserción de bacteria y compactación)

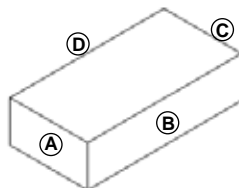
v figura 77. Probetas para pruebas destructivas y no destructivas de resistencia a compresión.



**M1**  
5.10 kg  
superficie de compresión= 428.11 cm<sup>2</sup>



**M2**  
6.81 kg  
superficie de compresión= 454.44 cm<sup>2</sup>



**M3**  
5.99 kg  
superficie de compresión= 303.83 cm<sup>2</sup>



tamizada en el tapial en capas de 2 a 3 cm (de acuerdo la escala del tapial de las probetas que tiene una altura de 10 cm) también decidí que cada capa tuviera de 2 a 3 cm por la humedad que tiene la tierra al absorber el agua por capilaridad para su trituración, así se podrá compactar la tierra con mayor facilidad. Entonces después de cada capa de tierra con un aspersor se disparará la biomasa de la bacteria *Myxococcus xanthus* en toda la superficie horizontal, así se repite este proceso hasta obtener la altura deseada de la probeta.

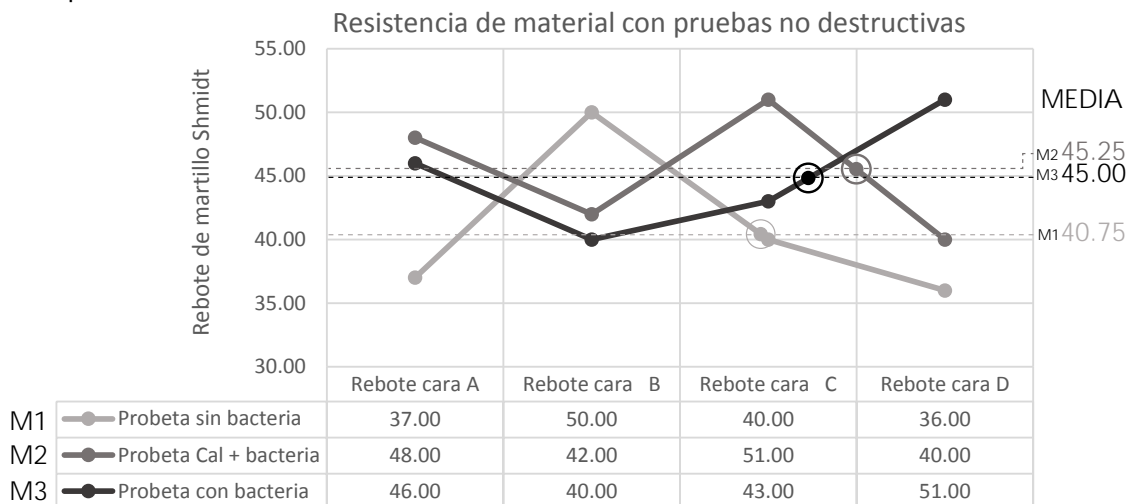
2. En esta opción de vaciado de la biomasa se realizará por medio de la mezcla de tierra y biomasa de la bacteria *Myxococcus xanthus*,

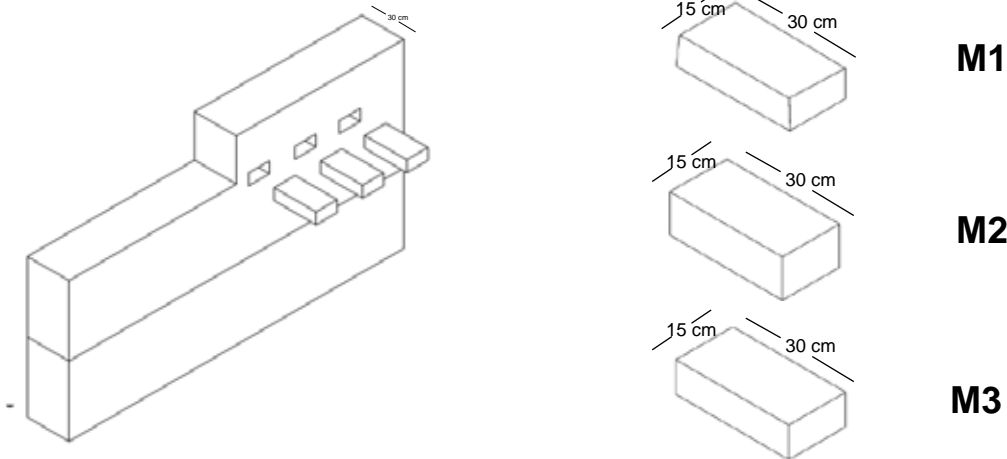
hasta que esté suficientemente bien mezclado. Esta segunda opción también se pensó en realizar la mezcla con cal apagada (hidróxido de calcio), como una opción para mejorar la estabilización de la tierra. Como lo menciono anteriormente en la precipitación de calcita con la bacteria *M. xanthus*, la *Myxobacteria* come hidróxido de calcio para cumplir su metabolismo de mejor forma.

En los dos casos al tener la mezcla lista se vacía en el tapial en capas de 2 a 3cm y se compacta hasta tener la altura deseada de la probeta. (figura 75 y 76)

Posterior a la compactación de la tierra dentro del tapial, se dejó reposar

v figura 78. Gráfica de la resistencia de las probetas de tapia en pruebas no destructivas, con el martillo Schmidt.





^ figura 79. Probetas de tapia de un espesor de 30 cm para simular un prototipo de muro de tapia de espesor de 30 cm.

ancho entre 14 y 15 cm y una altura entre 8 y 10 cm. Estas dimensiones de las probetas son derivadas de poder tener un volumen de tapia para trabajar en el laboratorio de materiales de l'Escola Politècnica Superior de l'Edificació de Barcelona (EPSEB), de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) (que fueran aptas para las pruebas de resistencia a compresión en las prensas con las que se contaban) y a su vez tuvieran las magnitudes propias de un muro de tapia. A diferencia de un muro de tapia común donde el espesor de estos puede variar entre 30 y 60 cm según (New Mexico earthen building materials code , 2009)<sup>112</sup> , las tres probetas las compacte con un espesor aproximado de 30 cm, así se podrá obtener la resistencia a compresión de

la tapia de una probeta con el espesor mínimo que puede llegar a tener un muro de tapia a escala real. El ancho y la altura de las probetas fueron condicionadas para que se pudieran manipular y transportar con cierta facilidad en el espacio que compone el laboratorio de materiales, debido al peso resultante por su volumetría.

Al tener las probetas listas para las pruebas destructivas observé que la superficie inferior como superior no eran totalmente lisas, por lo que se decidió refrentar estas caras para mejorar sus características físicas para las pruebas destructivas. La probetas se refrentaron con yeso, para realizar las pruebas destructivas. (figura 80 y 81)

Para realizar las pruebas destructivas se transportaron las probetas a la prensa donde obtendría la resistencia



^ figura 80. Imagen de probeta M1



^ figura 81. Imagen de probeta M1 ya refrentada.

a compresión máxima de cada una de ellas. (figura 82 y 83). Al realizar la prueba destructiva se obtuvieron los resultados que se muestran en la figura 84 y 85.

Lo que podemos observar en estos resultados al contrario de los resultados de las pruebas no destructivas con el martillo Schmidt, es que las probetas M2 y M3, es decir las probetas estabilizadas con bacterias no existe relación entre ellas. La tierra sin estabilizar tiene una resistencia intermedia entre las dos probetas de tierra estabilizada con bacterias. Lo que se muestra entre las dos tapias estabilizadas por la bioprecipitación es que la tierra estabilizada con cal y bacteria es mucho más débil que la tierra estabilizada únicamente con bacteria. La tapia M2 estabilizada con cal + bacteria está compuesta de una

mezcla de tierra que tiene un porcentaje del 6% de cal en su composición y al igual que la estabilización de la tierra con cal, la estabilización por precipitación de calcita necesitan un medio alcalino. Pero ya que la estabilización microbiológica depende de la precipitación de calcita que consiste del agregado de calcio más carbonato, propongo una hipótesis sobre esta probeta M2, la cual es la siguiente: existió un desequilibrio de cal y la bacteria *M. xanthus* para que se produjera una correcta bioprecipitación de calcita inducida por las enzimas de la bacteria. Por lo tanto para la probeta M2 debió existir un mayor control de proporciones entre la tierra, cal y bacteria, para haber obtenido un mejor resultado en la estabilización.

En cambio lo que se puede observar entre la probeta A1 (la tapia original) y



^ figura 82. Imagen de probeta M3 en prensa para obtener la resistencia a compresión máxima.



^ figura 83. Imagen de probeta M3 al obtener la resistencia a compresión máxima.

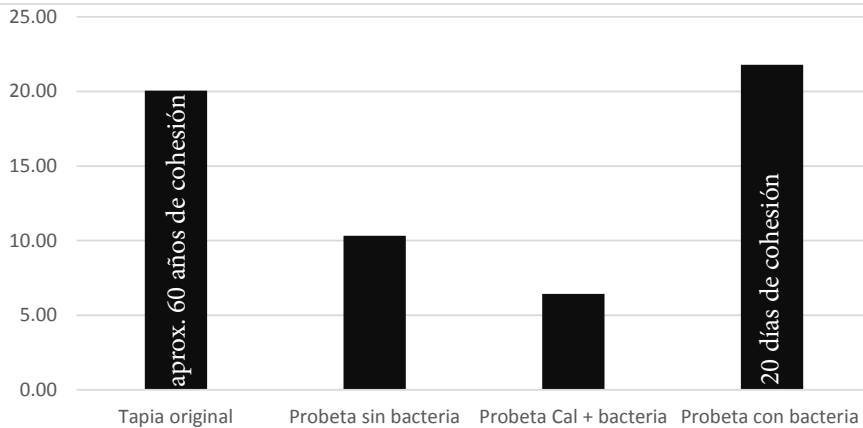
la probeta M3, es que alcanzaron una resistencia a la compresión muy similar. Y como lo muestra la gráfica (figura 85) alcanzaron la misma resistencia con una diferencia de tiempo de cohesión de 60 años, esto puede ser una muestra de que la estabilización microbológica acelera los tiempos de cohesión de un muro de tapia. Por lo tanto a través del tiempo una construcción de tapia

mejorará su resistencia a compresión mientras tenga un mantenimiento adecuado.

Entonces las estabilización microbológica puede mejorar la resistencia a compresión de la tapia, así se podrá usar una mayor variedad de tierras en esta técnica. Se podrá reducir el espesor de los muros de tapia

v figura 84. Tabla resultante de la resistencia a compresión de las probetas

Resistencia de material con pruebas destructivas					
		cm2	primera ruptura (kg)	máxima (kg)	Resistencia a compresión máxima (kg/cm2)
A1	Tapia original	942.12	11305.50	18895.48	20.06
M1	Probeta sin bacteria	428.11	2500.00	4420.00	10.32
M2	Probeta Cal + bacteria	454.40	1240.00	2920.00	6.43
M3	Probeta con bacteria	303.86	2800.00	6620.00	21.79



Estabilizador	Unidades	Fuente
estabilizador de cemento	50 a 100 kg/cm2	CRATerre France
estabilizados con cal	30 a 80 kg/cm2	CRATerre France
estabilizados con productos químicos	20 a 40 kg/cm2	CRATerre France
estabilizados con muy fuertes productos químicos	150 a 400 kg/cm2	CRATerre France
1er prueba estabilizados con bacteria	21.79 kg/cm2	Juan Jaime Gutiérrez Salgado

^^ figura 85. Gráfica comparativa de la resistencia a compresión de las cuatro probetas.

^ figura 86. Tabla comparativa de distintos estabilizadores de tapia.

si se sigue mejorando la resistencia a compresión siempre y cuando se siga estabilizando los muros de tapia por su forma a través de elementos que opongan resistencia al volcamiento y al colapso, ya que la tapia sigue sin trabajar adecuadamente por flexión y tensión.





