



Casa abierta al tiempo
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
METROPOLITANA
Unidad Xochimilco

División de Ciencias y Artes del Diseño

Maestría en Ciencias y Artes del diseño

Sustentabilidad ambiental

Estudio y aplicación de los desechos del mezcal en bloques de tierra cruda, para construcción en el estado de Oaxaca

Idónea Comunicación de Resultados que para obtener el grado de maestría presenta:

Alejandro Montes González

Tutor: Doctor Luis Fernando Guerrero Baca

México D.F, 28 de noviembre del 2019



Casa abierta al tiempo
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
METROPOLITANA
Unidad Xochimilco

División de Ciencias y Artes del Diseño
Maestría en Ciencias y Artes del diseño
Sustentabilidad ambiental



ESTUDIO Y APLICACIÓN DE LOS DESECHOS DEL MEZCAL EN BLOQUES DE TIERRA CRUDA, PARA CONSTRUCCIÓN EN EL ESTADO DE OAXACA

Idónea Comunicación de Resultados que para obtener el grado de maestría presenta:

Alejandro Montes González

Tutor: Doctor Luis Fernando Guerrero Baca

“Esta tesis fue elaborada con el apoyo del CONACYT”

“en un mundo de plástico y de ruido, yo quiero ser de barro y silencio”
Eduardo Galeano

Estudio y aplicación de los desechos del mezcal en bloques de tierra cruda, para construcción en el estado de Oaxaca

Alejandro Montes González

2163803783

Palabras clave: mitigación de los desechos del mezcal, construcción con tierra, aumento de resistencia

El mezcal es una bebida alcohólica originaria de México, hecha de la destilación de azúcares fermentados que se acumulan en varias especies del maguey, también conocido como agave por su nombre científico. Hay diferentes tipos de agave en el país y al menos 21 especies son utilizadas actualmente para producir mezcal. El proceso de destilación del mezcal genera dos tipos de residuos, un sólido llamado bagazo y un líquido llamado vinaza, residuos de naturaleza orgánica que producen contaminación en el suelo y el agua cuando hay un exceso de contacto con estos materiales.

Durante el diseño y la construcción de proyectos arquitectónicos en pueblos productores de mezcal del estado de Oaxaca desde 2014, fue posible aprender una técnica de construcción en tierra que utiliza los residuos de mezcal para hacer adobes, bloques de tierra cruda secada al sol. Mediante la observación fue posible identificar que la mezcla de estos desechos aumentaba la resistencia de los bloques. Al mismo tiempo, en estrecha colaboración con los pobladores, fue posible identificar problemas como la falta de vivienda en su región, el uso de materiales industriales para construir la infraestructura de su población y la adaptación inadecuada de los materiales industriales. Como consecuencia de estas actividades de construcción, fue posible ver la pérdida de las técnicas tradicionales con valor patrimonial, construcciones de tierra cruda que los habitantes de estos pueblos aun identifican como ventajosas climáticamente.

La presente Idónea Comunicación de Resultados (ICR) documenta una investigación enfocada a comprobar que el uso de los desechos del mezcal en bloques de tierra cruda, aumenta su resistencia, permite desarrollar técnicas que reducen tiempos de ejecución con un menor impacto ambiental derivado de la industria del mezcal. De esta manera se consigue fomentar el desarrollo sustentable de los pueblos de Oaxaca mediante el encuentro de tradiciones, desarrollo tecnológico y preocupación ambiental.

Vo. Bo.



Dr. Luis Fernando Guerrero Baca

Tutor

No económico 16465

Índice

Agradecimientos	4
Introducción	5
Capítulo 1.0 Tradiciones, desarrollo e impacto ambiental	8
1.1 Sustentabilidad	8
1.2 Mezcal, residuos y consecuencias ambientales	16
1.3 Arquitectura vernácula en tierra, usos y mejoras.....	23
Capítulo 2.0 vinculación práctica-academia hacia la mejora constructiva	29
2.1 Aprender, aplicar, evaluar del 2014 al 2019	29
2.2 Observación de técnicas, estudio de procesos y aplicación constructiva	37
Capítulo 3.0 Del mezcal a la tierra.....	39
3.1 Caracterización fisicoquímica, diseño de mezclas y control de calidad.....	39
3.2 Vivienda de tierra compactada	45
3.3 Zúrich y metodologías aplicadas	47
Capítulo 4.0 Reflexiones finales en torno a la resistencia, rapidez vs economía e impacto ambiental	58
Referencias.....	65

Agradecimientos:

A mi madre, padre y mis hermanas por ser los cimientos fuertes en mi desarrollo como persona. Al Dr. Luis Fernando Guerrero Baca, por su apoyo incondicional desde mis inicios en la experiencia creativa con tierra cruda. Al Prof. Dr. Guillaume Habert, por haber aceptado mi colaboración y visita para el desarrollo de mi estancia en la Catedra de Sustentabilidad ETH Zúrich y enseñarme que lo importante no es la respuesta si no la pregunta correcta. A Ron Cooper por cumplir su palabra, a del Maguey Single Village y Gabriel Bonfanti por el apoyo económico para la estancia de investigación. A los miembros de la Maestría en Ciencias y Artes del Diseño, profesoras profesores y administrativas, por la paciencia y apoyo para concluir mi trabajo como investigador.

Rigor y carácter.

Introducción

Actualmente vivimos en el planeta 7 millones de mujeres y hombres habitantes de un ser viviente al que llamamos tierra. Seres que vivimos y desarrollamos actividades sociales en un medio ambiente natural, afectado en gran parte por la acción humana con consecuencias para un sistema vivo que está conectado por redes y complejidades.

Dentro de este mundo interconectado tenemos al mezcal, una bebida alcohólica originaria de México hecha de la destilación de azúcares fermentados que se acumulan en varias especies del maguey, también conocido como agave por su nombre científico. En el proceso de destilación del mezcal se generan dos tipos de residuos: un sólido llamado bagazo, proveniente de las fibras del agave que son cocidas, trituradas y fermentadas para hacer mezcal. Además, se produce otro desecho llamado vinaza, líquido color café proveniente del jugo de maguey o “tepache”, que fue fermentado y posteriormente destilado. Ambos son residuos de naturaleza orgánica que producen contaminación cuando hay un exceso de contacto con el suelo y el agua, ya que tienen una alta concentración de sólidos suspendidos, alta demanda de oxígeno y un pH muy ácido.

El mezcal se ha convertido en una de las bebidas alcohólicas de mayor auge en los últimos años en México, según datos del Consejo Regulador del Mezcal (2018). Grandes empresas internacionales han adquirido derechos sobre la producción y comercio de la bebida, procesos globales de demanda y comercio que influyen al mezcal tradicional desde hace algunas décadas. No sólo son preocupantes los recursos naturales que se utilizan en el proceso de destilación para satisfacer la demanda mundial del producto mezcal, la cantidad de residuos de la destilación como la vinaza y el bagazo también están aumentando, por ende, es posible observar el deterioro ambiental causado por estos desechos que son mal tratados y arrojados al ambiente.

De manera paralela, en los pueblos mezcaleros es visible la sustitución de materiales tradicionales de construcción por materiales industriales, materiales que consumen una cantidad considerable de recursos naturales al momento de la extracción de la materia prima, el proceso de fabricación, su transportación y su uso. Además, estos materiales han sustituido los procesos de construcción regional que existían en los pueblos, teniendo como consecuencia una pérdida de conocimientos ancestrales en técnicas de construcción.

Durante el diseño y la construcción de proyectos arquitectónicos en pueblos productores de mezcal del estado de Oaxaca, desde el año 2014 fue posible aprender una técnica de construcción en tierra que utiliza los residuos de mezcal para hacer adobes. Tierra mezclada con bagazo, agua y vinaza para hacer una mezcla plástica dispuesta en moldes de madera, para obtener bloques de tierra cruda secados al sol. Agregar estos desechos en los adobes surge para los productores de mezcal como una práctica empírica, a partir de la necesidad de tener material de construcción y la disposición de fibra y líquido proveniente de los procesos de destilación.

Por medio de la experiencia personal de construir con estos productores, fue posible identificar de manera empírica que, al agregar los desechos del mezcal en los adobes, estos demostraban un incremento en su resistencia a comparación de los adobes que eran realizados en el pueblo sin estos productos.

Simultáneamente, a partir de vivir en la comunidad durante la ejecución de los proyectos arquitectónicos fue posible identificar problemas como la falta de vivienda en el pueblo, el uso de materiales industriales para construir la infraestructura de su población y la adaptación inadecuada de estos materiales en sus usos y costumbres. Como consecuencia, es posible observar la pérdida de las técnicas tradicionales de edificación, que consistían mayormente en construcciones de adobe, técnica que los habitantes de estos pueblos aún pueden identificar como ventajosa climáticamente, a comparación de las realizadas hoy en día con cemento y block, sin embargo, más costosas por los tiempos largos de ejecución.

Tomando en cuenta que el alza de producción del mezcal implica mayor cantidad de residuos, es necesario considerar su correcto tratamiento. Si estos desechos en aumento son utilizados en bloques de tierra cruda para la construcción, ¿en qué medida incrementa la resistencia de estos bloques? Considerando que el cambio de las técnicas tradicionales de construcción por los materiales como el block y el cemento, se desarrolla a partir de la rapidez de ejecución y la economía de los materiales tradicionales, ¿cuáles son las condicionantes técnicas para proponer una técnica de construcción en tierra cruda que reduzca tiempos y costos? Colocando los desechos del mezcal dentro de los bloques de tierra para realizar construcciones, ¿hasta qué punto se mitigan los efectos nocivos de los desechos del mezcal al medio ambiente?

La presente investigación plantea como hipótesis que la aplicación de los desechos del mezcal en bloques de tierra cruda, puede mejorar la resistencia del material y permitir técnicas constructivas que disminuyen tiempos y costos de construcción, reduciendo el impacto ambiental producido por la destilación de la bebida.

El siguiente trabajo tiene como objetivo general mejorar las propiedades de resistencia, costos y tiempos de ejecución en construcciones de tierra cruda, mediante la aplicación de los desechos del mezcal. Particularmente indagar en las propiedades mecánicas que el uso de la vinaza y bagazo tienen al mezclarse con tierra cruda para realizar material de construcción y así, demostrar la aplicación de los desechos del mezcal para realizar una construcción con una técnica distinta al adobe, con el objetivo de evaluar los tiempos de construcción y los costos involucrados en el proyecto. Por último, analizar el uso de la vinaza y el impacto que tiene, por un lado, en el ahorro del agua en la construcción y por otro en la contaminación de los cuerpos de agua y el suelo provocados por la industria mezcalera.

Se estudiaron, diseñaron y realizaron pruebas físicas y químicas a la vinaza, bagazo y tierra, para conocer a fondo las propiedades de estos materiales. Usando laboratorios certificados se realizaron pruebas de resistencia universal a bloques hechos con vinaza y bagazo para comparar el aumento de su resistencia. Con esto fue posible comprobar que el uso de los desechos del mezcal aumenta la resistencia a la compresión y flexión del material. Estos conocimientos fueron aplicados en una técnica de tierra compactada para construir un prototipo de vivienda donde se evaluaron tiempos y costos de ejecución.

Mediante una estancia de investigación realizada en la Catedra de Construcción Sostenible en la Escuela Politécnica Federal de Zúrich conocida comúnmente por sus siglas en alemán como ETH, se indagaron los límites en el incremento de la resistencia que aporta la vinaza en distintos materiales arcillosos y no arcillosos.

La presente idónea comunicación de resultados tiene como fin, relatar una investigación enfocada a comprobar que el uso de los desechos del mezcal en bloques de tierra cruda, aumenta su resistencia, permite reducción de tiempos de ejecución y reduce el impacto ambiental de la industria del mezcal, dejando preguntas abiertas en torno a los costos de ejecución y las distintas aplicaciones que el proyecto tiene, para fomentar el desarrollo

sustentable de los pueblos de Oaxaca mediante el encuentro de tradiciones, desarrollo tecnológico y preocupación ambiental.

Capítulo 1.0 Tradiciones, desarrollo e impacto ambiental

1.1 Sustentabilidad

Durante la historia de la humanidad, la transformación de la realidad representa una meta que el ser humano ha tenido para adaptar su medio a su forma y comprensión. Para ello generó lo que hoy en día llamamos ciencia, la herencia más grande producto de la civilización occidental que tiene sus orígenes en el arte del pensamiento racional y la cultura griega (Checkland, 1993: 40). Teorías que, durante cierto tiempo sirvieron para definir y estudiar los problemas y métodos legítimos de un campo de la investigación para las siguientes generaciones de científicos. La física de Aristóteles, el Almagesto de Tolomeo, los principios de la electricidad de Franklin son prueba de ello (Kuhn, 1971: 33). Sin embargo, hoy en día estas creencias son incompatibles con las situaciones que vivimos (Kuhn, 1971: 22), ¿a qué se debe eso? Aristóteles, el primer biólogo de la tradición occidental comenzó a distinguir el mundo dividiéndolo en materia y vinculándolo mediante el proceso de desarrollo. Para él, la materia contenía la naturaleza esencial de todas las cosas, pero sólo como potencialidad. Por medio de la forma, esta esencia se convertía en real o actual. Aristóteles creó un sistema formal de lógica y un conjunto de conceptos unificadores que aplicó a las principales disciplinas de su tiempo: biología, física, metafísica, ética y política. Su filosofía y ciencia dominaron el pensamiento occidental durante dos mil años después de su muerte, en los que su autoridad fue casi tan incuestionada, casi como la de la Iglesia.

En los siglos XVI y XVII la visión medieval del mundo, basada en la filosofía aristotélica y en la teología cristiana, cambió radicalmente (Capra, 1998: 38). La noción de un universo orgánico, viviente y espiritual fue reemplazada por la del mundo visto como una máquina, ésta se convirtió en la metáfora dominante de la era moderna. Este cambio radical fue propiciado por los nuevos descubrimientos en física, astronomía y matemáticas, conocidos como la Revolución científica y asociados con los nombres de Copérnico, Galileo, Descartes, Bacon y Newton (Contreras, 2004).