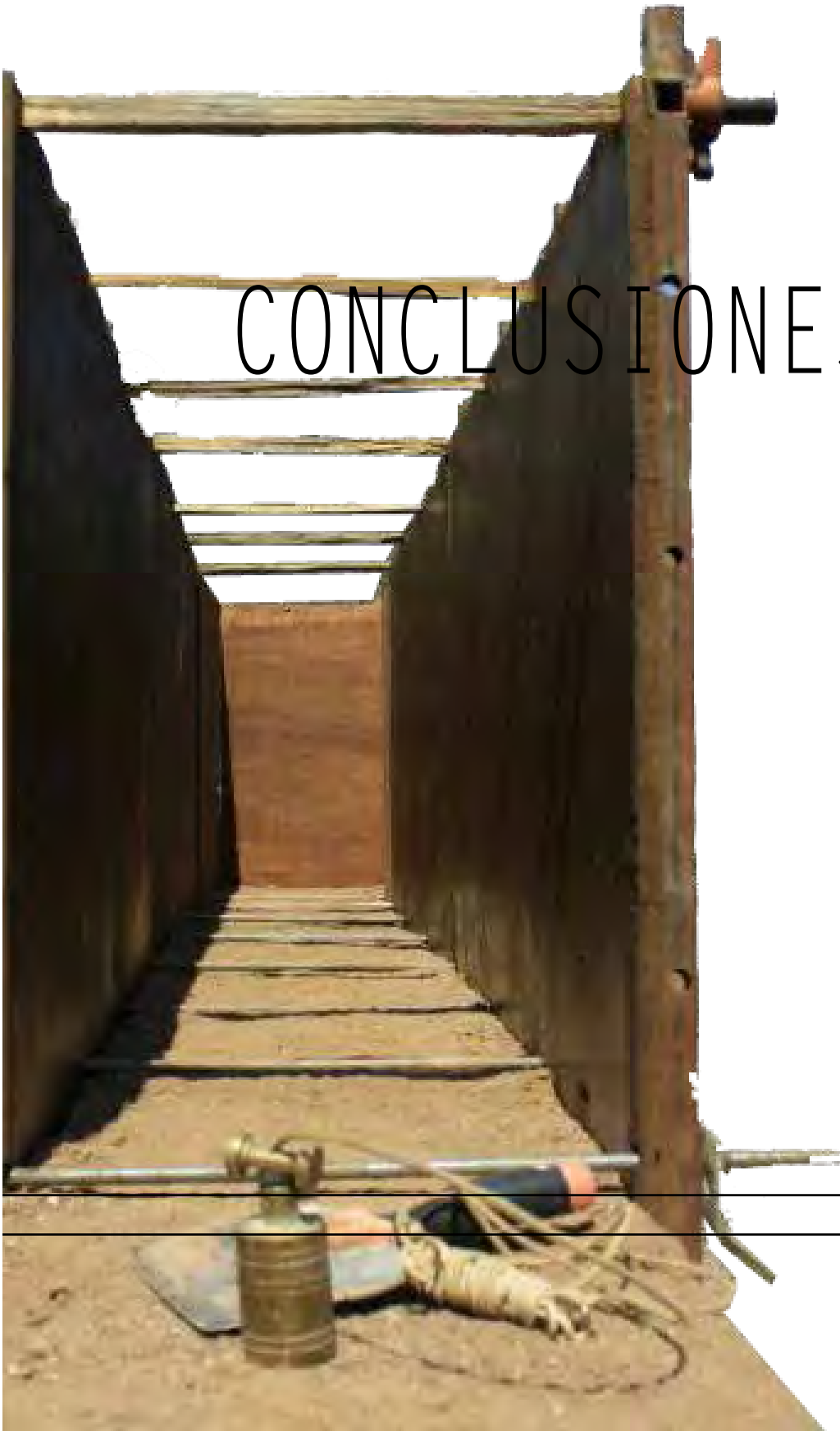
**tierra**  
**bacteria**  
sustentabilidad  
**medio oriente**  
estabilizadores  
latinoamérica

arquitectura contemporánea

**tapias**

**sostenibilidad**  
materiales apropiados  
ruta histórica  
tecnologías apropiadas  
**tapia**

# CONCLUSIONES





A lo largo de esta investigación desarrolle una metodología para innovar la técnica de la tapia, concretamente en sus propiedades mecánicas para la mejora de la resistencia a compresión. A su vez esta técnica no debería perder su esencia como una técnica constructiva tradicional, que puede ejecutarse sin la mano de un especialista. En el desarrollo de este camino además de innovar en sus propiedades mecánicas para respetar su naturaleza de técnica tradicional, planteo una mejora en sus propiedades sustentables para este y otros sistemas constructivos de tierra que respetan los caracteres ambientales, sociales, económicos y estéticos que ya posee cualquier técnica constructiva de tierra.

Ellograr la mejora de la resistencia a compresión de la tapia, es resolver solo uno de las dos principales vertientes para que la técnica de la tapia sea una opción de construcción real en zonas urbanas como en la ZMVM. La mejora de la resistencia a compresión de la tapia es una propiedad que puede favorecer a la aceptación social de las técnicas constructivas de tierra,

para que las personas al decidir construir sus hogares opten por materiales naturales como la tierra. Por lo que, al mejorar las condiciones estructurales de la tierra por medio de la estabilización microbiológica dará a las personas confianza para usar este material, pero esto se debe conseguir sin afectar otras propiedades favorables de estos sistemas constructivos como el no dañar el ambiente inmediato y la factibilidad económica al ser una técnica constructiva aplicable en la autoconstrucción.

Durante las pruebas experimentales del estabilizador microbiológico se demostró que la precipitación de calcita es un método idóneo para mejorar la resistencia estructural de sistemas constructivos de tierra. Pero no solo la mejora de las propiedades estructurales es visible, el estabilizador microbiológico también favorece al menor impacto ambiental de la construcción con tierra para la creación de espacios arquitectónicos.

A partir de las probetas experimentales pude concluir las

ventajas que tiene la estabilización microbiológica en la tapia. Para describir estas ventajas a continuación clasificaré la técnica de la tapia en tres elementos principales para explicar los resultados obtenidos a partir de las probetas experimentales. El primer elemento es el tapial, el tapial de las probetas me ayudo a comprobar que el material, en este caso madera, no afecta la estabilización de la tierra por métodos bacteriológicos. Entonces la madera no es el único material que se puede utilizar para construir muros de tapia con estabilización bacteriológica, se debe buscar un material con mejores características sostenibles como pueden ser materiales reciclados y que además mejoren la vida útil del tapial. Por lo que yo propongo el reciclaje de plásticos para la elaboración de tapiales sostenibles y duraderos.

El segundo elemento que analizo de las probetas experimentales es la tierra, la tierra que se utiliza comúnmente para la técnica de la tapia debe tener ciertos límites granulométricos, plásticos, líquidos y una humedad adecuada. Estas

propiedades de la tierra son las responsables de que no cualquier tierra pueda utilizarse para hacer muros de tapia, por lo que es más complicado construir con tapia en zonas urbanas. El encontrar tierra adecuada para la tapia en grandes ciudades origina que esta técnica deje de ser sustentable, la tapia se vuelve una técnica contaminante porque la tierra se extrae a grandes distancias del sitio donde se va utilizar, esto provoca contaminación por la transportación y en ocasiones extracción desmedida de la tierra. Por consecuencia deja de ser una técnica constructiva económica por las grandes distancias que recorre el material. Con todas estas problemáticas anteriores para la selección de la tierra adecuada para los muros de tapia, con la estabilización de las probetas por métodos bacteriológicos demuestro que la elección de la tierra para la tapia puede tener un rango de propiedades granulométricas, plásticas, etc. más amplio, ya que la estabilización por medio de la precipitación de calcita no requiere que la tierra tenga ciertas propiedades precisas para que el proceso químico comience.

Entonces la elección de la tierra en zonas urbanas para sistemas constructivos de tierra será menos compleja con este método de estabilización.

El tercer elemento de las probetas a analizar es la bacteria estabilizadora de tierra, la myxobacteria *Myxococcus xanthus* la elegí para las probetas experimentales porque esta bacteria la podemos encontrar en el mismo suelo y también en el agua de mar los cuales son su medio natural. Por lo tanto la *Myxococcus xanthus* se utilizará como estabilizador de su mismo medio natural, la tierra. La *M. xanthus* aparte de encontrarla en medio natural común también tiene una reproducción medianamente sencilla en las condiciones adecuadas y sobre todo puede mantenerse viva en un ambiente con temperatura de  $-2^{\circ}\text{C}$  aproximadamente, una temperatura que se encuentra en cualquier refrigerador casero. Otra condición importante de la bacteria *M. xanthus* para la estabilización microbiológica de la tierra, es que la bacteria no es de alguna forma peligrosa o dañina para el ser

humano.

Las probetas de tapia realizadas para comprobar la estabilización de la tierra con la bacteria *Myxococcus xanthus* a través de la precipitación de calcita alcanzo la resistencia a compresión muy similar a la tapia original de donde se extrajo la tierra para las pruebas experimentales, una tapia que tiene alrededor de 60 años de antigüedad, entonces en pocas palabras lo que ocurre con la estabilización microbiológica de la tierra en la técnica de la tapia es la aceleración de un proceso natural como es el proceso químico de la precipitación de calcita.

Entonces para lograr que las personas retomen esta y otras técnicas constructivas de tierra, debe haber un desarrollo en otras etapas de la técnica y no únicamente en la estabilización mecánica. En esta investigación se plantearon los principios para el desarrollo de un tapial eficiente, barato y ergonómico para ayudar a promover la tapia como una posibilidad para personas de zonas urbanas. También dentro del ámbito social se plantearon y ejecutaron

dos metodologías para trabajar con las personas a la par del desarrollo técnico de la tapia, ya que al final las personas serán los usuarios a través de la autoconstrucción y son quienes afirmarán o no si estas técnicas constructivas son viables para construir sus hogares. Las metodologías que se desarrollaron fueron: un taller de construcción con tierra y la divulgación de la técnica de la tapia en formato de folleto de autoconstrucción paso a paso de la técnica. Otra forma de divulgación de las técnicas constructivas de tierra es el comprender de donde, como y cuando se originaron estas técnicas, por lo que desarrolle un estudio crono-geográfico para entender mejor el origen y el proceso de desarrollo de esta técnica.

#### Prospectiva.

Dentro del marco de la estabilización por medio de bacterias, se debe continuar con la búsqueda de mejorar la opción bacteriana para el desarrollo de una biomasa más sustentable (económica, social, innovadora y menos perjudicial al ambiente).

El estudio comparativo del

proceso de materiales constructivos aplicables para la edificación en zonas urbanas. Materiales naturales de manufactura artesanal vs materiales de manufactura industrial para la vivienda social en México.

El desarrollo de un tapial generado a partir de materiales reciclados como puede ser el plástico, pero que se mantengan las propiedades económicas y de resistencia que tienen los tapias usados actualmente.

Como sistema constructivo, la tapia u otros sistemas constructivos de tierra o materiales naturales adaptarlos o yuxtaponiéndolos a las construcciones preexistentes de la ciudad que en su mayoría están realizadas con materiales de manufactura industrial.

Continuar con el fomento y desarrollo de la tapia o cualquier técnica constructiva de tierra en zonas urbanas.

Dentro de un marco académico el crear una línea de investigación para la innovación constructiva para técnicas tradicionales de nuestra región.

## Bibliografía

AENOR, A. E. (junio de 1995).  
Norma española. Madrid, España.

Agazzi, E. (1997). El impacto epistemológico de la tecnología. *Acción Integrada Hispano-Italiana de la Secretaría de Estado de Universidades e Investigación entre las Universidades de Sevilla y Génova*. Sevilla.

Aguilar, A. G., & López, F. M. (2016). Espacios de pobreza en la periferia urbana y suburbios interiores de la Ciudad de México. Las desventajas acumuladas. *EURE*, vol. 42, núm. 125, 5-29.

Alavedra, P. D. (1997). La construcción sostenible: el estado de la cuestión. *Informes de la Construcción* 49(451), 41-47.

Almirante y Torroella, J. (1869). *Diccionario militar, etimológico, histórico, tecnológico, con dos vocabularios francés y alemán*. Universidad de Minnesota.

Antelo E., Sánchez, S., Crespo, C., Raya A., (2012), *Construir con tapial: Piscina en Toro*, *Boletín Académico. Revista de investigación y arquitectura contemporánea Escuela Técnica Superior de Arquitectura. Universidade da Coruña* Páginas 27-35

Arrieta, M. (2011). Biomineralización aplicada a la mitigación de procesos erosivos superficiales, en un suelo tropical de la Ciudad de Medellín. *Tesis de maestría*. Medellín, Colombia: UNIVERSIDAD NACIONAL DE

COLOMBIA.

Bachmeier KL, W. A. (2002). Urease activity in microbiologically-induced calcite precipitation. *J Biotechnol*, 171-81.

BARBETA I SOLÀ, G. (2002). Mejora de la tierra estabilizada en el desarrollo de una arquitectura sostenible hacia el siglo XXI. *Tesis doctoral*. Barcelona, Catalunya, España: UPC.

Barros, L., & Imhoff, F. (2010). Resistencia sísmica del suelo-cemento postensado en construcciones de baja complejidad geométrica. *Revista de la construcción*, 26-38.

Bayón, M. (2008). Desigualdad y procesos de exclusión social. Concentración socioespacial de desventajas en el Gran Buenos Aires y la Ciudad de México. *Estudios Demográficos y Urbanos* 23(1) 123-150, 128.

Bazin, G. (1958). *L'Architecture Religieuse Baroque au Brésil*. París: Éditions D'Historie et d'art Libraire Plo.

Ca-carbonates precipitation and limestone genesis — the microbiogeologist point of view. (1999). *Sedimentary Geology* 126, 9-23.

Calvino, I. (1991). *Las ciudades invisibles*. México: Minotauro.

Calvo, S. (2009). Scientists turn sand to stone. *Science Alert*, [www.sciencealert.com.au/content/view/19095](http://www.sciencealert.com.au/content/view/19095).

CARVALHO, T. M., & LOPES Wilza Gomes, R. (2012). *LA ARQUITECTURA DE TIERRA Y LA CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE*. La Habana: 16

Convención científica de ingeniería y arquitectura.

Castanier, S. G.-L. (2000). Bacterial carbonatogenesis and applications to preservation and restoration of historic property. 201-216.

Castenier, S., Le Métayer-Levrel, G., & Perthuisot, J.-P. (1999). Ca-carbonates precipitation and limestone genesis — the microbiogeologist point of view. *Sedimentary Geology* 126, 9–23.

Clay, H. (1981). *Microbiological precipitation of CaCO<sub>3</sub>*. *Journal of Soil Biology and Biochemistry*.

Colavidas, F., & Salinas, J. (2005). Por un plan cosmopolita de habitabilidad básica. *Revista INVI* vol. 20 no. 053, 226-229.

Colectivo de autores, .. (1992). *Microbiología Veterinaria*. La Habana: Ed. Pueblo y Educación.

Conde Ortiz, M. (2012). Presente Futuro de la Industria del Plástico en México. *Ambiente plástico*.

Cuchí i Burgos, A. (1996). La técnica tradicional de la tapia. *Actas del Primer Congreso Nacional de Historia de la Construcción*, 19-21.

Dávila, E., Kessel, G., & Levy, S. (2002). El sur también existe: un ensayo sobre el desarrollo de México. *economía mexicana NUEVA ÉPOCA*, 205-260.

Díaz, J. (9 de junio de 2015). *subversiones*. Obtenido de <http://subversiones.org/archivos/116571>

Dosier, G. K. (2012). *biomason*.

Obtenido de <http://biomason.com/>

Drawl, A. (s.f.).

Drawl, A. (may de 2012). The architectural application of a microbial formed sandstone, created through the biofilm of the bacteria *Bacillus pasteurii*. Thesis. U.S.A.: Kent State University .

F.J., Martín, J.J.,(2012) Caracterización analítica de la muralla de tapial Almohade de San Juan de Aznalfarache (Sevilla, España), Dpto. de Construcciones Arquitectónicas II, E.U.A.T., Universidad de Sevilla, Sevilla, España.

(1978). *Forschungslabor für experimentelles Bauen (FEB) Laboratorio de Investigación de construcciones experimentales*. Kassel: Universidad de Kassel.

Gauzin-Muller, D. (2002). *Arquitectura Ecológica*. Barcelona: Gustavo Gili.

Gomez, E. (2006). Evaluación de las propiedades geotécnicas de suelos arenosos. *Tesis de Maestría*. Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.

Guerrero Baca, L. (2014). *Tradición constructiva con tapial en las faldas orientales del Iztaccíhuatl*.

Guerrero Baca, L.,(2011) Pasado y porvenir de la arquitectura de tapia , Bitácora 22

Guerrero Hernández, C. J. (2001). Rocas calizas: Formación, ciclo del carbonato, propiedades, aplicaciones, distribución y perspectivas en la Mixteca Oaxaqueña. *TEMAS DE*

CIENCIA Y TECNOLOGÍA vol. 5 número 14, 3-14.

Guerrero, C. (2011). Rocas calizas: Formación, ciclo del carbonato, propiedades, aplicaciones, distribución y perspectivas en la Mixteca Oaxaqueña. *TEMAS DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA*, 3-14.

Heidegger, M. (1994). *Conferencias y artículos*. Barcelona: Ediciones del Serbal.

Houben, H. &. (1994). *Earth Construction: A comprehensive guide*. Londres: Intermediate Technology Publications.

Houben, H., & Guillaud, H. (1994). *Earth construction: a comprehensive guide*. London, UK: Intermediate Technology Publications.

<http://etimologias.dechile.net/?habitar>. (2014).

<http://www.gysapol.com/>. (2009).

Krieger, P. (2006). Megalópolis México: Perspectivas críticas. En *Megalópolis. La modernización de la ciudad de México en el siglo XX*. México D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de investigaciones estéticas.

Lira Dantes, R. (2009). Movimientos que impulsaron a avaliação da impactos ambientais no Brasil. *Jornada de Ensino, Pesquisa e Extensão*, (págs. 1-11).

Lynch, K. (1984). *La imagen de la ciudad*. Barcelona: Ed. Gustavo Gili.

Mastromei., B. P. (Agosto 2003). Conservation of monumental stones

by bacterial biomineralization. *Microbiology Today* vol. 30.

Minke, G. (2005). *Manual de construcción en tierra*. Kassel, Alemania: Editorial fin de siglo, 2nd edición.

Minke, G. (2005). *Manual de construcción para viviendas antisísmicas de tierra*. Kassel, Alemania.

Minke, G. (2006). *Building with Earth: Design and Technology of a Sustainable Architecture*. Basel: Birkhäuser - Publisher for Architecture.

Mockus, A. (1983). Ciencia, técnica y tecnología. *Naturaleza, Educación y Ciencia*.

Muñiz, I., Sánchez, V., & García-López, M.-Á. (2015). Estructura espacial y densidad de población en la ZMVM 1995-2010: evolución de un sistema urbano policéntrico. *EURE*, vol. 41, núm. 122, 75-102.

Murray, P., Rosenthal, K., & Pfaüer, M. (2006). *Microbiología médica*. Madrid, España: Elsevier Imprint, Versión en español de la 5.a edición de la obra en inglés.

Navarro, A. (2014). LA TIERRA COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN. *Low Tech*.

Neves, C. M. (2009). *Selección de suelos y métodos de control en la construcción de tierra, prácticas de campo*. Obtenido de Red Iberoamericana Proterra: <http://www.redproterra.org>

New Mexico earthen building materials code. (2009). *TITLE 14 HOUSING AND CONSTRUCTION*.

Niemeyer, R. (1946). *Der Lehmbau und seine praktische Anwendung*. Hamburg.

Norberg-Schulz, C. (1985). *The concept of Dwelling: On the way to figurative architecture*. New York: Rizzoli International Publications.

Núñez Jover, J. (2014). La ciencia y la tecnología como procesos sociales. Lo que la educación científica no debería olvidar. *Organización de estado iberoamericanos, Ciencia, Tecnología y Sociedad + Innovación*.

Oliva, M. (2014). *habitar la tierra Construcción con tierra como vía hacia la habitabilidad en las viviendas de Mexicali B.C. México D.F.: U.N.A.M.*

Palladio, A. (1738/1570). *I quattro libri dell' Architecture*. Venecia: Edición en Inglés por Isaac Ware.

Pérez González, R. R. (Junio de 2015). Reaprovechamiento del plástico en elementos arquitectónicos. PET Reciclado para la obtención de elementos modulares plásticos. *Tesis*. México D.F., México: UNAM Maestría y doctorado en arquitectura, Campo de conocimiento en tecnología.

Prescott, H. y. (2004). *Microbiología*. 5ª ed. Ed. McGraw-Hill.

*Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente*. (s.f.). Obtenido de <http://www.unep.org>

Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, (. (1995). *Habiterra*. Bogotá.

RAE, R. A. (2001). *Diccionario de la Lengua Española (23da ed.)*. Madrid.

Reyes Ramos, M. E., & López Lara, Á. F. (2011). Ciudades rurales en chiapas: formas territoriales emergentes. *Nueva época núm. 66*, 121-151.

Rodríguez-Navarro C, R.-G. M.-M. (2003). Conservation of ornamental stone by *Myxococcus xanthus*-induced carbonate biomineralization. *Environ Microbiol.*, 69(4):2182-93.

Rodríguez-Navarro, C. R.-G. (Apr. 2003). Conservatio of Ornamental Stone by *Myxococcus xanthus*-Induced Carbonate Biomineralization. *Applied and Environmental Microbiology Vol. 69, No. 4*, 2182-2193.

Salmar, E. y. (2012). Empleo de innovaciones técnicas en la restauración de la estructura muraria de la iglesia Bom Jesus do Livramento en la ciudad de Bananal, Brasil. *Construcción con tierra 5*, 63-70.

Salomón, I. L., & Graham, I. L. (2003). Estudio de las propiedades de la roca caliza de Yucatán. *Ingeniería 7-1*, 27-36.

Sanna S., Mileto C., Gulli, R., y La spina V., (2011-2012), La restauración de la tapia en la comunidad valenciana a través de las intervenciones financiadas por las diputaciones. criterios, técnicas, resultados y perspectivas, ARCHÉ. PUBLICACIÓN DEL INSTITUTO UNIVERSITARIO DE RESTAURACIÓN DEL PATRIMONIO DE LA UPV - Núms. 6 y 7

Schumacher, E. (1983). *Lo pequeño es hermoso*. Buenos Aires: Ed. Orbis.

SEMARNAT. (2012). [http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe\\_12/02\\_ecosistemas/cap2\\_3](http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_12/02_ecosistemas/cap2_3).



html.

SENA, C. d. (s.f.). *Construcción en muros de tapia y bahareque.*

Silvia, D., & Carvalho, R. (2007). Construções Ecológicas e Sustentáveis: Análise Comparativa de Custos entre Painéis em Bambu e Barro com Alvenaria de Bloco. *TecBahia: Revista Baiana de Tecnologia*, 1-11.

Smith, R. (1955). *Arquitectura Colonial*. Salvador, Bahía.

Tiano, P. B. (1999). Bacterial biomediated calcite precipitation for monumental stones conservation: methods of evaluation. *J Microbiol Methods*, 36, 139–145.

Valenzuela Aguilera, A. (2015). Urbanistas y visionarios. La planeación urbana de la ciudad de México en la primera mitad del siglo xx. *EURE* 41(123), 325-328.

Van Damme, H (enero 2013), La terre, un béton d'argile, Pour la Science - n° 423.

Vargas, J. (1993). Earthquake resistant rammed earth buildings. *Memorias de la 7a Conferencia Internaiconal Sobre o Estudo e Conservacao de Arquitectura de Terra*. Lisboa.

Villavicencio, J. (1993). *Reflexiones sobre la construcción del hábitar popular de América Latina.*

Welland, M. (2010). [http://throughthesandglass.typepad.com/through\\_the\\_sandglass/2010/07/sandbacteriaurinebricks-continuing-performances-of-bacillus-pasteurii.html](http://throughthesandglass.typepad.com/through_the_sandglass/2010/07/sandbacteriaurinebricks-continuing-performances-of-bacillus-pasteurii.html).

## Referencia de figuras

Figura 1 Fernandad HP. (2012). Vano Machupichu [Fotografía].

Figura 2 Propia (2012). Muro Machupichu [Fotografía].

Figura 3 Fernandad HP. (2012). Salar, Uyuni [Fotografía].

Figura 4 Fernandad HP. (2012). Ladrillos de sal, Uyuni [Fotografía].

Figura 5 Propia (2012). Vivienda, tecnologías apropiadas [Imagen].

Figura 6 Propia (2016). Arquitecturas apropiadas [Imagen].

Figura 7 Grupo de trabajo, Pensamiento Liberal Mexicano. (2012) Construcción de tapia. [Fotografía].

Figura 8 Propia (2016). Estabilizadores [Imagen]. Fuente de fotografías originales. © Alexander Levchenk. <https://es.dreamstime.com/foto-de-archivo-polvo-gris-del-cemento-image43874974>

Figura 9 CC (2016). Espora multicelulares. [Fotografía]. [https://en.wikipedia.org/wiki/Myxococcus\\_xanthus](https://en.wikipedia.org/wiki/Myxococcus_xanthus)

Figura 10 Propia (2016). Modelo molecular [Imagen].

Figura 11 Fernandad HP. (2012). Isla uros, lago Titikaka [Fotografía].

Figura 12 Propia (2012). La Paz, Bolivia. [Fotografía].

Figura 13 Propia (2016). Proceso cíclico de la tierra como material de construcción [Esquema].

Figura 14 Propia (2014). Localización de iglesias construidas a base de tapia. [Esquema]. Fuente de fotografías originales. © sgtrangel. <http://www.panoramio.com/photo/>

Figura 15 Marco Polo Juarez. (2007). Iglesia de Nuestra Señora del Carmo. Ouro Preto, Brasil [Fotografía].

Figura 16 Cavalcanti D. (s.f.) La arquitectura religiosa de Ouro Preto. [Croquis]

- Figura 17 Propia (2014).  
 Construcciones contemporáneas  
 de tapia en el mundo 1 [Tabla].
- Figura 18 Propia (2014).  
 Construcciones contemporáneas  
 de tapia en el mundo 2 [Tabla].
- Figura 19 Propia (2016).  
 Crecimiento poblacional de una  
 bacteria. [Gráfica].
- Figura 20
- Figura 21 Fernandad HP. (2012).  
 Lima, Perú [Fotografía].
- Figura 22 Periódico La Jornada  
 (Miércoles 11 de febrero de 2015),  
 p. 31. Viviendas abandonadas  
 [Fotografía].
- Figura 23 Fernandad HP. (2015).  
 Barrio de Albaicín, Granada.  
 [Fotografía].
- Figura 24 Propia (2009).San  
 Miguel Amantla, Azcapotzalco.  
 [Fotografía].
- Figura 25 Cities : architecture  
 and society : 10. Mostra  
 internazionale di architettura,
- la Biennale di Venezia.(2006).  
 Ecatepec. [Fotografía]
- Figura 26 [http://tierra.toxisch.net/  
 tierra-fotos.html](http://tierra.toxisch.net/tierra-fotos.html) [Fotografía]
- Figura 27 [http://tierra.toxisch.net/  
 tierra-fotos.html](http://tierra.toxisch.net/tierra-fotos.html) [Fotografía]
- Figura 28 Propia (2016).  
 Habitabilidad para vivienda  
 de interés social de la ZMVM  
 [Esquema].
- Figura 29 Propia (2016).  
 Vivienda construida en conjuntos  
 habitacionales [Esquema]. Fuente  
 original. [http://subversiones.org/  
 archivos/116571](http://subversiones.org/archivos/116571)
- Figura 30 Propia (2016).  
 Habitantes por municipio y  
 delegaciones [Esquema]. Fuente  
 original. [http://subversiones.org/  
 archivos/116572](http://subversiones.org/archivos/116572)
- Figura 31 Propia (2016). Proceso  
 de materiales contaminantes.  
 [Esquema].
- Figura 32 Propia (2016). Proceso  
 cíclico de la tierra como material  
 de construcción [Esquema].