René Descartes creó el método de pensamiento analítico, consistente en desmenuzar los fenómenos complejos en partes, para comprender desde las propiedades individuales el funcionamiento del todo (Kuhn, 1971). Descartes basó su visión de la naturaleza en la fundamental división entre dos reinos independientes y separados: el de la mente y el de la materia. El universo material, incluyendo los organismos vivos, era para Descartes una máquina que podía ser enteramente comprendida analizándola en términos de sus partes más pequeñas. Sin embargo, con el paso del tiempo fue posible observar que los fenómenos de la naturaleza no pueden ser entendidos aisladamente, se tratan de problemas sistémicos, lo que significa que están interconectados y son interdependientes.

Una de las primeras personas en utilizar el término sistema para definir organismos vivos y los procesos sociales con los que se desarrollan fue el bioquímico Lawrence Henderson. (Capra, 1998: 47). El término sistema comenzó a ser utilizado para definir las problemáticas de una manera más integral, para lo cual fue necesario definir a un todo integrado por propiedades esenciales que surgen entre cada una de sus partes, por ende, es indispensable hoy en día tener un pensamiento sistémico para poder comprender los fenómenos en contexto de un todo superior (Capra, 1998: 47). El pensamiento sistémico estudia las interacciones y las relaciones entre partes, a diferencia de la ciencia normal en donde cada parte es destruida diseccionado el sistema, ya sea teórica o físicamente para su estudio y comprensión. En pocas palabras, la teoría de sistemas comprende que la naturaleza del conjunto siempre es distinta de la mera suma de sus partes. (Capra, 1998: 48). Esto ha comprendido un gran shock y una problemática al paradigma del conocimiento actual, pues los sistemas no pueden ser comprendidos por medio del análisis de sus partes de manera independiente. (Capra, 1998: 49).

Este cambio de percepción fue consolidado por los nuevos conceptos en física que han significado un cambio profundo en nuestra visión del mundo: desde la perspectiva mecanicista de Descartes y Newton, hasta una visión ecológica y holística (Capra, 1998: 27), Einstein y la física cuántica.

De esta manera el pensamiento sistémico considera a los fenómenos y a los seres vivos como:

Totalidades integradas cuyas propiedades no pueden ser reducidas a las de sus partes más pequeñas, sus propiedades esenciales o sistémicas son propiedades del conjunto que ninguna de las partes tiene por sí sola. Emergen de las relaciones organizadoras

entre las partes [...] Las propiedades sistémicas quedan destruidas cuando el sistema se disecciona en elementos aislados (Capra, 1998: 56).

El pensamiento de sistemas permite focalizar la atención en distintos niveles sistémicos, lo que nos habla de sistemas dentro de sistemas. Estos corresponden a distintos niveles de complejidad que presentan propiedades sistémicas que sólo existen en ese nivel, estas propiedades reciben el nombre de propiedades emergentes (Capra, 1998: 56).

Además, este tipo de pensamiento sugiere que el conocimiento del mundo sólo puede entenderse a través de su contexto, a diferencia del pensamiento cartesiano que de manera inversa asegura que la complejidad del todo puede ser analizada mediante las propiedades de sus partes. Tal y como lo demostró la física cuántica, no existen las partes, solamente patrones de una inseparable red de relaciones.

La visión de la física cuántica no resultó fácil de aceptar a los físicos de principios de siglo. La exploración del mundo atómico y subatómico les puso en contacto con una extraña e inesperada realidad. En su esfuerzo por comprenderla, los científicos determinaron que sus conceptos básicos, su lenguaje científico y su misma manera de pensar resultaban inadecuados para describir los fenómenos atómicos.

Los dramáticos cambios de pensamiento que tuvieron lugar en la física a principios de siglo han sido ampliamente discutidos por físicos y filósofos a lo largo de más de cincuenta "una constelación de conceptos, valores, percepciones y prácticas compartidos por una comunidad, que conforman una particular visión de la realidad que, a su vez, es la base del modo en que dicha comunidad se organiza (Capra, 1998: 27). Los distintos paradigmas, según Kuhn, se suceden tras rupturas discontinuas y revolucionarias llamadas «cambios de paradigma» (Capra, 1998: 27).

Actualmente revivimos la crisis intelectual de los físicos cuánticos de los años veinte en forma de una crisis cultural similar, pero de proporciones mucho más amplias. La definición de Kuhn del paradigma científico es

La ciencia normal se inicia siempre con algún "logro", esto es, con el surgimiento de una teoría que explica, por primera vez en la historia del área, algún hecho o evento. La ciencia normal es un período en que la actividad científica se dedica a la resolución de "acertijos" o enigmas

concretos y parciales. A través de la resolución de estos acertijos los científicos tratan al mismo tiempo de extender el rango de aplicación de sus técnicas de investigación y de resolver algunos de los problemas existentes en su campo. Los períodos de investigación científica normal se caracterizan también por sus marcadas tendencias conservadoras, los investigadores son premiados, no tanto por su originalidad como por su lealtad al trabajo de confirmación de la teoría o "paradigma" dominante. El paradigma debe ser concebido como un logro, es decir, como una forma nueva y aceptada de resolver un problema en la ciencia, que más tarde es utilizada como modelo para la investigación y la formación de una teoría. Por otra parte, el paradigma debe ser concebido como una serie de valores compartidos, esto es, un conjunto de métodos, reglas y generalizaciones utilizadas conjuntamente por aquellos entrenados para realizar el trabajo científico de investigación, que se modela a través del paradigma como logro. Kuhn (1971), también acuñó el término "matriz interdisciplinaria", el cual, además de incluir la noción de paradigma, se refiere al grupo de científicos como la unidad social que reconoce y comparte un logro paradigmático, que escribe y selecciona los libros de texto, proporciona entrenamiento y grados académicos y conduce investigación para la resolución de enigmas y acertijos. De acuerdo con Kuhn, el cambio de un paradigma por otro, a través de una resolución, no ocurre debido a que el nuevo paradigma responde mejor las preguntas que el viejo. Ocurre más bien, debido a que la teoría antigua se muestra cada vez más incapaz de resolver las anomalías que se le presentan. También porque la comunidad de científicos la abandona por otra, a través de lo que el mismo Kuhn ha denominado *switch gestáltico*.

Las revoluciones de pensamiento ocurren porque un nuevo logro o paradigma presenta nuevas formas de ver las cosas, creando nuevos métodos de análisis y nuevos problemas a qué dedicarse. En la mayoría de los casos, las teorías y problemas anteriores son olvidados o guardados como reliquias históricas, característica que ha dado en llamarse, desde entonces, "pérdidas kuhnianas". Ahora bien, dado que diferentes paradigmas se enfocan y parten de diferentes problemas y presupuestos, no existe una medida común de su éxito que permita evaluarlos o compararlos unos con otros. A esta característica de los paradigmas, Kuhn la llama "inconmensurabilidad", término que tomaron Paul Feyerabend y el mismo Kuhn de la geometría, el cual significa "sin medida común". Es también debido a esta característica la

carencia de conceptos con significado común entre teorías, que la transición de un paradigma a otro ocurre de una manera radical y repentina, casi podemos decir irracional.

A falta de un paradigma o de algún candidato a paradigma, todos los hechos que pudieran ser pertinentes para el desarrollo de una ciencia dada tienen probabilidades de parecer igualmente importantes. Como resultado de ello, la primera reunión de hechos es una actividad mucho más fortuita que la que resulta familiar después del desarrollo científico subsiguiente. Además, a falta de una razón para buscar alguna forma particular de información más recóndita, la primera reunión de hechos y datos queda limitada habitualmente al caudal de datos de que dispone. El instrumental resultante de hechos contiene los accesibles a la observación y la experimentación casual, junto con algunos datos más esotéricos procedentes de artesanías establecidas, tales como la medicina, la confección de calendarios y la metalurgia. Debido a que las artesanías son una fuente accesible de hechos que fortuitamente no podrían descubrirse, la tecnología ha desempeñado recientemente un papel vital en el surgimiento de las nuevas ciencias (Joseph, *Dias, James, Thomas & Hecker* 1999) (T. S. Kuhn, 1995).

La producción del mezcal está inmersa dentro de los nuevos paradigmas ya que representa una expresión cultural que se ha transformado en una industria global. Para entender esta actividad y poder definir las problemáticas que la rodean es necesario considerar todas sus partes como un sistema complejo. Sus partes, incluida el daño ecológico que produce, debe de ser estudiada bajo la visión de nuevos paradigmas, que permitan entender las relaciones que existen entre cada uno de ellos.

El pensamiento sistémico relaciona el pensamiento procesual y el pensamiento contextual junto con sus fuerzas de interacción, retroalimentación de evolución y la homeostasis. Esto permite que se pueda ver un universo en conjunto; los mundos de la producción del mezcal, sus desechos y los materiales de construcción que pueden ser estudiados a partir de las relaciones creadas de la utilización de sus residuos en la construcción.

La realización de esta investigación se genera dentro de un pensamiento sistémico, en el cual la práctica empírica será sometida a la ciencia normal, un salto entre paradigmas y enfoques del conocimiento científico aplicado, para certificar que la practica ancestral de mezclar residuos del mezcal en construcciones de tierra, puede ser aceptada por el paradigma científico de la construcción.

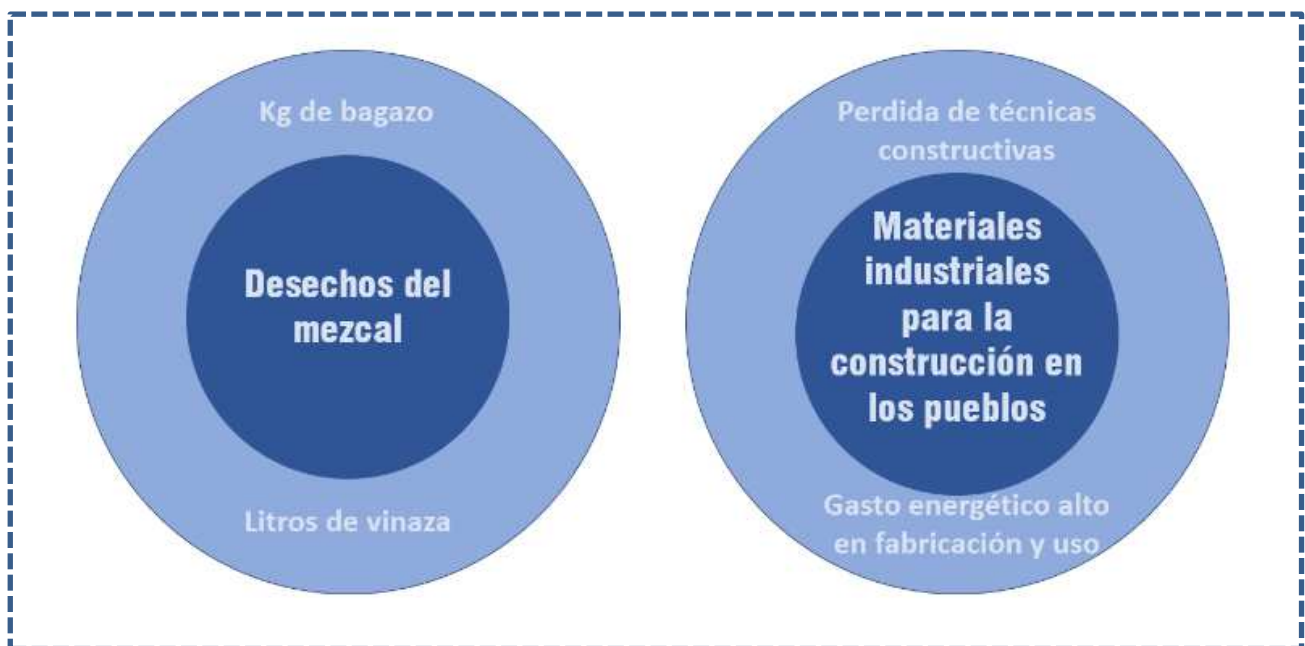


Figura 1: Representación de las dos problemáticas y sus consecuencias ambientales en un universo sistémico. Fuente: Elaboración propia.

Una vez aprobadas por el conocimiento de la ciencia normal será necesario realizar una práctica constructiva que afirme dentro del conocimiento ancestral, que es compatible con la comprobación científica y viceversa.

La escasez de recursos y el deterioro medioambiental se combinan con poblaciones en rápido crecimiento, llevando al colapso a las comunidades locales, así como a la violencia étnica y conceptos de una visión desfasada del mundo, una percepción de la realidad inadecuada para tratar con nuestro superpoblado y globalmente interconectado mundo.

Otra de las visiones necesaria para entender la realidad en la que operan las problemáticas de esta investigación es la de Alfie Cohen (2012), que describe a los procesos de

homogenización de las redes sociales como globalización, un término analítico al cual define como “todos los cambios que se han producido en diferentes niveles de la realidad, desde los ámbitos más positivos hasta los más perversos”; es decir, sobre esta base expone tanto los beneficios y aspectos más positivos como lo son las proezas en materia de comunicación y alta tecnología, así como lo más negativo incluyendo el narcotráfico y crimen organizado.

A partir de identificar estos problemas surge el concepto de Desarrollo Sustentable, resultado de las nuevas formas de ver el mundo como un sistema y analizarse como un todo. Tiene antecedentes en el informe conocido como *The Limits to Growth* (Los límites del crecimiento) publicado en 1972 y realizado por el Club de Roma (fundado en 1968), donde abordan la problemática en la que nos vemos inmersos al tratar al planeta Tierra como un sistema con recursos infinitos y una posibilidad de desarrollo ilimitado.

Por su parte, el *Reporte de Brundtland*, desarrollado por la *Comisión Mundial para el Medio Ambiente y el Desarrollo*, apoyada por las Naciones Unidas y dirigida por la primer ministra noruega Gro Brundtland, formuló la definición del concepto de “Desarrollo Sustentable”, entendido éste como aquel desarrollo que satisface las necesidades actuales sin comprometer a las futuras generaciones (García, 2008: 21). Ambos informes contribuyeron en a formular lo que se consolidaría en un modelo de sustentabilidad.

Gracias a lo anterior se provocó un cuestionamiento generalizado de los modelos económicos que nos rigen, causando un llamado mundial para el impulso de una estrategia que permita unificar el desarrollo y el medio ambiente. A partir de esto surge La Cumbre de la Tierra, que se realiza en Rio de Janeiro en 1992, un encuentro donde nacen propuestas y planes de acción de los cuales se desprendieron una serie de acuerdos firmados por más de 178 países, que buscaban identificar y solventar los principales problemas ambientales. El informe derivado de estos acuerdos se llamó *Agenda 21: The Earth Summit Strategy to Save Our Planet* (García, 2008: 23).

La sustentabilidad más allá de una propuesta conceptual, habla de una noción en dimensión política y social que ha sido establecida como dirección hacia la cual encaminar la forma de vida, en pro de la relación equilibrada entre el medio natural y las actividades del ser humano.

Si entendemos sistema como el conjunto de un todo en el que interviene cada una de sus propiedades y partes esenciales (Capra, 1998), podemos decir que; mezcal, construcciones convencionales y residuos son sistemas relacionados entre sí, a partir del impacto ambiental que genera su producción y uso. Por lo tanto, es necesario considerar que estas actividades deben de tener un enfoque que concuerde con el desarrollo sustentable.

La producción del mezcal tiene un impacto negativo en el sistema ambiental, debido al aumento de litros producidos y exportados a nivel mundial, lo que implica un aumento en el consumo de recursos naturales y en los desechos que la producción del mezcal genera. En el mismo sistema ambiental se encuentra la actividad constructiva, que anteriormente se realizaba con materiales regionales, en algunos casos usando los desechos del mezcal, que actualmente ha sido desplazado por materiales como el block y el concreto.

Debemos considerar que para la realización de mezcal se utilizan grandes cantidades de agua en las distintas etapas del proceso. Esta agua, después de ser utilizada para la producción de una bebida alcohólica se convierte en un líquido nocivo que es arrojado a los ríos y suelo, impulsando la crisis ambiental donde se desarrollan estas actividades.

Gran similitud podemos encontrar en la producción de materiales de construcción y su utilización para crear pueblos y ciudades que consumen recursos del medio ambiente, al que posteriormente depositan los desechos generados por ese consumo.

La utilización de estos materiales es uno de los problemas más graves de contaminación del medioambiente, ya que la quema de combustible para su producción es una de las mayores consumidoras de energía. Ante la crisis energética que atraviesa el mundo y la tendencia a incrementar año tras año, los proyectistas deberemos tener como metas el diseño medioambiental considerando los siguiente: (Cedeño, 2011):

1. La sustitución de fuentes no renovables por fuentes renovables.
2. La elección de materiales con menor contenido energético, tanto en su fabricación como en su puesta en obra.
3. La elaboración de formas, tipologías edilicias y elementos constructivos que requieran menos energía para su construcción y acondicionamiento.

Para la arquitectura, el cambio climático a nivel mundial debe ser reflejado en los sistemas constructivos que necesitan adaptarse a las condiciones ambientales cada vez más degradadas del planeta. Las soluciones arquitectónicas deben propiciar un ambiente resiliente como sistema de construcción y como modo de vida (Valdiviezo, 2011). Asimismo, debe tomarse en cuenta la responsabilidad de las industrias de elaboración de materiales industriales de construcción y sus procesos, como una de las fuentes principales contaminantes y destructoras del equilibrio ambiental en el mundo.



Figura 2: Universos de la construcción y los desechos del mezcal relacionados por medio de la acción de utilizar los residuos en bloques de tierra cruda. Fuente: elaboración propia.

1.2 Mezcal, residuos y consecuencias ambientales

Hablemos del mezcal, esta es una palabra proveniente del náhuatl *mexcalli*, que significa 'pencas de maguey cocidas'; unión de *metl* 'maguey' e *ixcalli* 'cocido'. Es una bebida alcohólica originaria de diferentes estados de México, que es elaborada a partir de la destilación de los azúcares fermentados que se acumulan en varias especies de maguey, también conocido como agave por su nombre científico (Colunga García Marín & Zizumbo Villarreal, 2007). Existen diferentes tipos de agave y cada uno produce una versión diferente de mezcal. Esta producción ésta regulada por la Norma Oficial Mexicana 070 y cuenta con denominación de

origen. Se tienen documentadas cuando menos 21 especies de agave que actualmente son utilizadas para producir mezcal en México (Castillo, 2017).

Durante el proceso de extracción del mezcal, al final de la etapa de fermentación y destilación del tallo o "piña", se elimina la fibra restante llamada bagazo de maguey, el cual dependiendo del proceso artesanal de molienda se estima entre el 14 y 20% del peso total de la "piña" (Martínez *et al*, 2012). El peso del bagazo es en promedio el 40% del peso húmedo de la planta (Martínez, Íñiguez, Ortíz, López & Bautista, 2013). La industria mezcalera de Oaxaca produce anualmente 122, 696 toneladas de bagazo o desecho, producto subutilizado que es vertido en ríos, arroyos o utilizado mínimamente como combustible en hornos ladrilleros, ocasionando un grave problema al ambiente. En Oaxaca son escasos los estudios para la utilización del bagazo y vinaza, sin embargo es posible encontrar publicaciones donde han sido documentados los procesos para la utilización de estos desechos (Martínez, Íñiguez, Ortíz, López & Bautista, 2013) .

En Jalisco, México, se ha demostrado que el maguey tequilero (*A. tequilana* Weber) mezclado con granos y cereales es utilizado para la alimentación animal. Recientemente, Íñiguez, al evaluar el proceso de compostaje de dos materiales de bagazo provenientes de dos fábricas de tequila con diferentes sistemas de extracción de azúcares (agua caliente y desgarrado mecánico de la piña), encontraron diferencias en el contenido de médula y fibra. Esto ocasiona diferentes tiempos de compostaje; sin embargo, al final del proceso los dos materiales fueron útiles como sustratos para el cultivo de tomate sin suelo.

El estado de Oaxaca se sostiene sobre todo del comercio y el turismo, pero muy poco de la industria. En este sentido, la industria del mezcal es la más importante y dinámica por la cantidad de empleos y divisas que genera a través de las exportaciones a algunos países de América, Europa y Asia (Robles & Villalobos, 2008).

Es posible considerar que la vinaza y el bagazo son desechos contaminantes que pueden ser vistos como subproductos para enfrentar otra problemática existente en los pueblos originarios productores de mezcal, la pérdida de técnicas de construcción con tierra, consecuencia de la utilización de los materiales industriales que dañan el ambiente e inapropiados para las condiciones térmicas y la forma de vida en los pueblos.

En general, el proceso de elaboración de mezcal consta de cuatro etapas, cocción de corazones de agave, molienda de los corazones cocidos, fermentación de jugo o mosto y destilación / rectificación. En la etapa de destilación / rectificación, se generan entre 8 y 15 litros de vinazas.

Para cada litro de mezcal, en 2007, el volumen de vinaza representó aproximadamente 90 millones de litros. La vinaza contiene una variedad de sustancias orgánicas como los ácidos acético y láctico, glicerol, fenoles, polifenoles y melanoidinas, así como especies inorgánicas como las sales de sulfatos y fosfatos. Se ha señalado que la composición y las características de las vinazas pueden variar, dependiendo de la materia prima y el proceso utilizado para la producción de destilados. A pesar de eso, la vinaza comparte las siguientes características principales: pH bajo en el rango de 3 a 5 y alto contenido de materia orgánica (35,000–50,000 mg O₂ / L como DBO o 100,000–150,000 mg O₂ / L como DQO) que suele ser tóxico y recalcitrante. Las vinazas son una preocupación ambiental porque su descarga a cuerpos de agua o en suelos puede tener un impacto negativo en el ecosistema (Robles-González *et al.*, 2012).

Es interesante, pero perturbador, verificar que existe una brecha significativa en el tratamiento de la vinaza del mezcal. Sin embargo, existe un abundante tratamiento de investigación de otros efluentes tóxicos recalcitrantes que se asemejan a la de este material, por ejemplo, la vinaza de vino, las vinazas de la industria azucarera, el aceite de oliva y las aguas residuales industriales de pulpa y papel. El objetivo de esta revisión es organizar críticamente las alternativas de tratamiento de vinaza, evaluar sus ventajas y desventajas relativas y finalmente, detectar las tendencias para futuras investigaciones y desarrollos.

Las vinazas generalmente contienen altas concentraciones de sólidos disueltos, hasta el 50% de este parámetro pueden ser azúcares reductores, compuestos no volátiles provenientes del caldo de fermentación, compuestos fenólicos y concentraciones relativamente altas de sales minerales que se reflejan en una conductividad electrolítica alta y ceniza. Las vinazas son ácidas con un pH que generalmente oscila entre 3.5 y 5 de color oscuro (pardusco), atribuido a la presencia de melanoides. La carga de contaminantes orgánicos es muy alta, con valores extremadamente elevados de demanda bioquímica de oxígeno y demanda química de oxígeno. Los índices de biodegradabilidad en el rango 0.2–0.5mgBOD / mgCOD son muy

comunes. Dado este perfil, las vinazas son efluentes muy agresivos y recalcitrantes, cuya descarga directa a cuerpos de agua y suelo causa un impacto ambiental grave.

Por otro lado, el bagazo de agave *angustifolia* cocido es un material con numerosas fibras, material de desecho en gran parte subutilizado de la industria del mezcal. Sin embargo, estas fibras similares a otras fibras vegetales son materiales lignocelulósicos con potencial técnico, económico y ecológico, por lo tanto, podrían utilizarse en diferentes industrias. Para comprender su morfología se revisaron estudios sobre el agave conocido como "maguey espadín", originario de México que se caracteriza por sus cogollos en forma de espiral extendidos radialmente. Sus hojas son rígidas, fibrosas, lineales en forma de lanza y carnosas. Con una forma horizontal ascendente, de color verde pálido a gris verdoso, planas o redondeadas en la parte superior, convexas en la parte inferior, estrechas y gruesas hacia la base con espinas posteriores de 2 a 5 mm de longitud. La longitud del tallo varía de 70 a 90 cm, con una longitud de hoja madura de 110 a 130 cm y una anchura de 8 a 10 cm (Hidalgo-Reyes *et al.*, 2015). Comercialmente, el tallo o "piña" es la parte más importante de la planta porque es la única parte utilizada en la producción de mezcal.

El agave se cosecha, en promedio, ocho años después de ser plantado. Luego se lleva a una planta de producción artesanal, localmente conocida como "palenque", donde las piñas se someten a un proceso artesanal que consiste en cortarlas en trozos pequeños y luego cocinarlas, molerlas, fermentarlas y destilarlas. El bagazo es un producto de desecho de este proceso de producción de mezcal. Se compone principalmente de fibras heterogéneas que varían en longitud y material orgánico no fibroso en forma de partículas finas. El bagazo se coloca en pilas y luego se traslada a campos agrícolas para el compostaje.

La industria del mezcal en Oaxaca produce anualmente 122,696 toneladas de bagazo, un producto que se incinera o se vierte en ríos y arroyos, causando problemas ambientales (Martínez Gutiérrez *et al.*, 2013). Su degradación natural causa varios problemas, como la modificación del pH del suelo, el deterioro del paisaje, la generación de olores y el aumento de la concentración de animales dañinos, como roedores, insectos y patógenos. Se quema en algunos casos, dando lugar a daños ambientales, sin embargo, las fibras de bagazo son materia orgánica renovable que tienen el potencial de ser utilizadas en materiales compuestos para formar productos alternativos y aumentar el valor de las fibras. Debido a que la

caracterización de la fibra vegetal es esencial para determinar las propiedades específicas del bagazo y cómo se ven afectadas por las características físicas, químicas y anatómicas, el presente estudio tiene como objetivo caracterizar a las fibras de bagazo de *Agave angustifolia Haw* para determinar su composición química, propiedades morfológicas y mecánicas.

En resumen, está claro que el bagazo cocido es un desecho del proceso de producción de mezcal y que su eliminación plantea un problema ambiental, que la enorme cantidad de lignocelulosa en el bagazo cocido aún no se ha utilizado, pues no se conoce su potencial completo y que los datos informados sobre las características y el potencial económico de estas fibras son escasos y están muy dispersos (Hidalgo-Reyes *et al.*, 2015).

En el caso revisado de *Agave angustifolia Haw*, los paquetes de fibras tienen una morfología similar a la de otras fibras vegetales, como *Agave* y *A. tequilana*, todos ellos se componen de muchas células de fibra. Cada célula de fibra está unida por la lámina media, que consta de celulosa y lignina, pero difieren por factores como el número de células de fibra, el tamaño de la pared celular, el grosor de las paredes celulares secundarias, la sección transversal real (el área total menos el área del lumen) y el área de la sección transversal del haz de fibras. Según Alves-Fidelis *et al.* (2013), es posible correlacionar la morfología de la fibra con las propiedades de resistencia a la tracción. Por lo tanto, cada paquete de fibras presenta sus propias características morfológicas específicas y su respectivo comportamiento mecánico. La resistencia de la fibra puede ser un factor importante en la selección de una fibra natural específica para una aplicación particular y los cambios en las propiedades físicas pueden deberse a diferencias en la morfología de la fibra. Las principales diferencias en la estructura, como la densidad y el grosor de la pared celular, la longitud y el diámetro, dan como resultado diferencias en las propiedades físicas.

El componente principal de la resistencia a la fibra es la celulosa. La fibra de *sisal* tiene un contenido de celulosa de aproximadamente el 73%, *Agave tequilana* tiene un contenido de celulosa del 73,6, el *yute* tiene un contenido de celulosa del 65%.