- Figura 33 Propia (2016). Granulometría del suelo para la tapia. [Tabla].
- Figura 34 Propia (2016). Capas del suelo por granulometría. [Esquema].
- Figura 35 Propia (2016). Diferentes tipos de suelos y sus características [Esquema].
- Figura 36 Fernandad HP. (2012). Isla de Amantani, Perú [Fotografía].
- Figura 37 [http://www.frenchcreoles.com/09\\_Shibam.jpg](http://www.frenchcreoles.com/09_Shibam.jpg) [Fotografía].
- Figura 38 Fernandad HP. (2012). Isla de Amantani, Perú [Fotografía].
- Figura 39 Propia (2015). Técnicas constructivas de tierra. [Tabla] [Fotografía]. Fuente de información. Oliva, M. (2014). habitar la tierra Construcción con tierra como vía hacia la habitabilidad en las viviendas de Mexicali B.C. México D.F.: U.N.A.M.
- Figura 40 Propia (2016). Muro de tapia en construcción [Croquis].
- Figura 41 Propia (2016). Estabilización de muros de tapia por su forma. [Croquis].
- Figura 42 Propia (2016). Proporción de la altura por el espesor en un muro de tapia. [Croquis].
- Figura 43 Propia (2015). Análogos de tapias. [Tabla].
- Figura 44 Propia (2016). Crecimiento de un muro de tapia. [Croquis].
- Figura 45 CC (2016). Paquimé. [Fotografía]. [https://en.wikipedia.org/wiki/Casas\\_Grandes](https://en.wikipedia.org/wiki/Casas_Grandes)
- Figura 46 CC (2016). Pirámide del sol. [Fotografía]. <https://en.wikipedia.org/wiki/Teotihuacan>
- Figura 47 Propia (2015). Tipo de tierras para construcción [Tabla]. Fuente de información. Forschungslabor für experimentelles Bauen (FEB) Laboratorio de Investigación de construcciones experimentales., 1978

- Figura 48 Propia (2015). Relación de espesor y altura de muros de tapia. [Tabla]. Fuente de información. New Mexico earthen building materials code , 2009
- Figura 49 Grupo de trabajo, Pensamiento Liberal Mexicano. (2012) Construcción de tapia. [Fotografía].
- Figura 50 © Héctor Fernández Santos-Díez (2010) Piscina Municipal de Toro. <http://www.archdaily.mx/mx/02-82785/piscina-interior-en-toro-vier-arquitectos> [Fotografía].
- Figura 51 Fernandad HP. (2012). La Paz, Bolivia 2. [Fotografía].
- Figura 52 Propia (2009). San Miguel Amantla, Azcapotzalco 2. [Fotografía].
- Figura 53 Propia (2016). Rangos para clasificar la resistencia a compresión de materiales. [Gráfica].
- Figura 54 Propia (2016). Estabilizadores de tapia y su resistencia a compresión. [Tabla].
- Fuente de información CRATerre
- Figura 55 “Propia (2016). Media de la resistencia a la compresión y tensión de la piedra caliza. [Tabla]. Fuente de información Salomón & Graham, 2003”
- Figura 56 Propia (2016). Hipótesis del posible porcentaje granulométrico para una buena calidad de tapia. [Gráfica].
- Figura 57 Propia (2016). Hipótesis de muro de tapia con estabilización de bacteria con relación a la resistencia a compresión de piedra caliza. [Tabla].
- Figura 58 Propia (2016). Comparativa con otros estabilizadores de tapa. [Gráfica].
- Figura 59 Propia (2016). Proceso experimental. [Esquema].
- Figura 60 Propia (2016). Universidad de Valencia y CECT. [Esquema].

- Figura 61 Propia (2016).  
Localización de Gélida, lugar de extracción de tierra. [Fotografía].  
Fuente Google earth.
- Figura 62 Propia (2015). Muro de tapia para extracción en Gélida. [Fotografía].
- Figura 63 Propia (2015). Muro de tapia para extracción en Gélida. [Fotografía].
- Figura 64 Propia (2015).  
Volumetría de bloque de muro de tapia. [Esquema].
- Figura 65 “Propia (2015). Serie de imágenes del proceso que se llevo a cabo para la extracción del muro de tapia.. [Fotografía].”
- Figura 66 “Propia (2015).  
Definición de bloques del muro de tapia para su uso en el laboratorio de materiales.. [Esquema].”
- Figura 67 Propia (2015).  
Manipulación de bloque A1. [Fotografía].
- Figura 68 Propia (2015).  
Refrentado de bloque A1. [Fotografía].
- Figura 69 Propia (2015).  
Activación, crecimiento y realización de biomasa de bacteria *Myxococcus xanthus* [Fotografía].
- Figura 70 Propia (2015). Medidas de bloque A1 y proporciones de bacterias para estabilización en relación a la proporción natural de la tierra y bacterias que contiene. [Esquema].
- Figura 71 Propia (2016). Peso y volumetría de los bloques extraídos del muro de tapia. [Tabla].
- Figura 72 Propia (2016).  
Ecuaciones para obtener la humedad de la tierra de los bloques de tapia. [Tabla].
- Figura 73 Propia (2016).  
Caracterización de la tierra según las normas españolas UNE 103 300 93 h. [Tabla].
- Figura 74 Propia (2015). Proceso

de caracterización de la tierra. [Fotografía].

Figura 75 Propia (2016).  
Volumetría del proceso de  
probetas experimentales.  
[Esquema].

Figura 76 Propia (2015).Proceso  
de probetas experimentales.  
[Fotografía].

Figura 77 Propia (2016).Probetas  
para pruebas destructivas y no  
destructivas de resistencia a  
compresión. [Esquema].

Figura 78 Propia (2016).  
Resistencia de las probetas de  
tapia en pruebas no destructivas,  
con el martillo Schmidt.[Gráfica].

Figura 79 Propia (2016).Probetas  
de tapia de un espesor de 30  
cm para simular un prototipo de  
muro de tapia de espesor de 30  
cm.[Esquema].

Figura 80 Propia (2015).Probeta  
M1 [Fotografía].

Figura 81 Propia (2015).Probeta

M1 ya refrentada. [Fotografía].

Figura 82 Propia (2015).Probeta  
M3 en prensa para obtener la  
resistencia a compresión máxima.  
[Fotografía].

Figura 83 Propia (2015).Probeta  
M3 al obtener la resistencia a  
compresión máxima.[Fotografía].

Figura 84 Propia (2016).  
Resultante de la resistencia a  
compresión de las probetas.[Tabla].

Figura 85 Propia (2016).  
Comparativa de la resistencia a  
compresión de las cuatro probetas.  
[Gráfica].

Figura 86 Propia (2016).  
Comparativa de distintos  
estabilizadores de tapia.[Tabla].

# Glosario.

## B

**Bacillus pasteurii**

## C

**Cualidad** cada uno de los caracteres naturales o adquiridos.

## E

**Estabilizadores estructurales** en cualquier técnica constructiva de tierra es necesario un elemento estructural, en los primeros es mecánicamente apropiado para evitar modificaciones de forma, tamaño y resistencia por medio de unir físicamente la tierra, ya sea por fraguado o por fricción;

**Estabilizadores impermeabilizantes** en cualquier técnica constructiva de tierra es necesario un elemento impermeabilizante son los que mantienen la tierra fuera de contacto de la humedad.

## H

**Habitabilidad** en su estructura gramatical contiene el sufijo -dad que se refiere a cualidad, por lo que el término habitabilidad se define como: cualidad de lo habitable.

**Habitar** vivir, morar. La palabra habitar viene del latín habitare, frecuentativo de habere (tener). Entonces se entiende habitare como: tener

de manera reiterada.

## M

**Morar** residir habitualmente en un lugar

## P

**Pau-a-Pique (barro a mano o tapia francesa)** Es una técnica antigua de edificación que consta de entrelazado maderas verticales fijados en el suelo con vigas horizontales, generalmente de bambú atados juntos por las vigas, dando lugar a un panel perforado de gran tamaño que se rellena con arcilla para conformar los muros. El origen de estas construcciones en Brasil procede del Noroeste del país por la llegada de portugueses.

## T

**Tapia** sirve para nombrar a un muro, una parte de muro, a un módulo o unidad constructiva. Además se ha utilizado como unidad de longitud (especialmente en lo referente a la altura), superficie, o volumen.

**Tapial** es la cimbra o encofrado propio de la tapiería.

**Técnica** es el método para adaptarse al medio natural a partir de un entorno artificial que nos hace ser únicos con capacidad para actuar en el entorno y poder sobrevivir, así poder alcanzar la naturaleza del ser humano -el dominar-, dominar el ambiente, dominar



otros seres vivos y hasta otros seres humanos.

**Tecnología** derivar lo real de lo posible a través de la selección de la variante óptima, la búsqueda sistemática de lo óptimo dentro de un campo de posibilidades.

**Tecnologías apropiadas** son la forma de hacer, aprender y resolver problemas que adapten las habilidades de las personas que desempeñan en sus labores cotidianas, para evitar la importación de modelos o tecnologías costosas que no se adecuen a las necesidades de las regiones y que son parte de un sistema de producción masiva que se basa en tecnologías soportadas por gran cantidad de capital.

**Tierra compactada o apisonada** es un procedimiento por medio del cual se construyen edificaciones en tierra, sin sostenerlas con piezas de madera u otros materiales. Este método consiste en apisonar tierra preparada capa por capa, apisonada de esta manera, la tierra se liga, toma consistencia y forma una masa homogénea, que puede ser elevada hasta la altura necesaria.

## V

**Vivir** existir uno con cierta permanencia en un lugar o en un estado o condición.

# ANEXOS

# ANEXO 1

**Mesopotamia:** ciudades-estado contemporáneas:  
7000 a.N.E.: restos de cimientos de tapia

- 1 Uruk (2100 a.N.E.)
- 2 Ur (2100 a.N.E.)
- 3 Lagash (2100 a.N.E.)
- 4 Babilonia (1800 a.N.E.)
- 5 Jérico (1500 a.N.E.)
- 6 Choga Zambil (1200 a.N.E.)
- 7 Susa (550 a.N.E.)

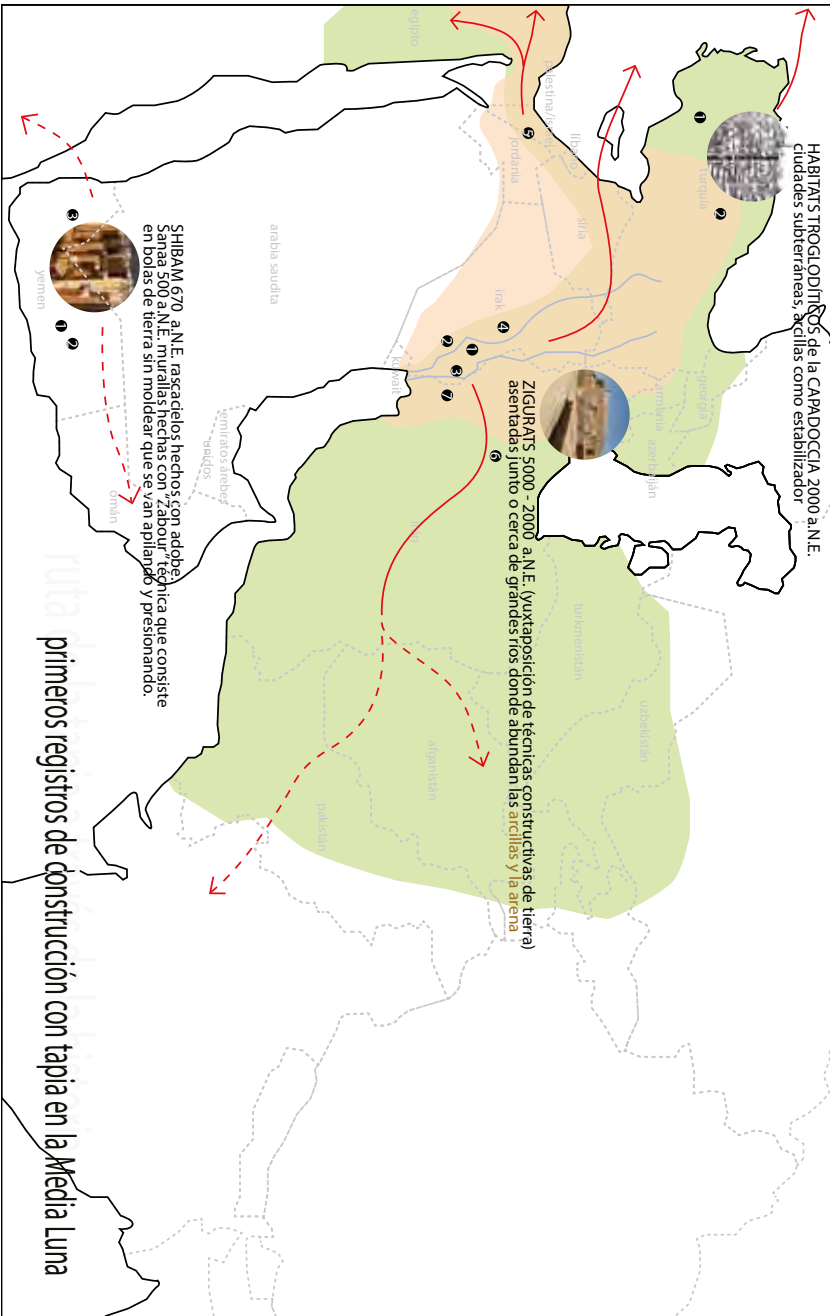
**Hittitas, Frigios y Persas**

- 1 Catalhöyük (6500 a.N.E.)
- 2 Capadocia (2000 a.N.E.)

**Sabeos**

- 1 Shiham (670 a.N.E.)
- 2 Tarim (600 a.N.E.)
- 3 Sanaa (500 a.N.E.)

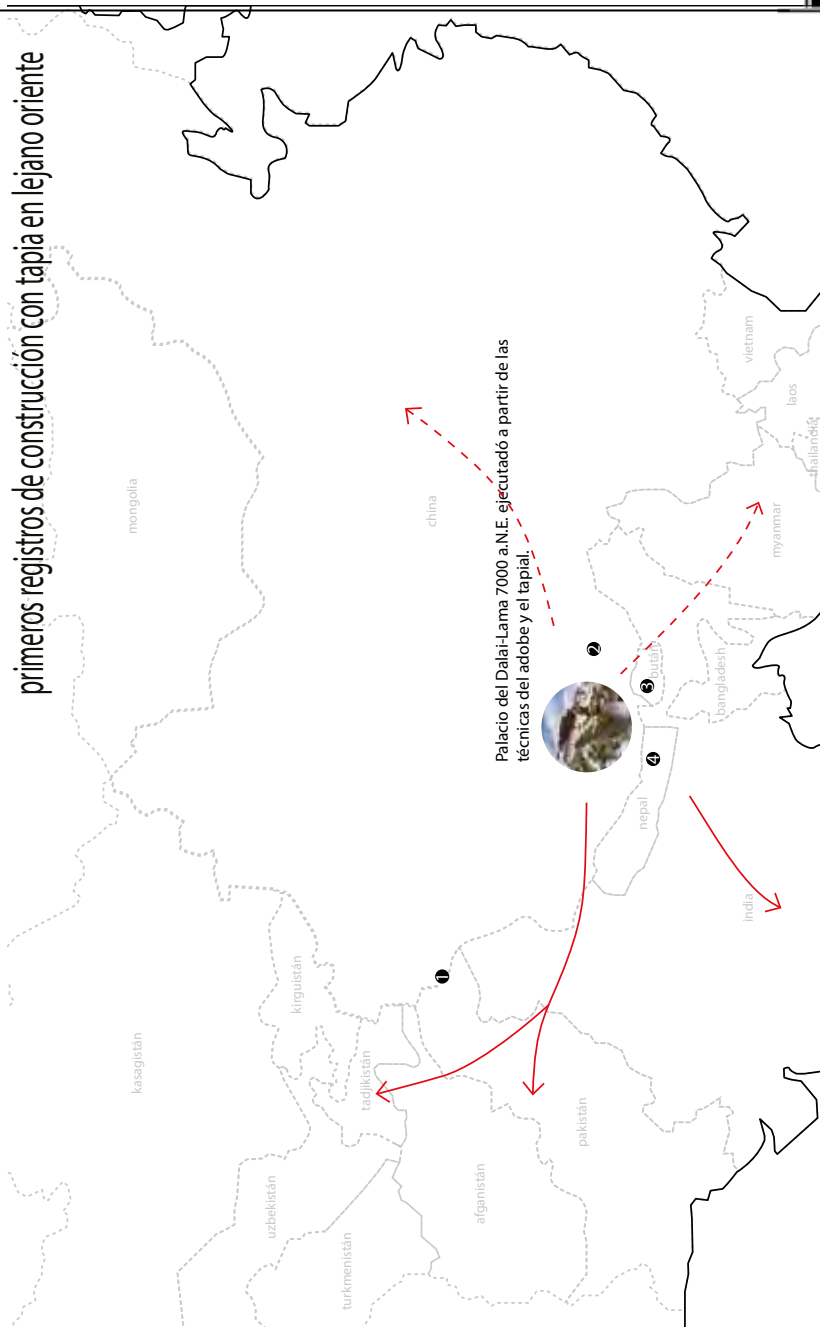
- Rutas de la tapia
- - - Hipotéticas rutas de la tapia
- Mesopotamia
- Imperio Persa



< Anexo 1. Primeros registros de construcción con tapia en medio oriente.

# ANEXO 2

## primeros registros de construcción con tapia en lejano oriente



Palacio del Dalai-Lama 7000 a.N.E. ejecutado a partir de las técnicas del adobe y el tapial.

### Himalaya

- 1 Karakoram (7000 a.N.E.)
- 2 Tibet (7000 a.N.E.)
- 3 Butan (a.N.E.)
- 4 Nepal (a.N.E.)

- Rutas de la tapia
- - - Hipotéticas rutas de la tapia

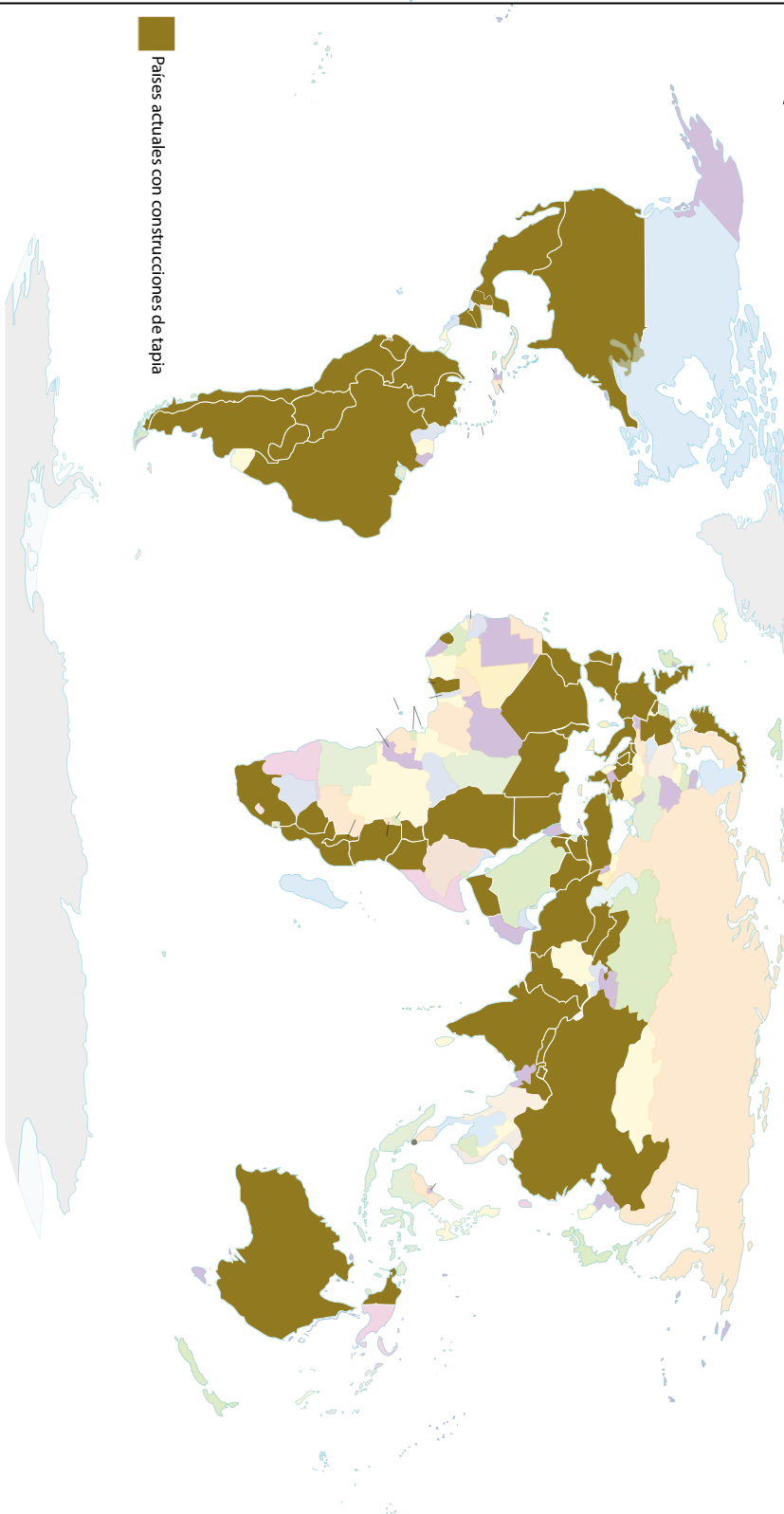
Anexo 2. >  
 Primeros registros de construcción con tapia en lejano oriente.





# ANEXO 5

Países actuales con construcciones de tapia



< Anexo 5. Países donde se construye actualmente con tapia


# ANEXO 6

## ATCC

Product Sheet

### *Bacillus subtilis* subsp. *subtilis* (ATCC® 6051™)

Please read this FIRST




Storage Temp.

**Frozen: -80°C or colder**

**Freeze-Dried: 2°C to 8°C**

**Live Culture: See Propagation Section**

---



Biosafety Level

**1**

#### Intended Use

This product is intended for research use only. It is not intended for any animal or human therapeutic or diagnostic use.

#### Citation of Strain

If use of this culture results in a scientific publication, it should be cited in that manuscript in the following manner: *Bacillus subtilis* subsp. *subtilis* (ATCC® 6051™)

American Type Culture Collection  
PO Box 1549  
Manassas, VA 20108 USA  
[www.atcc.org](http://www.atcc.org)

800.638.6597 or 703.365.2700  
Fax: 703.365.2750  
Email: [Tech@atcc.org](mailto:Tech@atcc.org)

Or contact your local distributor

Page 1 of 2

calpupan.chiliarq@gmail.com  
jgutierrez.eco@gmail.com



#### Description

**Designation:** Marburg strain [ATCC 6051-U, CCM 2216, CCRC 10255, CCUG 163B, CFBP 4228, CIP 52.65, DSM 10, IAM 12118, IFO 12210, IFO 13719, IFO 16412, IMET 10758, JCM 1465, LMG 7135, NCAIM B.01095, NCCB 32009, NCCB 53016, NCCB 70064, NCFB 1769, NCIB 3610, NCTC 3610, NRRL B-4219, NRS 1315, NRS 744, VKM B-501]

**Deposited Name:** *Bacillus subtilis* (Ehrenberg) Cohn

**Product Description:** Type strain. Bacteriophage host.



#### Propagation

##### Medium

ATCC® Medium 3: Nutrient agar or nutrient broth

##### Growth Conditions

**Temperature:** 30°C

**Atmosphere:** Aerobic

##### Propagation Procedure

1. Open the freeze-dried vial according to enclosed instructions.
2. Using a single tube of #3 broth (5 to 6 mL), withdraw approximately 0.5 to 1.0 mL with a Pasteur or 1.0 mL pipette. Rehydrate the entire pellet.
3. Aseptically transfer this aliquot back into the broth tube. Mix well.
4. Use several drops of the suspension to inoculate a #3 slant, and/or plate.
5. Incubate all tubes and plates at 30°C for 24 hours.



#### Notes

On #3 agar two colony types are observed. 1) Circular, entire, low convex, shiny and opaque. 2) Irregular, rough, flat and opaque. The two colony types by 16S sequencing are identical genus and species. Growth is observed after 24 hours. Growth may be poor in broth incubated statically, but heavy on agar.

This strain has been cited for use in bacterial resistance testing of latex paint (Machemer WE, 1979), blood screening for phenylketonuria (Guthrie R, 1961), and accumulation of metal ions from aqueous solutions (Brierley JA *et al.*, 1990). This strain has also been cited as able to produce isoprene (Kuzma J *et al.*, 1995). Available as Uniplus™ ATCC® 6051-U™

Additional information on this culture is available on the ATCC® web site at [www.atcc.org](http://www.atcc.org).



#### References

References and other information relating to this product are available online at [www.atcc.org](http://www.atcc.org).



#### Biosafety Level: 1

Appropriate safety procedures should always be used with this material. Laboratory safety is discussed in the current publication of the *Biosafety in Microbiological and Biomedical Laboratories* from the U.S. Department of Health and Human Services Centers for Disease Control and Prevention and National Institutes for Health.

#### ATCC Warranty

The viability of ATCC® products is warranted for 30 days from the date of shipment, and is valid only if the product is stored and cultured according to the information included on this product information sheet. ATCC lists the media formulation that has been found to be effective for this strain. While other, unspecified media may also produce satisfactory results, a change in media or the absence of an additive from the ATCC recommended media may affect recovery, growth and/or function of this strain. If an alternative medium formulation is used, the ATCC warranty for viability is no longer valid.

#### Disclaimers

This product is intended for laboratory research purposes only. It is not intended for use in humans.

While ATCC uses reasonable efforts to include accurate and up-to-date information on this product sheet, ATCC makes no warranties or representations as to its accuracy. Citations from scientific literature and patents are provided for informational purposes only. ATCC does not warrant that such information has






Product Sheet


## ***Bacillus cereus* (ATCC® 14579™)**

Please read this **FIRST**



Storage Temp.  
**Frozen: -80°C or colder**  
**Freeze-Dried: 2°C to 8°C**  
**Live Culture: See Propagation Section**

---



Biosafety Level  
**1**

### Intended Use

This product is intended for research use only. It is not intended for any animal or human therapeutic or diagnostic use.

### Citation of Strain

If use of this culture results in a scientific publication, it should be cited in that manuscript in the following manner: *Bacillus cereus* (ATCC® 14579™)

American Type Culture Collection  
PO Box 1549  
Manassas, VA 20108 USA  
[www.atcc.org](http://www.atcc.org)

800.638.6597 or 703.365.2700  
Fax: 703.365.2750  
Email: [Tech@atcc.org](mailto:Tech@atcc.org)

Or contact your local distributor

Page 1 of 2



### Description

# ANEXO 7

**Designation:** [BCRC 10603, CCM 2010, CCUG 7414, CIP 66.24, DSM 31, HAMB1 1887, HAMB1 1905, IAM 12605, JCM 2152, LMG 6923, NBRC 15305, NCCB 75008, NCIMB 9373, NCTC 2599, NRRL B-3711, VKM B-504]

**Deposited Name:** *Bacillus cereus* Frankland and Frankland

**Product Description:** Type strain. Produces restriction endonuclease *Bce14579I*. Genome sequenced strain.



### Propagation

#### Medium

ATCC® Medium 3: Nutrient agar or nutrient broth

#### Growth Conditions

**Temperature:** 30°C

**Atmosphere:** Aerobic

#### Propagation Procedure

1. Open vial according to enclosed instructions.
2. Using a single tube of #3 broth (5 to 6 mL), withdraw approximately 0.5 to 1.0 mL with a Pasteur or 1.0 mL pipette. Rehydrate the entire pellet.
3. Aseptically transfer this aliquot back into the broth tube. Mix well.
4. Use several drops of the suspension to inoculate a #3 agar slant and/or plate.
5. Incubate the tubes and plate at 30°C for 24 hours.



### Notes

Purified genomic DNA of this strain is available as ATCC®14579D-5™.

Additional information on this culture is available on the ATCC® web site at [www.atcc.org](http://www.atcc.org).



### References

References and other information relating to this product are available online at [www.atcc.org](http://www.atcc.org).



### Biosafety Level: 1

Appropriate safety procedures should always be used with this material. Laboratory safety is discussed in the current publication of the *Biosafety in Microbiological and Biomedical Laboratories* from the U.S. Department of Health and Human Services Centers for Disease Control and Prevention and National Institutes for Health.

### ATCC Warranty

The viability of ATCC® products is warranted for 30 days from the date of shipment, and is valid only if the product is stored and cultured according to the information included on this product information sheet. ATCC lists the media formulation that has been found to be effective for this strain. While other, unspecified media may also produce satisfactory results, a change in media or the absence of an additive from the ATCC recommended media may affect recovery, growth and/or function of this strain. If an alternative medium formulation is used, the ATCC warranty for viability is no longer valid.