La fibra estudiada tiene un contenido de celulosa del 48%, por lo tanto, *A. tequilana* y las fibras de *sisal* pueden tener una mayor resistencia, no sólo por sus características morfológicas, sino también por su mayor contenido de celulosa. El total de los componentes químicos (celulosa + lignina + ceniza) es ~ 104%. En teoría, la suma de todos los componentes identificados,

usando análisis químico para materiales lignocelulósicos debe ser del 100%; sin embargo, este valor puede variar debido a la superposición y la pérdida parcial de algunos componentes, como la falta de consideración de los residuos presentes en el material. Las diferencias entre los datos obtenidos y los datos informados previamente para las fibras de agave de otras especies podrían deberse a una variedad de factores, que incluyen la ubicación geográfica, la cosecha, la madurez de la planta, el proceso de extracción de fibra y la metodología aplicada para identificar propiedades.

En conclusión, el bagazo de agave es un material de desecho del proceso de mezcal y tiene una disponibilidad abundante, por lo tanto, el conocimiento de las propiedades de estas fibras cocidas proporciona alternativas, no sólo como un valor agregado a estos residuos, sino también para generar oportunidades de empleo en la región, en particular donde crece la especie. Además, las fibras de bagazo de *Agave angustifolia* tienen el potencial para ser utilizadas en diversas aplicaciones, ya que son comparables con las reportadas para otras fibras lignocelulósicas comunes. Debido a las propiedades térmicas de la fibra, baja densidad y alto contenido de celulosa, una futura aplicación podría ser su incorporación a una matriz polimérica para producir materiales compuestos potenciales.

De acuerdo a la revisión realizada a estudios por Robles-González *et al* (2012), la descarga incontrolada de vinazas en los suelos puede ser negativa e impactar la calidad del suelo. Por ejemplo, el alto contenido de sales solubles en vinazas mezcaleras puede conducir a la salinidad y sodicidad del suelo. Esto, a su vez, puede deteriorar gravemente la estructura del suelo, la porosidad y la fertilidad. El bajo pH de las vinazas se puede asociar a la remoción de metales pesados en los suelos. Las altas cargas de sólidos suspendidos obstruyen los poros en los suelos, lo que conduce al desarrollo de condiciones anaeróbicas que no sólo son notables por sus malos síntomas estéticos, sino que también pueden contribuir a disminuir el pH del suelo y la removilización de metales pesados mencionados anteriormente. Es considerable su fitotoxicidad para cultivos, debido a la acumulación de una variedad de sustancias generadas en la fermentación de vinazas como; ácido acético, ácido láctico, glicerol y nitrógeno amoniacal. Además, los compuestos fenólicos y polifenólicos presentes en las vinazas pueden inhibir la germinación de las semillas y dañar varios cultivos, así como tener un impacto negativo en la actividad microbiana del suelo.

Los estudios reportan que las vinazas son desalojadas de la fábrica a temperaturas cercanas 50–80 °C, si no se enfrían antes de la descarga en cuerpos de agua, pueden aumentar la temperatura de esta y disminuir el oxígeno disuelto por debajo de su nivel crítico para la supervivencia de los peces. Por otro lado, la turbidez y el color asociados a las vinazas, los sólidos suspendidos y las melanoidinas, respectivamente, pueden perjudicar la penetración de la luz y los procesos fotosintéticos asociados e impactar severamente en la vida acuática. Las concentraciones relativamente altas de nutrientes P y N pueden causar la eutrofización en cuerpos de agua, depósitos y canales.

Además, la presencia de compuestos orgánicos putrescibles tales como el indol, el 3-metil indol y otras sustancias que contienen azufre están asociadas a serios problemas estéticos y posible toxicidad.

Varios países han promulgado normas más estrictas para la descarga de efluentes de las destilerías de alcohol. Por ejemplo, en 2005, las autoridades ambientales indias tomaron la decisión de convertir la industria de la destilería en una industria de descarga cero en unos pocos años (Pant y Adholeya, 2007).

Hasta el momento, la normativa ambiental aplicable es la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1997(NOM-ECOL-001,1997) de la Secretaría de medio Ambiente y Recursos Naturales, SEMARNAT, que establece los límites máximos de contaminantes en las aguas residuales vertidas en cuerpos de agua, suelo, humedales, etc., y posiblemente requisitos adicionales (condiciones particulares de descarga) que pueden ser impuestas por la agencia ambiental en México. A pesar de la falta de especificidad, los límites máximos permisibles para la DBO5, los sólidos totales en suspensión y otros contaminantes de la regulación mexicana son mucho más bajos que los valores de los parámetros correspondientes en MV sin procesar, esto sin considerar los volúmenes producidos y extensión necesaria para la disposición de residuos conforme a estos.

Se hace evidente que existe poca documentación del tratamiento de la vinaza y bagazo en el estado de Oaxaca, sin embargo, existen estudios en distintas regiones del país que promueven el uso de estos desechos en distintos tipos de productos. La revisión realizada será clave para proponer el uso de estos desechos, a partir de un enfoque hacia las construcciones de tierra cruda.

1.3 Arquitectura vernácula en tierra, usos y mejoras

Si bien, no es posible afirmar que la arquitectura y la industria de la construcción son dos entornos separables, sí es posible contribuir a través de la organización social a una cultura que adopte como principio la adaptabilidad ambiental en la construcción del hábitat humano.

Construir sin impacto a las posteriores generaciones es una visión que los materiales industriales no consideran, pues generan problemas locales y globales en temas ambientales y sociales. Por tal motivo, disminuir el uso de estos materiales debe de ser una prioridad para cualquier propuesta de edificación.

Dentro de esta investigación encontramos que la arquitectura vernácula cumple con estos términos sustentables redactados en el informe Brundtland (1987). Se caracteriza por no seguir ningún estilo específico y por ser construida por los usuarios que la habitan, utilizando regularmente los materiales disponibles en la región en la que es edificada. Dicha arquitectura es el resultado de siglos de experimentación y por esta razón es intemporal y propicia al clima, topografía, materiales de construcción del sitio y forma de vida de sus habitantes, estableciendo una relación hombre-clima de manera empírica (Torres Zárate, 2000).

En este aspecto la arquitectura vernácula tiene una ventaja, tratándose de sistemas con una tradición regional auténtica, los mecanismos de comunicación y herencia de saberes siguen siendo una vía activa de organización social y construcción de identidades. Estas identidades se han perdido por el empuje de la mundialización, un desarrollo que propicia el deterioro de estas técnicas y saberes ancestrales.

En la arquitectura vernácula los materiales empleados al ser regionales son manejados de manera tradicional. Con ello, el uso de estos evita caer en el abuso o explotación indiscriminada, lo cual ayuda a que una vez terminada su vida útil se reintegren al medio natural, generando así una arquitectura sustentable. Siempre hay una relación de respeto hacia la naturaleza que se traduce en el mantenimiento y conservación de los recursos naturales (Torres Zárate, 2000).

Otra característica de la arquitectura vernácula es el uso de los materiales cercanos a su entorno. La extracción de los recursos necesarios para la construcción se realiza en sitio, lo que conlleva una optimización energética del hábitat. A su vez, logra la reutilización de

elementos y la minimización de residuos en los procesos de edificación. Por último, estas soluciones para edificar el hábitat contemplan diversas estrategias de origen ancestral utilizadas para los diferentes tipos de clima. Existen reportes de reducción de temperaturas hasta de 20°C en lugares extremos como Marruecos, gracias a la utilización de los adobes en construcción o el aumento de 40°C dentro de un iglú, todo gracias a los conocimientos ancestrales de la arquitectura del sitio (Behling, Behling y Schindler, 1996).

Las viviendas son un reflejo de la calidad de vida del ambiente, de los usos y las costumbres que describen a la comunidad donde se ubica. Al tomar en cuenta los elementos climáticos, es posible crear una arquitectura adaptable, con un modelo que genere beneficios para el entorno y sus habitantes. Lo anterior, sólo será posible generando un equilibrio entre arquitectura y naturaleza, a través de la conjunción de los saberes pasados, la tecnología actual, nuestros recursos y los elementos climáticos (Torres Zárata, 2000).

Cuando se concibe un sistema de construcción arquitectónico integral que resuelve la convivencia de los estadios mencionados anteriormente, se da vida a un proyecto de largo plazo, pues las comunidades que se involucren en un cambio en sus modos culturales, ya sea retomando sus saberes o adquiriendo nuevos, están realizando acciones para el futuro de sus generaciones.

Alrededor del 30% de la población mundial vive en construcciones de tierra. De este porcentaje aproximadamente el 50% corresponde a la población de los países en vías de desarrollo, incluyendo la mayoría de la población rural, por lo menos el 20% de la población urbana y urbana marginal (Houben, Guillaud & CRAterre, 1994).

Santa Catarina minas, ubicado en el estado de Oaxaca se encuentra dentro de este porcentaje de poblaciones con construcciones térreas, ya que aún es posible ver a familias viviendo en casas de adobe, sin embargo, estas han sido desplazadas por las viviendas construidas con materiales como el *block* y el cemento. De acuerdo con entrevistas realizadas en 2014 a los pobladores de Santa Catarina Minas, estos materiales son usados, ya que “evitan” el trabajo físico necesario para hacer una construcción con tierra cruda. Además, es necesario considerar que los materiales industriales de construcción tienen el impulso de las grandes empresas con la capacidad económica y logística para llegar a cualquier parte del país e incluso del mundo (Torres Zárata, 2000).

Debido al valor histórico e identidad de las construcciones con tierra, además de los beneficios que representan en el contexto ambiental actual, es necesario no sólo promover e implementar su uso para preservar las tradiciones constructivas. Se requieren acciones para evitar el uso irracional de materiales prefabricados o industrializados en el medio rural. Por tal motivo, es necesario mejorar los materiales locales que permitan dar una visión contemporánea a estas técnicas.

La tierra estabilizada con cantidades moderadas de cemento o cal ha permitido incrementar la velocidad de ejecución y la calidad de edificación de los inmuebles de tierra cruda. Esto también ha sido posible gracias al desarrollo de procedimientos de encofrado y compactación, tendientes a utilizar la tierra con el mínimo de agua necesaria para conformar muros de manera similar al concreto armado convencional de cemento (Guerrero, Soria & Fernández, 2015).

Con estos antecedentes, en la Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco, durante más de cinco años se ha venido desarrollando una serie de investigaciones tendientes a recuperar el uso de la cal como estabilizante de la tierra. (Guerrero, Roux & Soria, 2010). Estos trabajos tuvieron resultados parciales que fueron aplicados en la edificación de un espacio de usos múltiples de 50 m², emplazado en terrenos pertenecientes a la Universidad, en el barrio de Las Ánimas, Tulyehualco, al sur de la Ciudad de México (Guerrero et al, 2013).

Para hacer frente a las problemáticas que han promovido el cambio de los materiales locales por materiales industrializados, se consideró utilizar la técnica constructiva de Tierra Vertida Compactada (TVC) como parte práctica de la presente investigación. Esta técnica ha sido desarrollada por la Universidad Autónoma Metropolitana, la Universidad Nacional Autónoma de México y Proyecto San Isidro, con el interés de recuperar y optimizar la edificación ancestral de barro modelado a partir de su combinación con la lógica constructiva de la tapia.

La técnica resuelve el problema de la retracción y el equilibrio hídrico mediante la compactación, asociada a la estabilización con cal combinada con agregados que poseen propiedades puzolánicas. Adicionalmente, esta técnica utiliza encofrados livianos que permiten la compactación manual con el apoyo de herramientas ligeras (Guerrero et al., 2015). Estas características representan una alternativa para las desventajas que los pobladores han identificado al construir con tierra cruda. Sin embargo, sus agregados están basados en

elementos de origen puzolánico inexistentes en Santa Catarina Minas. Del mismo modo, es posible cubrir la deficiencia en estos minerales para la estabilización de la tierra, a partir de las reacciones a nivel partícula con los subproductos del mezcal registrados previamente.

Dicho desarrollo ha servido de antecedente para la planificación de la metodología aplicada en la presente investigación. Empíricamente se cree que los subproductos del mezcal pueden ser aplicados en técnicas de tierra modelada en estado plástico, que permiten reducir los tiempos de ejecución y que logran la síntesis creativa antes mencionada entre los saberes ancestrales y las tecnologías conocidas y actualmente disponibles.

Es necesario hacer esfuerzos importantes para lograr desarrollos en este tipo de técnicas, pues a pesar de que existen organismos y programas como Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED), PROTERRA, Centro Regional de Investigaciones de Arquitectura de Tierra Cruda (CRIATIC) y otros, que han difundido las ventajas y cualidades de los sistemas constructivos de tierra, no ha sido suficiente, ya que también se requiere involucrar a las autoridades de los gobiernos, a la academia y a la vida profesional para que existan incentivos o apoyos por el uso de materiales de tierra, hasta sanciones por la destrucción del patrimonio edificado con este tipo de materiales.

Prueba y error es una forma de generación del conocimiento que ha sido aplicada desde tiempos milenarios. De acuerdo con Capra, una visión más estrechamente relacionada con las culturas místicas que ven el todo del universo y al hombre como una parte de un todo. Probar y equivocarse de acuerdo a Kuhn puede llegar a ser más valioso que el descubrimiento de nuevos fenómenos (Kuhn, 1971).

La práctica que crea esta investigación se basa en esa simple acción de probar, desechar lo que no funcionó y mejorar lo que ha funcionado. La práctica profesional de construcción en los pueblos estableció las normas en donde esta investigación iba a ser insertada. Primero se hace necesario identificar al sistema capital en el que estamos envueltos. Un sistema mundial que consume todo lo que está a su alrededor envolviéndolo en una dinámica del mercado. Estas dinámicas han dado pie a una destrucción visible de nuestro medio ambiente, pues los recursos naturales son usados para poder satisfacer las necesidades creadas por este sistema capitalista de unas cuantas personas.

Tomando esto como referencia, considero que el desconocimiento de los daños causados por los materiales industriales en los pueblos es la principal fuente de degradación del medio. De acuerdo a las entrevistas realizadas dentro de la investigación, las personas al verse inmersas en el sistema capitalista necesitan construir su vivienda de manera veloz para poder reducir el costo económico de la mano de obra.

Anteriormente, cuando una persona necesitaba construir, le hablaba a la comunidad y se realizaba una actividad llamada *tequio* para poder elaborar todos juntos la obra. Esta actividad ancestral dejó de llevarse a la práctica y fue necesario comenzar a pagar el trabajo de las personas para construir. El sistema capitalista llevó materiales de construcción industriales a todos los rincones del país, prometiendo modernidad y rápida construcción de las viviendas, lo que ayudaría a reducir el costo económico. Este sistema dejó de tomar en cuenta la visión holística de la construcción de viviendas para poder justificar la venta de los materiales en toda región. Fue así que una acción económica dio como resultado el desuso de una técnica constructiva que era más adecuada para la región.

A la par, la producción del mezcal ha sido sometida a sus propios procesos de modernización, lo que ha provocado que actualmente se produzcan cinco millones de litros al año (CRM, 2018), por lo tanto, se ha producido un aumento en los desechos de la industria, considerando los desechos mencionados previamente producidos por cada litro de mezcal destilado, desechos contaminantes que afectan el contexto donde la producción del mezcal se elabora.

A diferencia de la construcción con tierra, el mezcal ha logrado conservar sus rasgos regionales a lo largo del país, a pesar de los procesos de comercialización e industrialización a los que la actividad ha sido sometida. Sin embargo, este crecimiento producido por el libre comercio tiene consecuencias ambientales en la región donde el mezcal se produce.

El pueblo de Santa Catarina Minas es identificado por la producción del mezcal, este es cocido en hornos cónicos de piedra, fermentado en tinajas de madera y destilado en ollas de barro, cuya técnica se considera de origen prehispánico. Esta actividad de valor patrimonial también ha propiciado el desarrollo del pueblo, a partir de la generación de empleos y una preocupación entre algunos de sus productores por el desarrollo sustentable de los procesos involucrados en la destilación de la bebida. Acciones emprendidas anteriormente como obras para la recuperación de aguas pluviales, programas de reforestación y la diseminación de plantas

regionales mediante un vivero, hablan de una visión sustentable del pueblo. En el año 2011 Eduardo Ángeles Carreño, en su carácter de presidente municipal elaboró el plan sustentable de Santa Catarina Minas. Desde entonces ha impulsado el desarrollo de proyectos sustentables en la población.

Mediante la ejecución de proyectos arquitectónicos relacionados con la comunidad, como la construcción de la biblioteca El Rosario en 2014 y la ejecución del palenque de La Candelaria en 2016, entre otros, fue posible aprender la técnica constructiva en tierra, aplicando los desechos del mezcal para poder hacer adobes, bloques de tierra cruda secados al sol.

El tiempo invertido en la ejecución de los proyectos arquitectónicos y la relación cercana con los pobladores hizo posible identificar la problemática de construcción de vivienda con materiales industriales y el deseo de algunos de los pobladores en retomar las construcciones de tierra. Problemáticas que pueden ser enfrentadas a partir de la utilización de los subproductos del mezcal.

La utilización del líquido tepache y la fibra del bagazo con tierra cruda aporta un segundo ciclo de vida a estos desechos que normalmente son arrojados al medio ambiente, contribuyendo con elementos negativos al contexto ambiental (Robles, Galíndez, Rinderknecht & Poggi, 2012) Además de reutilizar la energía ya consumida para la obtención de la bebida, podemos fabricar adobes con los residuos del mezcal. Esto se traduce en un manejo adecuado de los elementos contaminantes que la misma destilación genera, a partir de la producción de material de construcción y ejecución de viviendas.

A mayor mezcal procesado, mayor cantidad de desechos vistos como subproductos para la construcción en tierra cruda, con lo cual se hace posible tener un suministro de material constante para la realización de viviendas necesarias en la comunidad.

Derivado de lo anterior, las viviendas adecuadas al medio ambiente surgen como respuesta a una problemática generada por la actividad que les aporta rasgos culturales únicos. Por ende, esta sinergia en la construcción tendría que ser valorada en lo auténtico y tradicional de la actividad productiva del mezcal y del valor de las construcciones en tierra cruda.

La utilización de los desechos del mezcal para la estabilización de construcciones en tierra cruda es una técnica ancestral de construcción que está en peligro de desaparecer (Ángeles,

2016). El aumento en la demanda del consumo del mezcal incrementa los subproductos y obliga a pensar en opciones para su utilización, buscando que ayuden a dar continuidad de una visión integral dentro de esta actividad.

Existen estudios de caracterización de subproductos de industria del sisal, un tipo de maguey que ha sido utilizado para mejorar el comportamiento del cemento reforzado (Arruda Filho *et al.*, 2012), hasta la fabricación de polímeros con esta planta (Joseph *et al.*, 1999). También fueron encontrados estudios de mejoramiento de construcciones para la estabilización en pruebas de concreto. Nivaldo T. de Arruda Filho (2012) hace énfasis en la importancia de utilizar estos residuos para evitar riesgos sanitarios, pues su uso ayuda a la preservación de las materias primas, elimina los costos de almacenamiento y trae beneficios a las empresas. A partir de sus experimentos se hizo posible rectificar que la fibra del sisal sirve como refuerzo para estructura de ferro cemento.

A su vez, se han realizado experimentos con las fibras de sisal y la fibra de coco (Ghavami, Toledo Filho & Barbosa, 1999). Los cambios dimensionales que las fibras naturales tienen con el suelo son debido a la variación de la humedad y la temperatura que influyen en las tres características de adhesión. Durante la mezcla y el secado del suelo, las fibras absorben el agua y se expanden. La hinchazón de las fibras empuja el suelo, al menos a nivel micro. Luego, al final del proceso de secado las fibras pierden la humedad y retroceden casi a sus dimensiones originales dejando huecos muy finos alrededor de ellos mismos. La hinchazón y la contracción de una fibra natural en el suelo de secado, como se muestra en la Fig. 1, crea limitaciones en el uso de fibras naturales con matrices del suelo (1998).

Capítulo 2.0 vinculación práctica-academia hacia la mejora constructiva

2.1 Aprender, aplicar, evaluar del 2014 al 2019

Hablar de la experiencia personal vivida a partir del desarrollo profesional como arquitecto, está relacionado con entender el presente trabajo de investigación como una actividad dentro de la experiencia creativa personal, acción en defensa y ataque que busca cambiar y mejorar el mundo en dónde vivimos. A partir de un enfoque dirigido a la reducción del impacto ambiental de la construcción, los materiales locales, el trabajo de las personas y las experiencias constructiva, las distintas regiones donde realizaba proyectos arquitectónicos

fueron motivo de estudio. A partir de diseños y construcciones en distintos estados de México fue posible relacionar los usos, costumbres y forma de vida de las personas con el trabajo comunitario y la apropiación de materiales tradicionales para el uso en construcción.

Posterior a las prácticas constructivas antes mencionadas, en 2014 una distribuidora de mezcal ubicada en ciudad de México buscó apoyo en mi servicio como arquitecto para continuar un proyecto de una biblioteca en el pueblo de Santa Catarina Minas, localizado en la parte central del Estado de Oaxaca. Los recursos naturales del municipio los constituyen sus tierras de cultivo agrícola y los pastos para la cría de ganado. El tipo de suelo localizado en el municipio está formado por la descomposición de materiales volcánicos. Hasta 2010, el Instituto Nacional de Estadística y Geografía, INEGI, informó que el total de población era de 1,816 personas (Secretaría de Gobernación, Centro Nacional de Estudios Municipales, 1998).

Santa Catarina Minas es considerado “la cuna del mezcal”, actividad representativa en auge que se desarrolla en el pueblo. La biblioteca proyectada tenía el objetivo de promover la lectura y dotar al pueblo en el barrio más pobre con infraestructura enfocada a la educación, edificada con materiales regionales y eco técnicas con el fin de promover un desarrollo sostenible en el pueblo. Cabe señalar que, en cuanto al nivel de desarrollo social, Santa Catarina Minas reportó que hasta 2010, 1,333 individuos (73.6% del total de la población) se encontraban en pobreza, de los cuales 771 (42.5%) presentaban pobreza moderada y 562 (31%) estaban en pobreza extrema (CONEVAL, 2012).

Además de la comercializadora de mezcal procedente de la ciudad de México, la construcción de la biblioteca era promovida por la marca de mezcal de mayor historia en el pueblo, aportando recursos económicos para la edificación del proyecto. La dirección de la biblioteca estaba a cargo de un comité formado por pobladores encargados de promover y finalizar el proyecto de la biblioteca. A partir de tequios convocados mediante estos tres actores, se realizaron 8,000 adobes rectangulares para poder construir los edificios planeados en el terreno donado a la asociación de la biblioteca por uno de los miembros del comité. Todo esto realizado previamente a mi llegada al pueblo.

Al realizar la primera visita de proyecto e inspeccionar los adobes que habían sido fabricados en los tequios por las personas, fue posible observar grietas pronunciadas a lo largo de la mayoría de los bloques, lo que de acuerdo con las normas de construcción de este material

representa un indicador de una mala realización de los adobes y poca resistencia. Sin embargo, al realizar pruebas de carga de una persona sobre un adobe apoyado sólo por 5 cm de dos de sus lados, estos mantenían su forma gracias a su resistencia sin colapsar ni quebrarse. Al preguntar el procedimiento de realización de los bloques fue posible aprender de los trabajadores el uso de la vinaza, llamada tepache de manera local por los productores, rebajada con agua y mezclada con tierra y bagazo para su fabricación. Acciones realizadas por la disposición de los desechos de algunos productores y la necesidad de tener material de construcción. Siendo el mezcal un producto de producción temporal, el uso de sus desechos para la construcción era algo aislado para este gremio y sus allegados. Las construcciones de adobe observadas en el pueblo habían sido realizadas en su mayoría con una mezcla de tierra y el tallo de la milpa de maíz después de su cosecha.

Tomé la decisión de habitar en el pueblo durante la edificación del proyecto de la biblioteca, para involucrarme de manera directa en los procesos de construcción y realizar observación participante para conocer más acerca del uso de estos materiales regionales para la construcción. Surgió el interés de documentar el uso de la vinaza, el bagazo y su historia e investigar las razones del por qué los pobladores dejaban a un lado las construcciones de tierra y no construían con este material, aprovechando los desechos de la industria que les da un nombre tan representativo.

Viviendo en el pueblo durante la construcción de la biblioteca entre 2014 y 2015 fue posible identificar la falta de vivienda y la sensación de mala calidad de las personas que habitaban construcciones edificadas con materiales como el block y el cemento. En el año 2010 el porcentaje de individuos que reportó habitar en viviendas con mala calidad de materiales y espacio insuficiente fue de 32.2% (583 personas). El porcentaje de personas que reportó habitar en viviendas sin disponibilidad de servicios básicos fue de 86.3%, lo que significa que las condiciones de vivienda no eran las adecuadas para 1,563 personas (CONEVAL, 2010). A partir de las entrevistas realizadas con algunos pobladores fue posible identificar la preferencia por las viviendas de adobe debido a su buen clima, sin embargo, el tiempo prolongado para su edificación era motivo por el que preferían construir con materiales que sólo se tenían que comprar sin tener que estar pensando en su fabricación y su uso.

La ejecución de la biblioteca requirió mayor conocimiento de técnicas de construcción sismorresistente con tierra, ya que las dimensiones proyectadas representaban condiciones que no eran utilizadas en la construcción de vivienda local con adobe, como espacios más amplios y alturas prolongadas. Para ello, se buscó el apoyo del Dr. Luis Fernando Guerrero Baca, quien dio información de las condiciones a reflexionar dentro del diseño de este edificio. Fueron estudiadas las normas técnicas para la construcción con tierra de Perú y Chile, que resultaron en la colocación de contrafuertes en los muros a una distancia máxima de 10 veces su espesor. Otra de las aportaciones utilizadas fue la colocación de carrizos como refuerzo horizontal a cada cuatro líneas de adobes entre la junta constructiva. Estas soluciones tenían la intención de asegurar la estabilidad de la estructura, transmitir otro tipo de soluciones para la construcción de inmuebles con adobe y permitir mayor flexibilidad en el diseño.



Foto 1: Biblioteca *El Rosario*, construcción realizada con adobe y residuo del mezcal, aplicación de propuesta sismorresistente. Fuente: Archivo propio.

A punto de concluir el trabajo de construcción de la biblioteca, uno de los productores más representativos del pueblo buscó mi asesoría para la realización de una construcción de adobe como parte de la infraestructura para su fábrica de mezcal. A partir de su experiencia personal aprendida por su familia mezcalera, tiempo atrás edificó su vivienda con este material, aprovechando las ventajas climáticas y la disposición de los desechos de su actividad

económica productiva, por lo que se hizo un gran promotor de las construcciones con tierra. Al ser familiar de la empresa que promovía la biblioteca, pudo conocer de manera directa cambios técnicos realizados a la construcción por las normativas estudiadas y ser testigo de las ventajas constructivas que estas representaban. A partir de pláticas e intercambio de conocimiento fue posible comenzar una colaboración en el trabajo de su primera bodega ubicada en su palenque en el pueblo. Al realizar la visita de campo al sitio de trabajo fue posible observar que la construcción estaba siendo elaborada con adobes de menor tamaño de los tradicionales. Estos representaron algunas fallas al momento de no respetar las normativas de proporción para largos y aturas, sin embargo, sirvió para ganar confianza con el productor y sus trabajadores y así mostrar las consecuencias de no seguir las normativas sugeridas. Es importante mencionar que el proceso de comunicación entre el productor resultó complicado en un inicio, ya que, al tener experiencia por su cuenta en la construcción de su vivienda, ser un maestro mezcalero reconocido y yo ser un agente externo, las recomendaciones no fueron fáciles de implementar. Sin embargo, a partir de las dudas y soluciones demostradas en su primera bodega fue posible encontrar un punto para lograr el desarrollo de trabajo en conjunto.