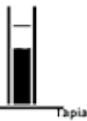
### Disclaimers

This product is intended for laboratory research purposes only. It is not intended for use in humans.

While ATCC uses reasonable efforts to include accurate and up-to-date information on this product sheet, ATCC makes no warranties or representations as to its accuracy. Citations from scientific literature and patents are provided for informational purposes only. ATCC does not warrant that such information has been confirmed to be accurate.

This product is sent with the condition that you are responsible for its safe storage, handling, and use. ATCC is not liable for any damages or injuries arising from receipt and/or use of this product. While reasonable effort is made to ensure authenticity and reliability of strains on deposit, ATCC is not liable for damages arising from the misidentification or misrepresentation of cultures.


Please see the enclosed Material Transfer Agreement (MTA) for further details regarding the use of this product. The MTA is also available on our Web site at [www.atcc.org](http://www.atcc.org)



Product Sheet


# *Sporosarcina pasteurii* (ATCC® 11859™)

Please read this FIRST



Storage Temp.  
**Frozen: -80°C or colder**  
**Freeze-Dried: 2°C to 8°C**  
**Live Culture: See Propagation Section**

---



Biosafety Level  
**1**

### Intended Use

This product is intended for research use only. It is not intended for any animal or human therapeutic or diagnostic use.

### Citation of Strain

If use of this culture results in a scientific publication, it should be cited in that manuscript in the following manner: *Sporosarcina pasteurii* (ATCC® 11859™)

American Type Culture Collection  
PO Box 1549  
Manassas, VA 20108 USA  
[www.atcc.org](http://www.atcc.org)

800.638.6597 or 703.365.2700  
Fax: 703.365.2750  
Email: [Tech@atcc.org](mailto:Tech@atcc.org)

Or contact your local distributor



### Description

**Designation:** [22, DSM 33, NCIB 8219, NCIB 8841, NCTC 4822, NRS 673, NRS 929]

**Deposited Name:** *Bacillus pasteurii* (Miquel) Chester

**Product Description:** Type strain. Produces urease.



### Propagation

#### Medium

ATCC® Medium 1376: *Bacillus pasteurii* NH4-YE medium

#### Growth Conditions

**Temperature:** 30°C

**Atmosphere:** Aerobic

#### Propagation Procedure

1. Open vial according to enclosed instructions.
2. Using a single tube of #1376 broth (5 to 6 mL), withdraw approximately 0.5 to 1.0 mL with a Pasteur or 1.0 mL pipette. Rehydrate the entire pellet.
3. Transfer this aliquot back into the broth tube. Mix well.
4. Transfer 1.0 mL of the suspension to a second tube of broth. From the second tube, use several drops to inoculate a slant and/or plate if desired. The cryoprotectant used in the freeze-drying procedure may inhibit growth in the primary tube, hence the necessity for immediate transfer.
5. Incubate all tubes and plate at 30°C for 48 to 72 hours. If growth is not heavy on agar medium, make additional transfers from the incubated broth at this time.



### Notes

Two colony types seen on #1376 agar: a) smooth, circular, entire, and opaque; and b) slightly irregular, mottled, translucent, and slightly undulate.

Additional information on this culture is available on the ATCC® web site at [www.atcc.org](http://www.atcc.org).



### References

References and other information relating to this product are available online at [www.atcc.org](http://www.atcc.org).



### Biosafety Level: 1

Appropriate safety procedures should always be used with this material. Laboratory safety is discussed in the current publication of the *Biosafety in Microbiological and Biomedical Laboratories* from the U.S. Department of Health and Human Services Centers for Disease Control and Prevention and National Institutes for Health.

### ATCC Warranty

The viability of ATCC® products is warranted for 30 days from the date of shipment, and is valid only if the product is stored and cultured according to the information included on this product information sheet. ATCC lists the media formulation that has been found to be effective for this strain. While other, unspecified media may also produce satisfactory results, a change in media or the absence of an additive from the ATCC recommended media may affect recovery, growth and/or function of this strain. If an alternative medium formulation is used, the ATCC warranty for viability is no longer valid.

### Disclaimers

This product is intended for laboratory research purposes only. It is not intended for use in humans.

While ATCC uses reasonable efforts to include accurate and up-to-date information on this product sheet, ATCC makes no warranties or representations as to its accuracy. Citations from scientific literature and patents are provided for informational purposes only. ATCC does not warrant that such information has been confirmed to be accurate.


This product is sent with the condition that you are responsible for its safe storage, handling, and use. ATCC is not liable for any damages or injuries arising from receipt and/or use of this product. While reasonable effort is made to insure authenticity and reliability of strains on deposit, ATCC is not liable for



Product Sheet


## *Myxococcus xanthus* (ATCC® 25232™)

Please read this FIRST



Storage Temp.  
**Frozen: -80°C or colder**  
**Freeze-Dried: 2°C to 8°C**  
**Live Culture: See Propagation Section**

---



Biosafety Level  
**1**

### Intended Use

This product is intended for research use only. It is not intended for any animal or human therapeutic or diagnostic use.

### Citation of Strain

If use of this culture results in a scientific publication, it should be cited in that manuscript in the following manner: *Myxococcus xanthus* (ATCC® 25232™)

American Type Culture Collection  
PO Box 1549  
Manassas, VA 20108 USA  
[www.atcc.org](http://www.atcc.org)

800.638.6597 or 703.365.2700  
Fax: 703.365.2750  
Email: [Tech@atcc.org](mailto:Tech@atcc.org)

Or contact your local distributor

Page 1 of 2



### Description

**Designation:** FB [ATCC 19368, IFO 13542, NCIB 9412]

**Deposited Name:** *Myxococcus xanthus* Beebe

**Product Description:** Type strain. Produces *Myxococcus xanthus* antibiotic TA.



### Propagation

#### Medium

ATCC® Medium 432: SP medium

#### Growth Conditions

**Temperature:** 30°C

**Atmosphere:** Aerobic

#### Propagation Procedure

1. Open vial according to enclosed instructions.
2. Using a single tube of #432 broth (5 to 6 mL), withdraw approximately 0.5 to 1.0 mL with a Pasteur or 1.0 mL pipette. Rehydrate the entire pellet.
3. Aseptically transfer this aliquot back into the broth tube. Mix well.
4. Use several drops of the suspension to inoculate a #432 agar slant and/or plate. Incubate the tubes and plate at 30°C for 5-7 days.



### Notes

This organism grows very slowly and does not form discrete colonies on plates. A thin film is seen that is orange/yellow in color.

Culture may need to be grown in broth first and then slants and plates may be inoculated.

Additional information on this culture is available on the ATCC web site at [www.atcc.org](http://www.atcc.org).



### References

References and other information relating to this product are available online at [www.atcc.org](http://www.atcc.org).



### Biosafety Level: 1

Appropriate safety procedures should always be used with this material. Laboratory safety is discussed in the current publication of the *Biosafety in Microbiological and Biomedical Laboratories* from the U.S. Department of Health and Human Services Centers for Disease Control and Prevention and National Institutes for Health.

### ATCC Warranty

The viability of ATCC® products is warranted for 30 days from the date of shipment, and is valid only if the product is stored and cultured according to the information included on this product information sheet. ATCC lists the media formulation that has been found to be effective for this strain. While other, unspecified media may also produce satisfactory results, a change in media or the absence of an additive from the ATCC recommended media may affect recovery, growth and/or function of this strain. If an alternative medium formulation is used, the ATCC warranty for viability is no longer valid.

### Disclaimers

This product is intended for laboratory research purposes only. It is not intended for use in humans.

While ATCC uses reasonable efforts to include accurate and up-to-date information on this product sheet, ATCC makes no warranties or representations as to its accuracy. Citations from scientific literature and patents are provided for informational purposes only. ATCC does not warrant that such information has been confirmed to be accurate.

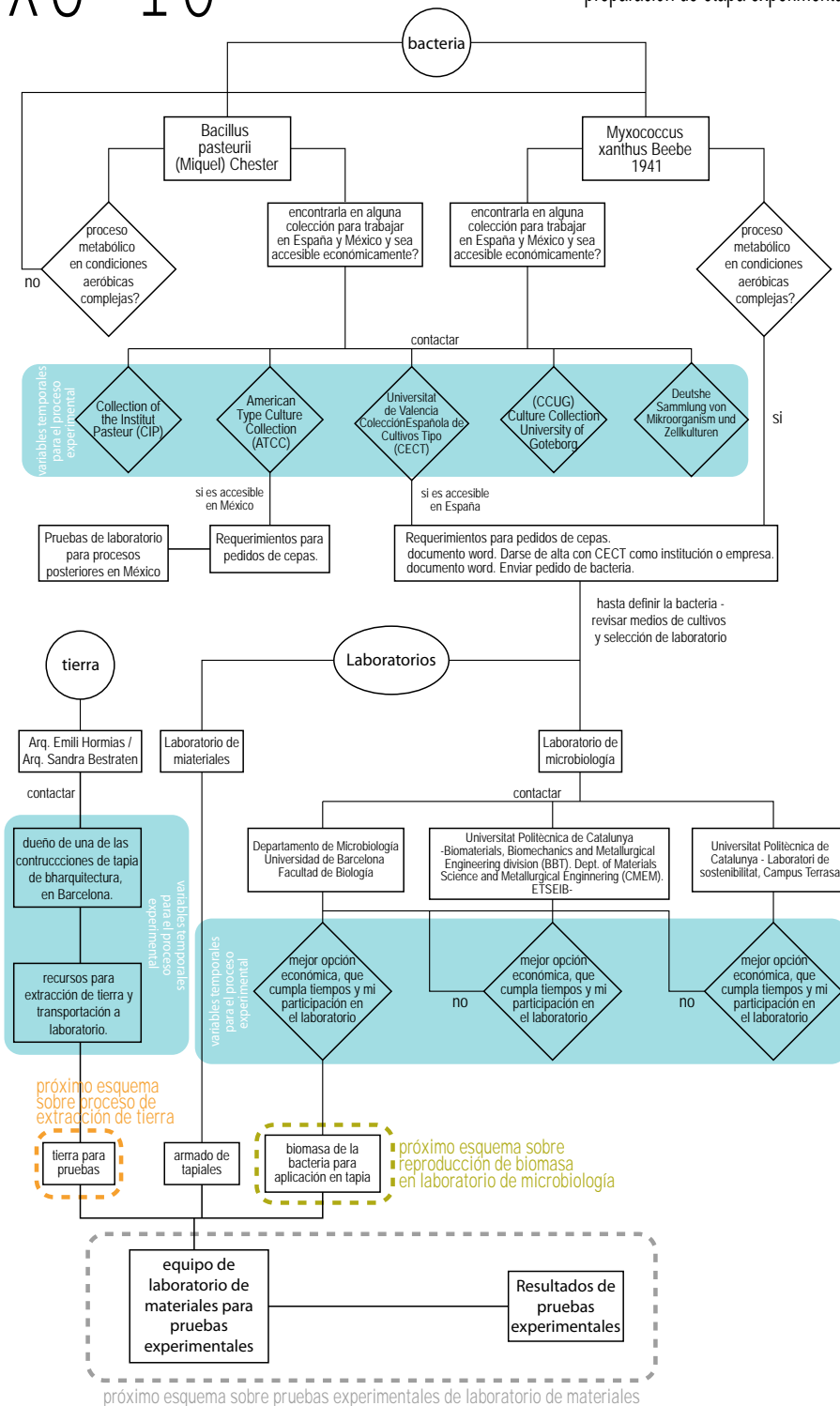
This product is sent with the condition that you are responsible for its safe storage, handling, and use. ATCC is not liable for any damages or injuries arising from receipt and/or use of this product. While reasonable effort is made to ensure authenticity and reliability of strains on deposit, ATCC is not liable for damages arising from the misidentification or misrepresentation of cultures.

Please see the enclosed Material Transfer Agreement (MTA) for further details regarding the use of this product. The MTA is also available on our Web site at [www.atcc.org](http://www.atcc.org)

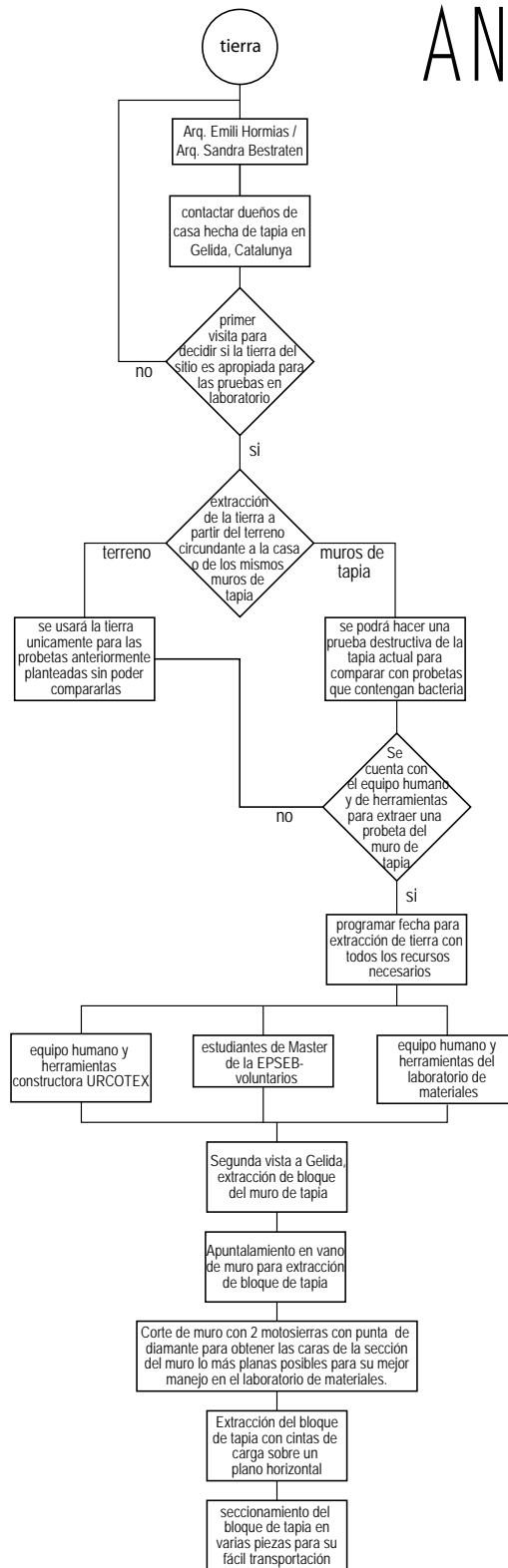
# ANEXO 9

# ANEXO 10

esquema de gestión para preparación de etapa experimental



# ANEXO 11





# 12

COLECCIÓN ESPAÑOLA DE CULTIVOS TIPO (CECT)  
PETICIÓN DE CEPAS / STRAINS ORDER



Los campos indicados con asterisco (\*) son obligatorios / All fields marked with asterisk (\*) must be filled

Fecha de Pedido / Order Date: 11/11/2015

\*Nº de Cliente / Customer No: 1606

Nº de Pedido / Order No:

Usuario de las cepas / Strains user:

\*Nombre / Name: Juan Jaime Gutiérrez

\*e-mail: laboratori.materials@upc.edu

\*Telf.: 934016234

*Nº CECT CECT No	Designación de la cepa Strain designation	Cantidad Quantity	*Presentación <sup>1</sup> Delivery form <sup>1</sup>	*Uso <sup>2</sup> Use <sup>2</sup>
422	Myxococcus xanthus Beebe 1941	1	Cepa liofilizada	I

<sup>1</sup>Presentación: Liófilo, Cultivo Activo, Acticult 3R, CECT 1R, CECT 6R, CECT 6R cuantificado, DNA genómico

<sup>1</sup>Delivery form: Freeze-dried, Active growth, Acticult 3R, CECT 1R, CECT 6R, Quantified CECT 6R, Genomic DNA

<sup>2</sup>Uso: Control de Calidad (CC), Docencia (D), Taxonomía (T), Investigación (I), Investigación y Desarrollo (I+D)

<sup>2</sup>Use: Quality Control (QC), Teaching (T), Taxonomy (Tx), Research (R), Research & Development (R&D)

\*Datos de facturación / Invoice data:

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA (UPC)  
NIF: Q-0818003-F  
CARRER JORDI GIRONA SALGADO, 31  
08034 BARCELONA

Dirección de envío de las cepas (Si diferente de la dirección de facturación)

Delivery address (only if different to the invoice data):

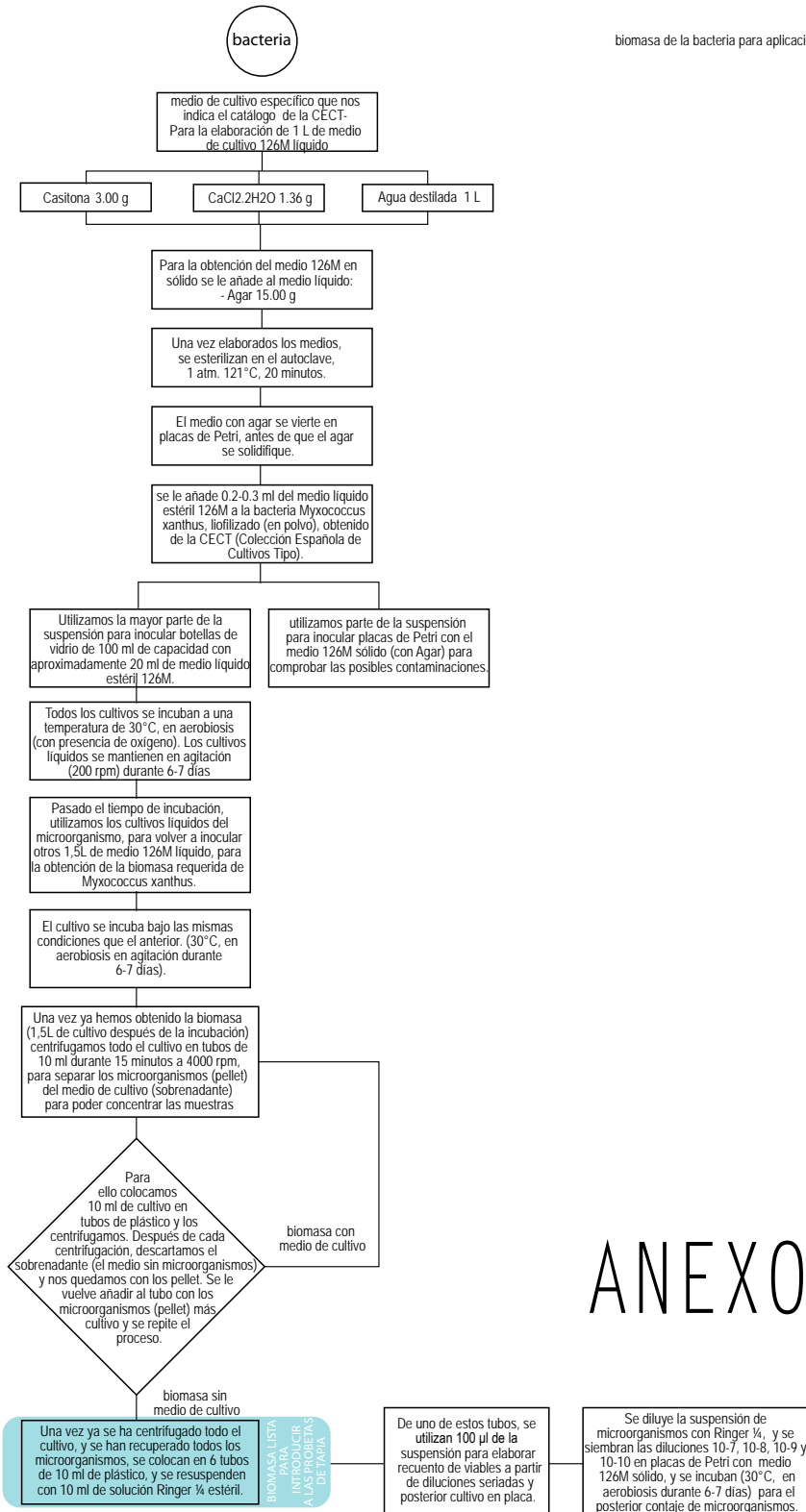
ATT. ANTONIA NAVARRO  
LABORATORI DE MATERIALS DE L'EPSEB  
AVINGUDA DOCTOR GREGORIO MARAÑON, 44-50  
08028 BARCELONA

Observaciones / Comments:

\*El usuario acepta el MTA de la CECT (hoja 2) / The user accepts the CECT MTA (page 3)

Enviar por correo electrónico a [pedidos@cect.org](mailto:pedidos@cect.org) / Send by e-mail to [orders@cect.org](mailto:orders@cect.org)

Ed\_01\_20150729



# ANEXO 13

# CASOS ANÁLOGOS DE COSNTRUCCIONES DE TAPIA SON SUS PORCENTAJES DE ESTABILIZADORES TRADICIONALES

## 5 Análogos

### Análogo 1

#### 5.1 Taller de arquitectura-Mauricio Rocha Escuela de artes plasticas de Oaxaca

Oaxaca, México 2008

Porcentaje de estabilizador:  
cemento 15% de la mezcla  
**falso estructural**



## ANEXO 14

- 1 Acceso principal
- 2 Galería
- 3 Administración
- 4 Biblioteca
- 5 Taller
- 6 Pabellón
- 7 Aula teatro
- 8 Área de espar
- 9 Espacio verde
- 10 Espacio de arte
- 11 Espacio de arte
- 12 Espacio de arte



## Análogo 2

5.2

### Gabriel Pernalete Blanco, Fernando Tepichin Jasso. Casa Estudio La Purísima.

Querétaro, México

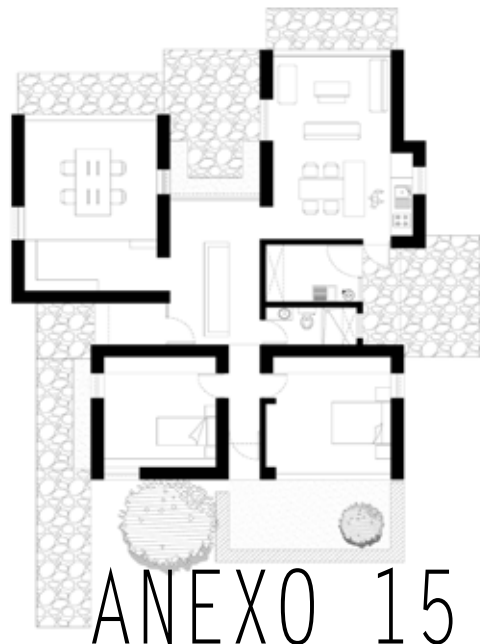
**Porcentaje de estabilizador:  
cemento 8% de la mezcla**



El proyecto se desarrolló respetando el contexto natural, igualmente se realizó un estudio Bioclimático para aprovechar mejor el aire, la orientación solar y las vistas hacia el paisaje. La casa se compone sobre todo de tierra apisonada, un material que proporciona masa térmica deseable y prácticamente no tiene efectos secundarios ambientales y está en combinación con el concreto armado.

La orientación se resolvió en un eje este-oeste, tratando de controlar la ganancia de calor al colocar mínimas aberturas en las fachadas este y oeste. Los espacios principales se orientan hacia el sur, y hacia grandes ventanales que se abren a los patios y al paisaje, contando con aleros pronunciados que protegen del sol de verano y permiten la entrada del sol en invierno para lograr el calentamiento pasivo.

A diferencia del análogo 1, aunque los ventanales sean de grandes dimensiones las proporciones de estabilizador son correctas, por lo cual no sufrió fallas.



**Análogo 3**

5.3

Enrique Antelo Tudela, Santiago Sánchez Iglesias,  
Cristóbal Crespo González y Antonio Raya de Blas

**PISCINA EN TORO**

Toro (Zamora), España

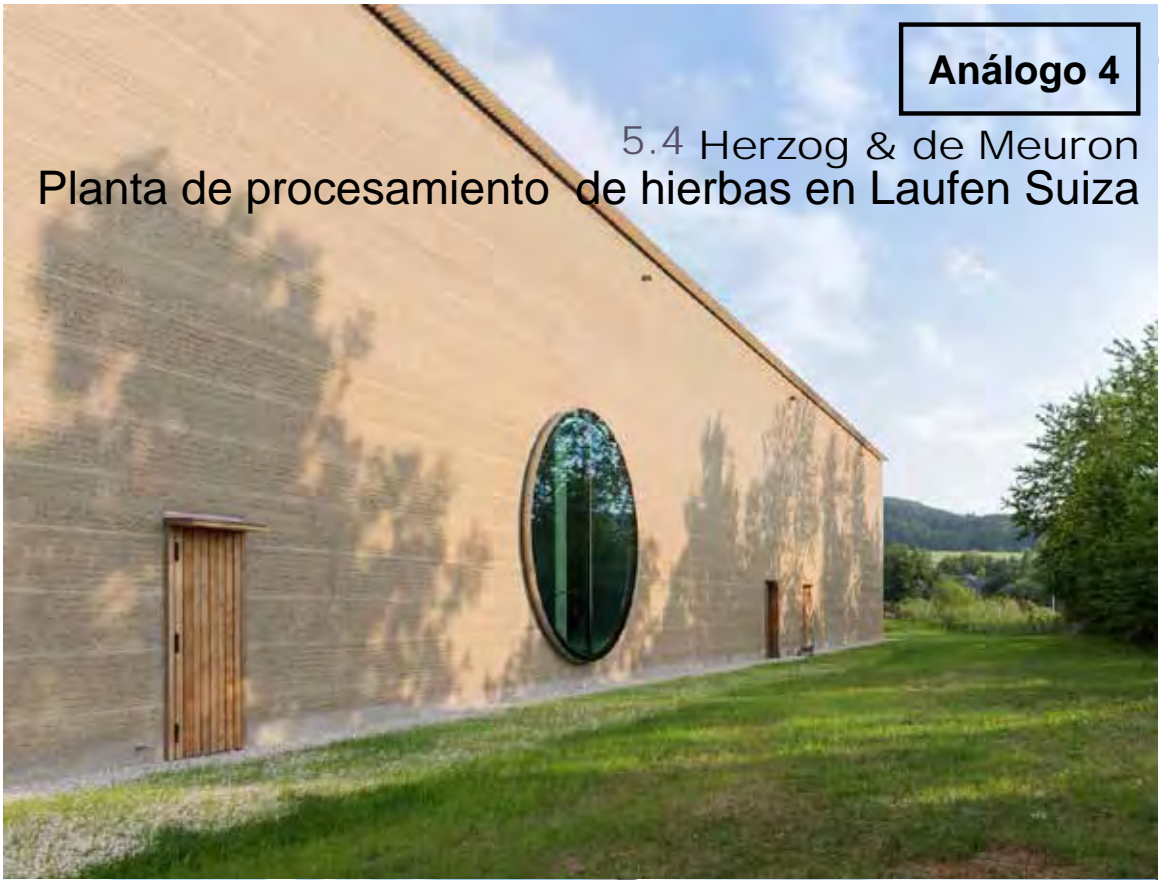
**Porcentaje de estabilizador:  
cemento blanco 4% de la mezcla  
2% de cal apagada**



ANEXO 16

Análogo 4

5.4 Herzog & de Meuron  
Planta de procesamiento de hierbas en Laufen Suiza



ANEXO 17

**Porcentaje de estabilizador:  
6% de cal apagada**

**Análogo 5**

5.5 Gestión y vinculación del Taller Max Cetto de la Universidad Nacional Autónoma de México y el Politécnico de Torino  
**Centro Microregional de Tecnologías sustentables**  
Pensamiento Liberal Mexicano,  
Oaxaca , México



Muros de 0.40 m de espesor con no más de un vano por lado.