Entre el 2015 y 2016 se realizaron dos edificios más como parte de la infraestructura de la fábrica de mezcal del productor antes mencionado. El primero consistió en una cocina provisional realizada con bahareque, técnica de tierra mixta con tierra y carrizo. Fueron utilizados los desechos en las mezclas y se propusieron los aplanados de cal para lograr una buena estabilidad en el pequeño espacio.

Posteriormente fue requerido por el productor un espacio de bodega y comedor de 5 metros por 14 metros, dimensiones que representaban un desafío en el conocimiento desarrollado hasta ese momento por la práctica constructiva. El procedimiento y construcción representó un avance tecnológico con el productor, ya que aceptó realizar adobes cuadrados de 40cm x 40 cm x 10 cm, modulados bajos las recomendaciones sismorresistentes de las normativas estudiadas. Estas aportaciones permiten un mejor amarre entre las esquinas de los contrafuertes y evita el corte de adobes al momento de buscar el cuatropeo entre ellos. Otra de las implementaciones en estos bloques fue la utilización de vinaza de forma directa, proveniente de la fábrica sin rebajar con agua, es importante recordar que rebajar con agua era una práctica relacionada al conocimiento de la gente. A cada 4 líneas puestas de adobe

se colocaron pencas de maguey a lo largo de todo el muro, con la intención de que estas pencas funcionaran como refuerzo horizontal y en sustitución a los carrizos colocados anteriormente en la biblioteca. En esta construcción se buscaba algo que fuera resultado totalmente de la producción mezcalera, al menos en la etapa de los muros y la cimentación.

Durante todo el proceso práctico de los proyectos antes mencionados, el desarrollo de conocimiento científico se hizo presente, no sólo en buscar y proponer normativas relacionadas a la construcción sismorresistente de tierra cruda. Procesos como el de los refuerzos horizontales, el cambio de tamaño en las estructuras y las consecuencias de la contaminación de los desechos en el medio ambiente, estuvieron siempre presentes siendo el enfoque con el que realizaba mi observación participante.

La relación con los pobladores durante los procesos constructivos hizo evidente que la construcción con tierra resultaba algo que se adaptaba mejor a sus condiciones de vida, por lo que se hacía necesario optimizar los tiempos de ejecución en estas y promover su uso.



Foto 2: Palenque La Candelaria. Fuente: Archivo propio

Al mismo tiempo a partir de la realización de un proyecto con tierra en Santiaguito ETLA, otro pueblo de los valles de Oaxaca, fue posible comenzar a realizar prácticas constructivas enfocadas a la reducción del tiempo de ejecución. En este caso se hizo un especial énfasis en conocer y probar una técnica de construcción en tierra cruda, desarrollada por el Dr. Luis Fernando Guerrero Baca y su grupo de investigación, basada en la compactación del tapial,

pero utilizando una mayor cantidad de líquido en la tierra, lo que permite reducir la fuerza de compactación y por ende, el tamaño de las cimbras a utilizar en las construcciones. Por otro lado, mezclaba cal y *tepetzil*, una piedra de origen volcánico que al mezclarse con cal y tierra se obtenía una mezcla puzolánica a partir de la reacción química de los elementos. Un concreto orgánico que le da mayor estabilidad y menor tiempo de secado. Al finalizar el proyecto fue posible comprobar que la tierra compactada reduce los tiempos de ejecución y evita secar bloques de tierra para después construir con ellos, como en el proceso de la construcción con adobe, ya que el secado se realiza en el sitio de construcción del muro.

Al pensar en la implementación de la técnica de tierra compactada en Santa Catarina Minas para promover viviendas de tierra cruda más rápidas de construir, se hizo visible que la colocación de agregados silicatos y cal aumentaría el costo e impacto ambiental, pues no había una disponibilidad cercana de estos materiales. Sin embargo, se pensó en la sustitución de estas mezclas puzolánicas por los desechos y la posible reacción química entre estos elementos para realizar viviendas de forma más veloz y más resistentes.

Es importante mencionar que en 2015 fue realizado un protocolo de investigación de ingreso a la maestría en Ciencias y Artes del Diseño, para realizar un proceso teórico práctico en la aplicación y desarrollo de las técnicas y el uso de los desechos del mezcal en la construcción. Paralelamente se ganó la convocatoria del Programa de Fomento a Proyectos y Coinversiones del FONCA con el proyecto “mezcal y tierra en sinergia”, que tenía como fin el desarrollo y difusión de la investigación teórico práctica del uso de los desechos del mezcal en construcción.

En 2016 inicia la maestría, al mismo tiempo que se lleva a cabo el desarrollo del proyecto financiado por el FONCA, lo que permitió realizar los estudios físicoquímicos en laboratorios y la posterior construcción del prototipo como parte de los protocolos realizados en la maestría. La experiencia narrativa del proceso de investigación se publica en el libro de autoría propia “Mezcal y tierra” en el año 2017, realizando distintas presentaciones en el estado de Oaxaca y Ciudad de México. El desarrollo del proyecto abre nuevas preguntas y redes que permiten el acercamiento a la Catedra de Construcción Sostenible en la ETH Zúrich en Suiza, la cual es dirigida por el Prof. Dr. Guillaume Habert. En la catedra se realizan estudios formales de los materiales de construcción y su impacto ambiental, entre otros proyectos relacionados al

desarrollo sustentable. Por ello fue posible escribirle al Dr. Guillaume Habert para comentarle sobre la problemática del uso de la vinaza y bagazo, así como compartirle los resultados obtenidos en las caracterizaciones fisicoquímicas realizadas con el apoyo económico del FONCA. Aceptó ofrecer una estancia de investigación para descubrir la razón de estos efectos en el aumento de la resistencia. Paralelamente, con las presentaciones del libro, empresas internacionales productoras de mezcal buscaron mi apoyo para trabajar en programas de mitigación al problema ambiental de sus desechos, a partir de su aplicación en la construcción.

Posterior a las presentaciones del libro, en septiembre de 2017 ocurrieron dos sismos en México, los cuales tuvieron consecuencias en distintas regiones del estado de Oaxaca. Esto provocó una coyuntura que permitió la aplicación del proyecto como una medida de mitigación para una empresa mezcalera, ejecutando un programa de reconstrucción para realizar viviendas en beneficio de personas afectadas que habían perdido sus viviendas durante los sismos.

A finales del 2017 y principios del 2018 se realiza un proyecto de reconstrucción utilizando la técnica de tierra pisada con los desechos del mezcal en la zona mixe, así como la implementación de una fábrica de adobes que fueron donados a otras iniciativas de reconstrucción.

Paralelamente, en diciembre de 2018 y enero de 2019 se efectuó la estancia de investigación que llevó a confirmar las mejoras realizadas por la adhesión de los subproductos del mezcal en distintos materiales, también fue posible generar nuevas preguntas acerca de los procesos de aplicación, sus metodologías constructivas y las posibilidades encaminadas hacia un desarrollo sustentable.



2.2 Observación de técnicas, estudio de procesos y aplicación constructiva

A continuación, se describen los pasos identificados que tuvieron como consecuencia el desarrollo de una metodología empírica de estudio y aplicación para el uso de los desechos del mezcal, en el mejoramiento de construcciones en tierra cruda.

1. Observar y valorar las técnicas tradicionales constructivas que surgen del conocimiento empírico de los pobladores del sitio, para identificar las prácticas realizadas que mejoran los materiales de construcción con tierra. Conocimiento que en este caso llevo a los maestros mezcaleros a utilizar la vinaza y bagazo para la realización de adobes. A partir del trabajo práctico con estas costumbres fue posible hacerse preguntas con respecto a la relación entre los materiales de desecho, la resistencia y las costumbres constructivas.
2. Caracterización fisicoquímica de los materiales en laboratorios especializados, que a partir de la observación y práctica constructiva fueron identificados como materiales que aportan un incremento en la resistencia de bloques de tierra. Conociendo sus propiedades será posible hacer preguntas en torno a las reacciones que provocan el incremento en la resistencia. Considerando las caracterizaciones realizadas por otros autores (Robles & Villalobos 2008) y (Irisarri, 1996) fueron seleccionados las siguientes pruebas de estudio:
 - Muestras de las vinazas: Secado en estufa, refractómetro, Método Kjeldahl, NMX-K-339-1971, Método de fenol-sulfúrico, Método ácido dinitrosalicílico (DNS), secado en estufa, calcinación en mufla, potenciómetro, densímetro.
 - Muestras de bagazo: Secado en estufa, calcinación en mufla, potenciómetro.
 - Muestras de tierra: Análisis gravimétrico, secado en estufa, análisis gravimétrico, potenciómetro.
3. Diseño y realización de mezclas, con el objetivo de realizar comparaciones entre distintas cantidades de los materiales, de los cuales se está realizando el estudio. Al estar enfocado en la construcción, es necesario medir la resistencia en mezclas bajo los esfuerzos de compresión, flexión y otros efectos en los bloques

de tierra. Con la participación de laboratorio especializado LIEC, ubicado en la ciudad de México, especialistas en control de calidad de materiales de concreto se seleccionaron las siguientes pruebas:

Pruebas piloto basadas en las normas para estudio de piso ASTM-C-1527, ASTM-C-97, ASTM-C-99, ASTM-C-1353 / ASTM-C-241 UNE-EN 14617-9:2005, ASTM-C-97.

4. Diseño y construcción de prototipo a partir de las mezclas estudiadas que hayan reportado una resistencia aceptable para su uso en construcción.
5. Evaluar tiempos y costos de ejecución, uso de los materiales en torno a la mejora futura de las mismas aplicaciones.
6. Realización de estancia de investigación en un país que tenga estudios especializados para realizar preguntas en torno a las mejoras y usos de los materiales que se están utilizando. A partir de esto acceder a nuevas fuentes de información y replantar líneas resultantes de las pruebas realizadas anteriormente.
7. Evaluación de investigación en torno a los resultados obtenidos para conocer si la metodología planteada afirma o niega la hipótesis que dio vida a los conocimientos aquí establecidos.

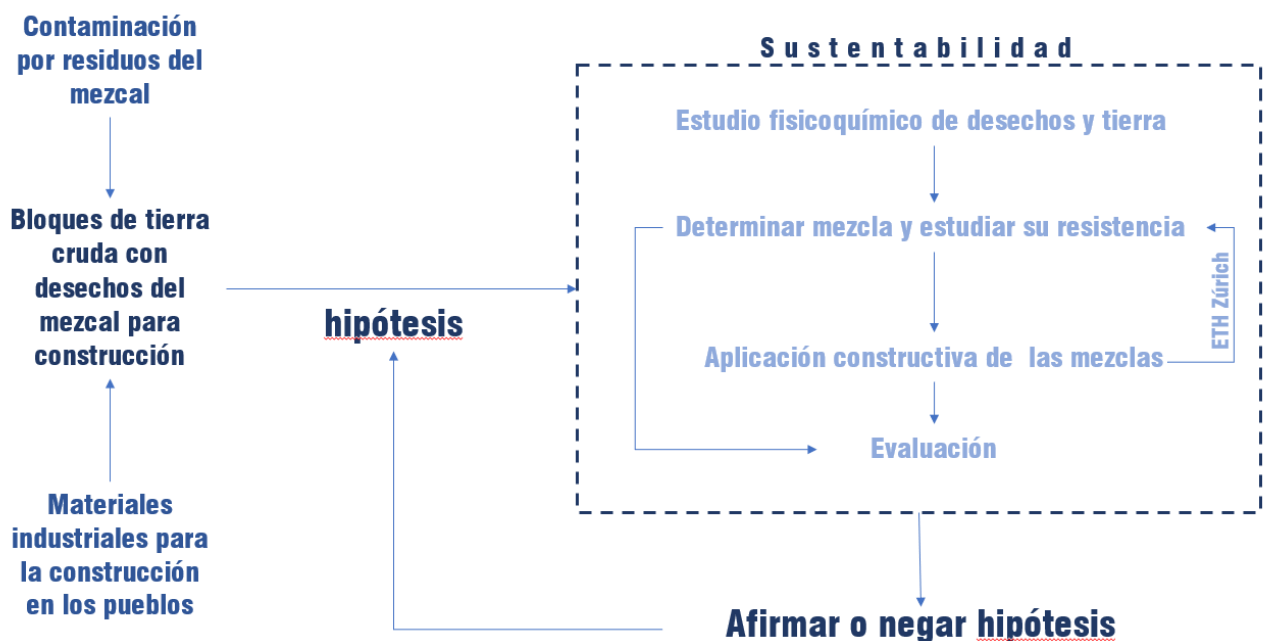


Figura 3: Metodología de aplicación.

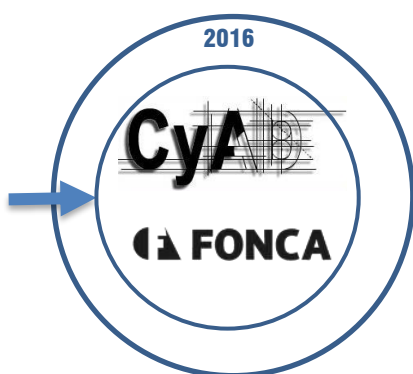
Capítulo 3.0 Del mezcal a la tierra

La primera etapa de la investigación fue posible realizarla gracias al FONCA y al Programa de Fomento a proyecto y coinversiones 2015. Constó de realizar los estudios fisicoquímicos y de control de calidad en los laboratorios. Se estudiaron muestras que obtenidas del palenque La Candelaria, ubicado en Santa Catarina Minas, propiedad del mezcalero con quien se inicio la colaboración antes mencionada. Este apoyo culmina con la construcción de un prototipo en el mismo pueblo y la publicación del libro “mezcal y tierra” que relata la experiencia creativa de la construcción y el discurso sentimental de cada uno de las personas involucradas.