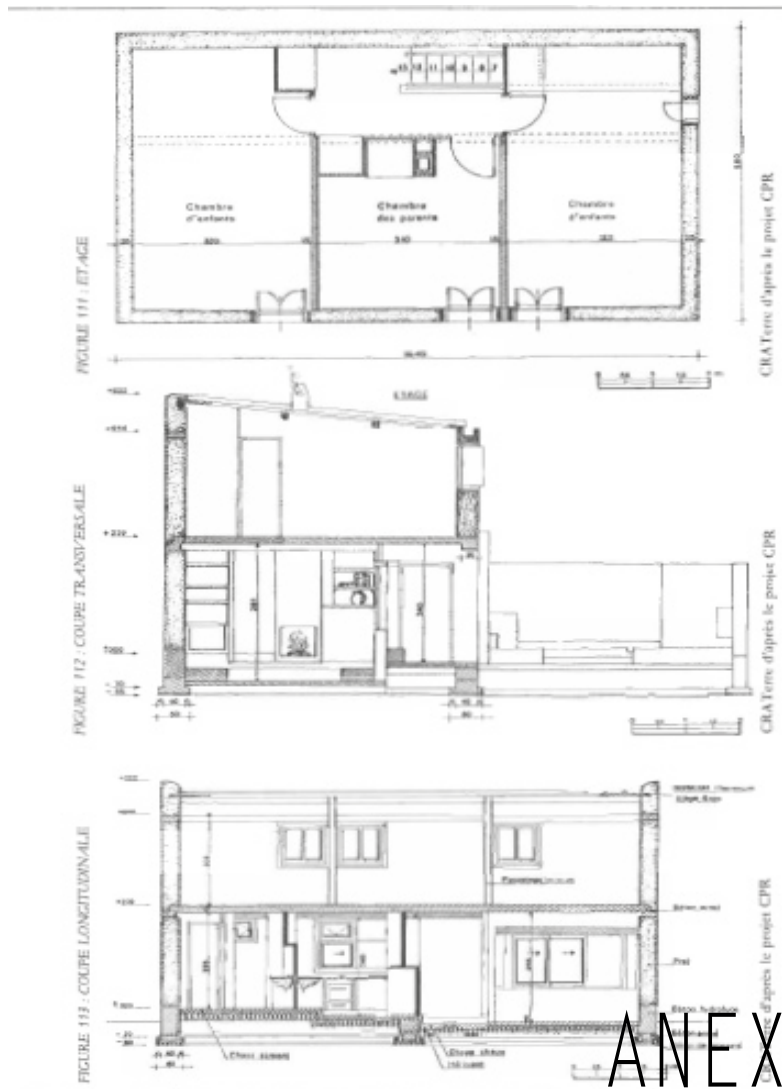
**ANEXO 18**

**Análogo 6**

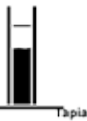
5.6 Houben H., Belmans D.  
**Le village agricole.**

Mostefa Ben-Brahim

**Porcentaje de estabilizador:  
 cemento 6.2% de la mezcla**



ANEXO 19



**Análogo 1**

Taller de arquitectura-Mauricio Rocha  
Escuela de artes plasticas de Oaxaca

Oaxaca, México 2008

**Porcentaje de estabilizador:  
cemento 15% de la mezcla  
fallo estructural**

**Análogo 2**

Gabriel Pernalete Blanco, Fernando Tepichin Jasso.  
Casa Estudio La Purísima.

Querétaro, México

**Porcentaje de estabilizador:  
cemento 8% de la mezcla**

**Análogo 3**

Enrique Antelo Tudela, Santiago Sánchez Iglesias,  
Cristóbal Crespo González y Antonio Raya de Blas  
PISCINA EN TORO

Toro (Zamora), España

**Porcentaje de estabilizador:  
cemento blanco 4% de la mezcla  
2% de cal apagada**

**Análogo 4**

Herzog & de Meuron  
Planta de procesamiento de hierbas en Laufen Suiza

**No se encontraron los datos**

**Análogo 5**

Gestión y vinculación del Taller Max Cetto de la Universidad  
Nacional Autónoma de México y el Politécnico de Torino  
Centro Microregional de  
Tecnologías sustentables

Pensamiento Liberal Mexicano, Oaxaca , México

**Porcentaje de estabilizador:  
6% de cal apagada**

**Análogo 6**

Houben H.,Belmans D.  
Le village agricole.

Mostefa Ben-Brahim

**Porcentaje de estabilizador:  
cemento 6.2% de la mezcla**

# ANEXO 20

**Análogo 1**

Taller de arquitectura-Mauricio Rocha  
Escuela de artes plasticas de Oaxaca  
Oaxaca, México 2008

**Porcentaje de estabilizador:**  
cemento 15% de la mezcla  
fallo estructural

El porcentaje de cemento es muy alto excediendo la humedad necesaria de la tierra, ocasionando la ruptura de los muros de tapia

**Análogo 2**

Gabriel Pernalete Blanco, Fernando Tepichin Jasso.  
Casa Estudio La Purísima.  
Querétaro, México

**Porcentaje de estabilizador:**  
cemento 8% de la mezcla

**Análogo 3**

Enrique Antelo Tudela, Santiago Sánchez Iglesias,  
Cristóbal Crespo González y Antonio Raya de Blas  
PISCINA EN TORO

Toro (Zamora), España  
**Porcentaje de estabilizador:**  
cemento blanco 4% de la mezcla  
2% de cal apagada

**Análogo 5**

Gestión y vinculación del Taller Max Cetto de la Universidad  
Nacional Autónoma de México y el Politécnico de Torino  
Centro Microregional de  
Tecnologías sustentables

Pensamiento Liberal Mexicano, Oaxaca , México  
**Porcentaje de estabilizador:**  
6% de cal apagada

**Análogo 6**

Houben H.,Belmans D.  
Le village agricole.  
Mostefa Ben-Brahim

**Porcentaje de estabilizador:**  
cemento 6.2% de la mezcla

- GRAVILLA : +- 8 a 12%
- ARENA: +- 50 a 54%
- LIMO: +- 17 a 21%
- ARCILLA: +- 16 a 20%

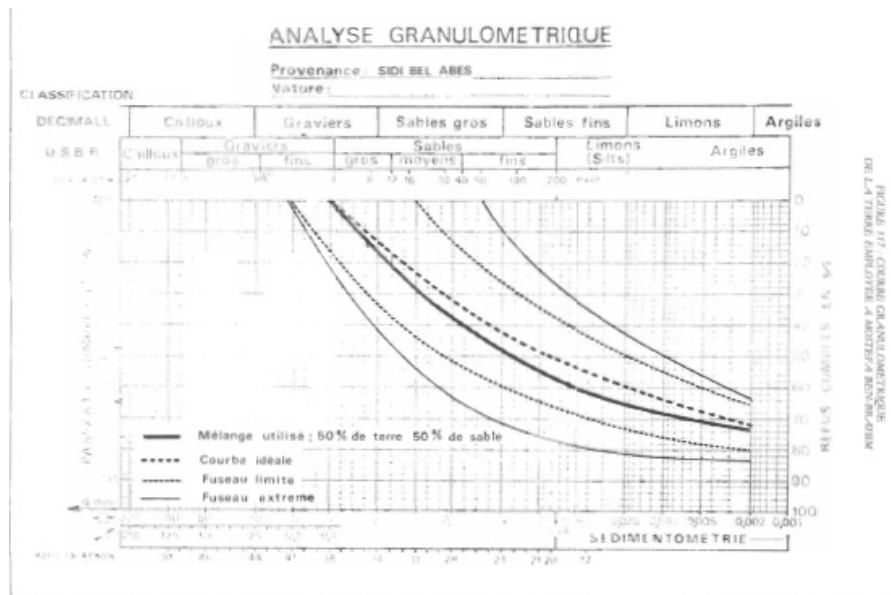
# ANEXO 21

- GRAVILLA : +- 10 a 12%
- ARENA: +- 45 a 49%
- LIMO: +- 21 a 25%
- ARCILLA: +- 16 a 20%

- GRAVILLA : +- 10 a 12%
- ARENA: +- 45 a 49%
- LIMO: +- 21 a 25%
- ARCILLA: +- 16 a 20%

- GRAVILLA : +- 10 a 12%
- ARENA: +- 50 a 54%
- LIMO: +- 16 a 20%
- ARCILLA: +- 15 a 19%

- GRAVILLA : +- 6 a 10%
- ARENA: +- 45 a 49%
- LIMO: +- 19 a 23%
- ARCILLA: +- 17 a 21%



# ANEXO 22 [ TAPIA ]

¿Cómo construir tu casa?  
tierra una forma de autoconstrucción>>

## ¿Qué es la tapia?

La técnica constructiva que se conoce como tapia, tapial, suelo-cemento o tierra compactada, tradicional en México corresponde a un sistema constructivo monolítico a partir de un método de compactación de tierra. Este consiste en la construcción de muros a partir de tierra cruda que rellenan un tapial (cimbra) con capas de tierra de 10 a 15 cm compactando cada una de ellas con un pisón. El tapial está compuesto por dos tableros paralelos separados, unidos por un travesaño con lo cual adquiere el nombre de muro de tapia. El muro de tierra, se conforma por apisonado dentro de un molde que se apoya sobre el mismo muro que se está ejecutando que sirve, a su vez, como único soporte de las actividades de montaje del encofrado, moldeo, desencofrado y traslado del molde hacia la siguiente posición de servicio.



## Proceso constructivo

### paso 1 cimentación

Se debe considerar una cimentación como en cualquier otro sistema constructivo tradicional, ya sea con una zapata corrida de piedra, concreto, etc. También se debe dejar un sobrecimiento donde desplante el muro de tierra para evitar que el muro tenga contacto directo con la humedad en caso de lluvias.



### paso 2 selección de la tierra

La tierra o suelo, es el material principal y de sus propiedades depende en gran medida el resultado. La tierra de mejor calidad es aquella derivada de rocas como el granito, para una mejor durabilidad requiere de cuidado y de agregados necesarios para tener un mejor resultado. Para un menor costo de material y transportación es ideal la proximidad de la tierra al lugar donde se va construir. No todas las tierras son adecuadas para la construcción de tapia, se estima que la mejor tierra debe estar compuesta por: GRAVILLA: 0 a 15%, ARENA: 40 a 50%, LIMO: 35 a 20%, ARCILLA: 15 a 25%



### paso 3 estabilización

La función de la estabilización es incrementar la resistencia de un material al deterioro producido por la lluvia, el agua estancada, los sismos y la durabilidad en general. Los estabilizantes estructurales, que ayuda a la arcilla en su labor de cohesión para evitar modificaciones de la forma, tamaño y resistencia del muro. (cal, cemento, yeso, arena y arcilla, paja, etc.) Los impermeabilizantes, que mantienen fuera de contacto a la arcilla de la humedad. (Sabias de algunos vegetales como el cactus y el nopal, la orina de bovino o equino, el asfalto o chapopote y resinas.)



Contacto:  
jjgs07@hotmail.com / jgutierrez.eco@gmail.com

Juan Gutiérrez  
www.tapia.com

calpupan.chiliarq@gmail.com  
jgutierrez.eco@gmail.com



# ANEXO 23

## paso 4 colocación de tapial (cimbra)

- El tapial debe ser rígido para evitar pandeos durante el proceso de apisonado.
- Las piezas deben ser lo suficientemente ligeras como para poder ser transportadas por dos personas.
- El tapial debe ser fácil de ajustar en la dirección horizontal y vertical.
- Las variaciones en el espesor del muro deben ser controlables a través de una tolerancia específica.
- Es preferible que las esquinas no requieran tapiales especiales. Por ellos el tapial debe admitir variaciones en la longitud.



## paso 5 humedecimiento

Es necesario humedecer la tierra al mezclarla antes de compactarla, se debe tener cuidado de no mojar en un solo punto tratando de humedecer homogéneamente. Demasiada agua dará poca resistencia, menos durabilidad y será fácilmente atacable por la abrasión.



## paso 6 compactación

El tapial (cimbra) se rellena con capas de tierra entre 7 y 10 cm. Se utiliza un pisón manual o uno neumático para ir compactando la tierra. El trabajo del apisonado debe ser parejo para que no cause diferencias en la compactación de la tierra.



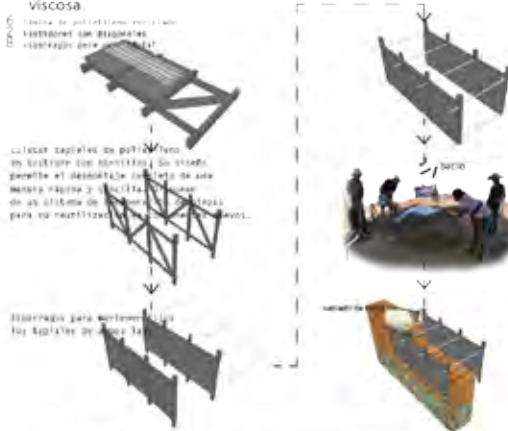
## paso 7 descimbrado y resane

Una vez compactada toda la hilera, se puede descimbrar. Se debe de realizar con cuidado en el sentido vertical del muro, de arriba hacia abajo o abajo hacia arriba e inmediatamente rellenar los huecos de los sujetadores, con la misma mezcla pero cuidando que sean solamente agregados finos y con un poco más de humedad, haciendo presión para que se adhieran al resto del muro.



## paso 8 sello

La tierra sin sellar (sin estabilizante impermeabilizante) aun cuando este estabilizada estructuralmente es vulnerable al viento y a la lluvia, por esto, se recomienda aplicar sellador que permita que el muro respire. La mezcla hecha de agua y nopal fermentado, produce un sello de consistencia viscosa.



Contacto:  
jjgs07@hotmail.com / jgutierrez.eco@gmail.com

Juan Gutiérrez  
www.tapia.com