A partir de la construcción fueron generadas preguntas en torno a las proporciones de las mezclas utilizadas, lo que hizo posible realizar una estancia de investigación en suiza, apoyada por la Catedra de Construcción Sostenible de la ETH Zúrich en Suiza y la marca de mezcal Del Maguey Single Village, generando nuevas preguntas de investigación y resultados que afirman el aumento en las resistencias y el comportamiento de la vinaza con los bloques de tierra.

El conocimiento científico ha impulsado las actividades productivas del pueblo a un nivel industrial. Conocimiento responsable de difundir la “mala reputación” hacia las construcciones con tierra, desprestigiando los saberes milenarios pasados de voz a voz. Por tal motivo, es necesario que surjan, desde esta dimensión científica, propuestas metodológicas que permitan soluciones integrales para las actividades del mezcal y la construcción con subproductos. No obstante, desprender este conocimiento de lo cotidiano y la realización de una metodología científica no es suficiente para crear una obra viva.

3.1 Caracterización fisicoquímica, diseño de mezclas y control de calidad



Para realizar la caracterización fisicoquímica fue necesario tomar muestras del palenque La Candelaria en recipientes de vidrio de 500 ml, con los cuales fue posible transportar vinaza proveniente de las ollas de destilación del lugar mencionado, bagazo proveniente de la destilación y tierra del sitio. Estas muestras fueron entregadas al Ingeniero en Alimentos Omar Haddad Morales para realizar los estudios correspondientes en laboratorios de la UAM Iztapalapa.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos a partir de este estudio.

Los componentes contenidos en la vinaza resultaron de origen orgánico. Se realizaron diferentes análisis a la muestra de vinaza para identificar los componentes principales en ésta, resultando muy similares a otras composiciones de vinazas reportadas anteriormente. Las proteínas, azúcares, gomas y minerales en combinación forman polímeros, los cuales, al acomodarse alrededor de las partículas de arena, arcilla y fibra ayudan a dar mayor estabilidad y plasticidad a la mezcla, reduciendo el uso de agua.

El polímero formado de proteínas, azúcares y gomas se unen a las moléculas con polaridad negativa de los silicatos contenidos en la tierra, envolviendo a la fibra, a los granos de arcilla y la arena, ocasionando una acción plastificante en la mezcla, resultando más conexiones que estabilizan la mezcla de tierra y fibra, con esto se reduce el uso de agua y genera una mezcla más resistente. La arcilla tiene un tamaño promedio de .002 mm y la arena de .05mm a 20 mm. Recordemos que una gota de agua tiene un diámetro aproximado de 2 mm y en una gota hay millones de moléculas de agua formando enlaces con los componentes de la tierra y el polímero de la vinaza.



Foto 3: Muestras obtenidas del palenque para realización de pruebas físicas y químicas. Fuente: Archivo propio.

El polímero de la vinaza es aproximadamente 100 veces más grande que una molécula de agua y se acomodan alrededor de la tierra y fibra por interacciones polares.

Como se puede observar, los resultados obtenidos muestran el nitrógeno relacionado con la cantidad de proteínas contenidas en la vinaza, la cantidad de carbono y los azúcares contenidos en ella. Considerando que se reportan composiciones similares para residuos de caña de azúcar, puede identificarse a este producto como un polímero, formado por proteínas, azúcares y sólidos en suspensión, los cuales actúan como fluidificantes o plastificantes para la tierra (García & Rojas, 2005).

El contenido de humedad nos da un parámetro para conocer la humedad inicial, la humedad de equilibrio, y la humedad crítica. Con esto resulta posible estandarizar los procesos de mezcla, su uso y calidad de este subproducto.

La medición de pH es un parámetro obtenido para conocer la acidez en la mezcla y conocer si esta afecta significativamente los resultados en la construcción.

Y finalmente, la medición de cenizas nos da una relación de la cantidad de minerales encontrados en la muestra, con la cual fue posible detectar la presencia de magnesio y calcio, correspondiendo a la procedencia vegetal del subproducto.

Paralelamente se realizaron pruebas a las fibras recuperadas del palenque para conocer su composición y la forma correcta para tratarlos.

De los valores reportados en las pruebas, la medición del pH en la fibra resultó de naturaleza neutra, lo cual nos indica que no ha entrado en algún proceso fermentativo o de acidificación, por lo tanto, no aportará acidez significativa a la mezcla que se realice con este material. La medición de la humedad nos indica que tiene una cantidad de agua que otorga flexibilidad.

En las muestras de tierra se realizaron pruebas de humedad, con el fin de conocer la capacidad de retención de agua, la humedad en equilibrio y la humedad crítica del tipo de suelo seleccionado. Una vez teniendo registradas estas propiedades es posible el entendimiento de la relación de este tipo de tierra con el complejo polimérico de la vinaza. La medición del pH permite conocer los niveles adecuados para evitar que, al mezclarse la tierra y los subproductos se neutralicen algunos grupos químicos que aportan beneficios a estas mezclas.

En síntesis, los componentes principales encontrados en la vinaza actúan como elementos *fluidizantes* al mezclarse con la tierra. Esto permite suponer que los bloques con estas mezclas sean más resistentes por la adhesión entre las arcillas de la tierra, lograda por la composición de los desechos del mezcal.

A partir de la caracterización química explicada anteriormente se pudo verificar que los desechos del mezcal funcionan a nivel partícula al mezclarse con la tierra. El uso de la vinaza y el bagazo supone un amarre mecánico entre las cadenas de los limos y las arcillas, lo que mejora las propiedades del material al momento de formar elementos constructivos de tierra cruda.

Ahora bien, para conocer los valores de las mejoras realizadas por los subproductos al integrarse en la mezcla de tierra, se diseñó una prueba piloto de control de calidad para determinar si la vinaza aporta o no cambios significativos en la resistencia a la compresión y a la flexión. A su vez fueron realizadas pruebas de abrasión en las muestras elaboradas.

Dentro de esta metodología se establecieron tres tipos de mezclas diferentes, tomando en consideración la técnica tradicional de hacer adobes. De acuerdo con las tradiciones del pueblo se requiere de un volumen de tierra por un tercio del mismo volumen de fibra. Es necesaria agua suficiente para realizar la mezcla plástica que conforma los bloques de tierra.

Para las primeras dos mezclas, el tipo de tierra y la cantidad de fibra fueron las mismas. Se utilizó un *bote medida* de 19 litros llenado con 30 kg de tierra. La tierra fue mezclada con 4 kg de bagazo de maguey, correspondiente a un tercio en volumen del *bote medida*. La única variación entre ambas mezclas fue la utilización de 9 litros de agua en una (muestra 3), y 9 litros de vinaza en otra (muestra 2) para lograr la mezcla plástica. La tercera mezcla utilizó el mismo volumen y peso de bagazo, la misma cantidad de tepache, pero se utilizó un *bote medida* con 19 kg de tierra saturada con vinaza (muestra 1).

Tierra Saturada Con					
	Tierra	Vinaza	agua	vinaza	Bagazo
Muestra 1		19kg		9 l	4kg
Muestra 2	30kg			9l	4kg
Muestra 3	30kg		9l		4kg

Cuadro 1: Proporciones y materiales utilizados para la realización de las mezclas.

Se realizó la mezcla de las tres muestras en tinas de laboratorio, mezclando de manera manual y dejando reposar las mezclas por 24 horas.

Posteriormente se realizó el pisado de la mezcla con los pies. Estos ejercicios prácticos tuvieron la premisa de mantener la técnica ancestral utilizada en el pueblo, lo más cercana posible. Al haber logrado la homogeneización de la mezcla se realizaron bloques de distintos tamaños, de acuerdo con las especificaciones del laboratorio. El proceso de pisado fue realizado por un lapso de 3 horas. Estos bloques fueron secados las primeras 48 horas dentro del laboratorio, evitando un cambio brusco en la temperatura, por ende, la modificación no adecuada en la estructura de los bloques conformados por tierra cruda.

Por último, se dejaron secar los bloques de tierra al sol por un periodo de 29 días, logrando el secado recomendado por los laboratorios.

Los bloques realizados fueron sometidos a las pruebas universales antes descritas. Al realizarlas, fue posible confirmar el aporte en el aumento de la resistencia a los esfuerzos que le brindó la vinaza a la tierra.

La muestra 2 con vinaza obtuvo un valor de 1.06 MPa (kgf/cm²) de resistencia a la compresión. Valor mayor comparado con 0.94 MPa (kgf/cm²), registrado en la mezcla 3, a la cual no se le adicionó el desecho. La muestra 1 obtuvo un resultado de 0.76 MPa (kgf/cm²), siendo esta la de menor resistencia a la compresión de todas.

Efectos similares fueron observados en las pruebas de flexión, donde la muestra 2 registró una resistencia de 2.06 MPa (kgf/cm²), mayor al 0.50 MPa (kgf/cm²) registrado en la muestra

3. Nuevamente la tierra que había sido expuesta a los desechos de manera previa fue la de menor resistencia a la flexión con 0.42 MPa (kgf/cm²).

Como se comentó anteriormente, con estos resultados es posible verificar que la vinaza aporta un aumento en la resistencia a los esfuerzos, al mezclarse con tierra normal. Sin embargo, al mezclarse con la tierra saturada de vinaza resultó en una disminución considerable a los esfuerzos en los bloques realizados con esta mezcla. A partir de estos resultados podemos afirmar que hay un punto de saturación máxima de vinaza en la tierra, que al sobrepasarse pierde propiedades de resistencia.

Es posible que la sobresaturación del polímero en la tierra haya influenciado en el secado de las piezas y consecuentemente, en la resistencia de los esfuerzos. Derivado de estos efectos se demuestra que pruebas adicionales serán necesarias para determinar los límites de estas mezclas.

Al realizarse las pruebas de desgaste por abrasión fue posible observar que la muestra 1 tuvo la de mayor resistencia, pues en las 400 revoluciones realizadas sobre el material se registró un desgaste de 3.84 mm, inferior a 9.2 mm registrado en la muestra 2 y a 7.67 mm registrado en la muestra 3.

PROPIEDAD	muestra 3		muestra 2		muestra 1	
	VALOR	VALOR	VALOR	VALOR	VALOR	VALOR
Resistencia a compresión. MPa (kgf/cm²)	0.94	9.6	1.06	10.8	0.76	7.8
Resistencia a la flexión (módulo de ruptura) MPa (kgf/cm²)	0.50	5.1	2.06	21.0	0.42	4.3
Desgaste por abrasión (400 revoluciones). Mm	7.67		9.21		3.84	
Impacto mm	>600		>600		>600	

Cuadro 2: Resultados de las pruebas de compresión y tracción realizadas por el laboratorio LIEC.

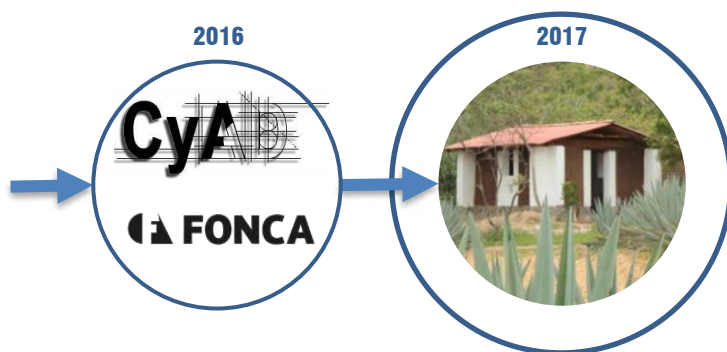
Fuente: Elaboración propia con base en reporte de resultados.

En esta prueba fue posible observar que la muestra 2 fue la que menor resistencia tuvo a la abrasión, siendo esta la de mayor resistencia a los esfuerzos de compresión y flexión. En este sentido, también será necesario realizar nuevas pruebas para conocer cuál de las variables en la mezcla aporta la resistencia al desgaste y cuál la resistencia a la compresión. Sin embargo, haciendo un primer acercamiento es posible concluir que la resistencia a la abrasión depende de la fibra utilizada.

Por otro lado, también se detectó a simple vista que la tierra saturada en vinaza, utilizada para realizar la muestra 1, tenía una proporción de fibra en su composición. Esto se debe a que los desechos líquidos y en fibra son arrojados en el mismo sitio al momento de su proceso. Si comparamos su peso de 19.76 kg con los 28.46 kg de la tierra sin vinaza, ambos pesos provenientes del volumen del *bote medida*, es posible concluir que los 10 kg de diferencia en el peso es por las fibras que el material ya contenía.

Estas pruebas realizadas determinan, dentro del método científico, el conocimiento empírico de la elaboración de material de construcción a partir de los desechos del mezcal, aprovechados como subproductos para la construcción en tierra cruda.

3.2 Vivienda de tierra compactada



Una consideración importante dentro del desarrollo de esta investigación es la réplica de la técnica constructiva. A partir de las problemáticas existentes en el pueblo de Santa Catarina Minas, fue entendible que además de una experimentación vía científica, como la

desarrollada en páginas anteriores, era necesaria la interacción de la gente local del pueblo para que aprendieran y aplicaran las ventajas del uso de los subproductos del mezcal en las técnicas de tierra cruda.

El proyecto arquitectónico y su ejecución representa la última etapa de la experiencia realizada con el apoyo del FONCA, una experiencia pensada en la dimensión necesaria para inscribir

esta experiencia creativa dentro del conocimiento científico. Dimensión compuesta por la explosión y la configuración, dominada por el impulso de comprender el fenómeno de la estabilización de tierra con subproductos.

“Ver para creer” es un dicho popular que hace referencia a la necesidad de poner algo en práctica para saber si funciona o no. Frase dicha por los pobladores cuando, en entrevistas, se planteó una vivienda de tierra cruda que pudiera ser realizada en tiempos veloces.

Teniendo el prototipo diseñado fue necesario llevarlo a la realidad con la distintos actores involucrados en el proceso de edificación. Esto hizo posible tener a escala real un ejemplo de una vivienda con esta técnica constructiva. Por último, el prototipo edificado tuvo la posibilidad de ser sometido a juicio por los pobladores, opiniones que se relataran más adelante y que quedan registradas en la publicación *Mezcal y Tierra* (Montes, 2017).

Para la construcción del prototipo se seleccionó un terreno donde se encuentran un grupo de cuartos de adobe realizados por el tío de Eduardo ángeles, hace más de 25 años. Cuartos desgastados por el clima, que podrían ser rescatados para nuevo uso, pues son testigo fiel de la dureza y la resistencia de las técnicas antiguas de construcción.

Fue así como se tomó la decisión en conjunto de crear en este sitio una unidad piloto de experimentación con los desechos del mezcal. El proyecto *La casa del tío* se planteó como una muestra de tecnologías regionales que pueden ser aprendidas y utilizadas por otros productores y por la gente del pueblo en su vida diaria.

Para lograr la edificación del prototipo fueron seleccionados seis estudiantes de arquitectura de la Universidad Autónoma Metropolitana unidad Xochimilco, con la intención de realizar una práctica constructiva de dos semanas. Alumnos del profesor David Mora Torres que fueron elegidos por su desempeño en actividades extracurriculares previas. Seleccionados para realizar un trabajo continuo, viviendo la forma de vida de los pobladores de Santa Catarina Minas. Quince días que se sumaron a un total de seis semanas de ejecución de la obra.



Foto 4: Prototipo construido. Fue posible utilizar 4,000 litros de vinaza para la construcción y 4 m3 de bagazo. La técnica de tierra compactada permitió construir los muros del prototipo en una semana. No fue requerida agua para la construcción de los muros. Fuente: Archivo propio.

3.3 Zúrich y metodologías aplicadas



A partir de la publicación del libro, dos procesos se llevan de manera paralela que resultan en el desarrollo de una estancia de investigación en la catedra de construcción sustentable en la ETH de Zúrich en Suiza. A partir de correos con el Dr. Prof. Guillame Habert, coordinador de la cátedra, fue posible tener una opinión acerca de los resultados reportados en las primeras pruebas realizadas en los laboratorios LIEC. La resistencia a la flexión y el aumento reportado

fue motivo de interés, por lo que decidí realizar una estancia que estuviera enfocada a comprender la relación entre el incremento.

Paralelamente Ron Cooper, fundador de la marca *Del Maguey Single Village* se acercó a mí con el interés de realizar un trabajo en conjunto que ayudara a resolver su problemática de vinaza. Cabe destacar que la empresa es la principal exportadora de la bebida en el mundo. *Vida*, su marca representativa ubicada en San Luis del Río, en el municipio de Tlacolula de Matamoros, estado de Oaxaca tiene una producción masiva, por lo cual, era motivo de interés generar estrategias de mitigación para esto. Con la participación del director de sustentabilidad de la empresa, Gabriel Bonfanti, fue posible realizar un acuerdo, en el cual, *Del Maguey* apoyaría económicamente una parte de la investigación, a cambio de la realización de estrategias de mitigación para sus residuos. Esto resultó en la realización de un bloque de tierra de 18 metros de largo, 4 metros de ancho y 3.50 de espesor, en la orilla de la fábrica de mezcal, el cual tendría la intención de funcionar como una barrera protectora contra el río. Bajo el lema “dios no crea nueva tierra” se comienza con el proceso de mitigación que resultó en el uso de 100, 000 litros de vinaza y 1000 kg de bagazo.



Foto 5: Proceso de construcción de bloque de tierra de 18 metros x 4 metros x 3.60 metros de alto donde se utilizaron 150,000 litros de vinaza y 100 toneladas de bagazo. Fuente: Archivo propio.

Al considerar el contacto con el agua fueron realizadas mezclas con proporciones de cal en las primeras capas, además de aumentar la cantidad de fibra, lo que había demostrado una resistencia considerable al aplicar las pruebas de abrasión y desgaste.

A partir de estos desarrollos se establece que la vinaza a estudiar en Zúrich será proveniente de la fábrica de VIDA.

San Luis del Río se localiza en el Municipio Tlacolula de Matamoros del Estado de Oaxaca México, la localidad se encuentra a una mediana altura de 980 metros sobre el nivel del mar.

Considerando la metodología anteriormente realizada y posterior a la finalización del bloque de tierra y la obra civil realizada, fueron recuperadas las muestras de vinaza provenientes del sistema de filtración y contención del líquido. Se recuperaron 30 litros de la vinaza utilizados para la caracterización fisicoquímica anteriormente propuesta en la metodología, en esta ocasión también se requirieron estudios de los contenidos de alcohol que el líquido de desecho tiene, requeridos para tener los permisos necesarios para realizar la transportación del producto a Suiza. Posterior a la toma de muestras se realiza el viaje de estancia de investigación que abarcó de noviembre de 2018 a febrero de 2019.

Ya en Zúrich, al momento de enseñar los resultados de la primera prueba piloto realizada en el laboratorio LIEC de la ciudad de México al Dr. Guillame Habert y explicar el procedimiento tradicional de la utilización de residuos, dos cosas fueron representantes para él. En un inicio se le explicó que en el proceso de aplicación de la vinaza para la construcción, normalmente se aplicaba el líquido en un 30% del volumen total de la tierra que se iba a utilizar para realizar la mezcla y se dejaba reposando para el día siguiente, dependiendo de las condiciones del clima, añadir más vinaza y utilizar la mezcla para la realización de los adobes. Esta práctica de agregar líquido a la tierra días antes de usarse, además de ser la manera ancestral de realizar adobes, tiene la finalidad de hacer más manejable la tierra, además de suponer una mejor mezcla entre las partículas de la arena y las arcillas. Realizando esta acción se consideraba que al agregar vinaza en dos días la cantidad final de ésta se duplicaba en el bloque de tierra y por ende se aumentaba la resistencia. Durante toda los años de practica empírica del proyecto y los resultados de las pruebas piloto, se consideraba que los bloques de tierra resultantes con estas mezclas contenían al menos un 30% de vinaza, significando que por cada bloque de tierra, generalmente adobes de 40cm x 40 cm x 10cm, producido con 19 litros de tierra, 5.6 litros de vinaza eran considerados dentro del bloque. Suposición cuestionada por el Dr. Habert, en torno al procedimiento y la cantidad real de vinaza que se estaba utilizando para la mezcla y su efecto en la tierra. Era necesario establecer la cantidad

en masa de los materiales utilizados para así conocer el rango de incremento en la acción tradicional de hacer adobes, y el volumen, y partículas contenidas en cada uno de los elementos, para así establecer hipótesis de los efectos del incremento reflejado en la compresión y flexión de los bloques.

Fueron cuestionadas las conclusiones anteriormente obtenidas con el incremento de la vinaza relacionada al incremento de la resistencia, ya que para el Dr. Habert, agregar agua en dos días no suponía un aumento en el porcentaje real de la vinaza adquirida por el material, y por lo tanto, no era posible suponer que el incremento a la resistencia se relacionaba a la acción de poner más vinaza en la tierra. Para poder relacionar la resistencia del material a partir del polímero complejo que supone el líquido, era necesario considerar los sólidos contenidos en el líquido reportados por todos los estudios anteriormente consultados, para establecer un porcentaje real en masa de la cantidad de vinaza dentro de un bloque, proponer un rango de incremento real en masa del material y poder estudiar si existe relación entre el aumento en la cantidad de vinaza y el incremento en la resistencia a la flexión y compresión.

Fue necesario considerar que la tierra está conformada principalmente por arcillas y arenas en ciertas cantidades que representan parte de la masa total de un bloque de tierra cruda, y tomar en cuenta que para la formación del bloque de tierra es necesario un equilibrio en la masa de estos materiales. Siendo la arcilla la partícula más fina dentro de una mezcla de tierra usada para la construcción y el material más estudiado dentro de las construcciones de tierra, era necesario reducir la cantidad al interior de la mezcla y suponer que esta masa sería sustituida por los sólidos contenidos en la vinaza. A su vez, en la práctica de la construcción con tierra, disminuir la cantidad de arcilla en una mezcla representa quitar cohesión en ella por lo tanto, si al disminuir este material y aumentar la vinaza en un bloque de tierra este mantiene o aumenta su resistencia será posible verificar que la vinaza es un polímero que realmente supone un aglutinante de mejora para la tierra y por ende, una mejora en las construcciones terreas.

Para realizar la etapa de experimentación en ETH, fueron tomados en cuenta los 2683 mg/l de sólidos contenidos en la vinaza tomada de la fábrica VIDA. A partir de esto fue posible considerar que el poner un volumen de 30% de vinaza líquida realmente representa un 3% de

sólidos contenidos de vinaza cuando el bloque se seca, formando parte de la masa total del bloque.

Parámetro	Método
Ph	3.7
Sólidos Totales (mg/L)	26832

Cuadro 3: Resultados de caracterización química realizada para las vinazas de la fabrica de Mezcal de San Luis Del Río. Los sólidos totales fueron clave para la realización metodológica de los experimentos enfocados a encontrar la relación y comportamiento de la vinaza como polisacarido. Fuente: Elaboración propia con base en resultados de laboratorio.

A partir de la fórmula utilizada anteriormente: volumen de tierra + 30% de vinaza + 30% de bagazo, se estableció el rango de trabajo para los experimentos de laboratorio, eliminando la variable del bagazo, ya que este material no había sido posible transportarlo de México a Suiza por los problemas aduanales que esto implica, además de que existe mayor documentación de los usos de la fibra y sus propiedades en las mezclas de tierra.

Para tener resultados apropiados se consideraron las características de la tierra utilizada para la construcción de adobes en el estado de Oaxaca. Partiendo de la practica en campo, se aplicaron porcentajes distintos de arenas y arcillas para conformar una tierra que se comportara lo más parecido a la plasticidad del material utilizado en la construcción del prototipo.

Se escogió arcilla Stroba Terra Hotline: 0526353030 y arena Standard Sand Certife Cen EN 196-1 iso 579:2009 para poder crear una variable de tierra lo más estandarizada posible y un control dentro de los experimentos.

Se realizaron tres tipos de variables, aumentado la cantidad de arenas y disminuyendo la cantidad de arcilla, para así encontrar la muestra que imitara de mayor manera las características de la plasticidad del material utilizada en Oaxaca. Todas las muestras fueron coladas en moldes de acero inoxidable de 4 cm x 4 cm x 16 cm, obteniendo bloques de tierra con las dimensiones necesarios para ser sometidos a la maquina universal de esfuerzos.

A partir de la definición de las cantidades de gramos en arcillas y arenas se diseñó un experimento que considerara aumentar los sólidos contendidos en la vinaza en un rango

considerable, tomar en cuenta la masa que estos aportarían en el bloque conformado de tierra al secarse y disminuir estos sólidos en la cantidad de arcilla de la mezcla. Los resultados reflejarían si los sólidos en la vinaza están relacionados con el aumento a la resistencia y si estos se desempeñan como las partículas finas de las arcillas que le dan estabilidad a las mezclas de tierra cruda.

Considerando el 3% de sólidos contenidos de vinaza como la cantidad total de material dentro de la mezcla para un bloque, se establecieron incrementos significativos para poder demostrar su relación con la resistencia a la compresión y flexión del material. Para aumentar los sólidos contenidos en una cantidad de volumen líquido de vinaza, se diseñó un proceso de evaporación y concentración del líquido lo que permitiría estudiar si al momento de evaporarse el agua contenida en la vinaza y quedar solo los sólidos contenidos en ella estos se desempeñarán como partículas finas de arcilla en la mezcla. Mayor cantidad de sólidos contenidos en la vinaza utilizada para hacer la mezcla podría representar mayor resistencia a la compresión y tracción del material. A partir de estas suposiciones se definieron las siguientes variables de mezclas, siendo cada una de ellas una prueba de cantidad de materiales en masa y procedimientos:

Referencia día uno y día dos (Red day1day2): Variable que utiliza agua e imita el procedimiento de campo de añadir cierta cantidad de líquido un día, reposarlo por 24 horas para aplicar agua nuevamente previo a la realización de los bloques.

Realidad (reality): Variable que utiliza vinaza e imita el procedimiento de campo de añadir cierta cantidad de líquido un día, reposarlo por 24 horas para aplicar agua nuevamente previa a la realización de los bloques.

Referencia todo junto (ref all tog): Variable que utiliza la misma cantidad de vinaza utilizada en la variable anterior, pero añadida toda en un mismo día. .

Cerca de la realidad (close to the reality): Variable considerando el contenido sólido de 26.83 g / l dentro de la vinaza, que aumenta la cantidad en masa dentro de la mezcla, el tiempo del procedimiento no fue considerado, esta muestra funcionará como referencia para el aumento de la vinaza.

Prueba 1 (Test1): Aumento del contenido de sólidos en la vinaza y disminución de la partícula de arcilla fina, ambas en un 3%.

Prueba 2 (Test2): Aumento del contenido de sólidos en la vinaza y disminución de la partícula de arcilla fina, ambas en un 10%.

Prueba 3 (Test3): Aumento del contenido de sólidos en la vinaza y disminución de la partícula de arcilla fina, ambas en un 20%.

Prueba 4 (Test4): Aumento del contenido de sólidos en la vinaza y disminución de la partícula de arcilla fina, ambas en un 30%.



Foto 4: Muestras realizadas del primer grupo: El color muestra el incremento en la concentración de la vinaza de derecha a izquierda, esto se puede observar en la tonalidad de color; menor vinaza, más claro; más oscuro, mayor concentración de vinaza. *Vida del Maguey Single Villague*, mezcal del cual fueron realizados los estudios. Fuente: archivo propio.

Fueron realizadas tres piezas de cada una de las muestras, fabricadas y puestas a secar por un periodo de 20 días en condiciones ambientales del laboratorio. Pasando los días de secado fue posible ver que las muestras que contenían el aumento en la vinaza no secaban y visualmente era posible observar la dificultad del bloque en evaporar el líquido. Fue evidente que las condiciones cerradas del laboratorio en un invierno en Zúrich están totalmente alejadas

de las condiciones soleadas y secas de Oaxaca, por lo que el tiempo de secado en condiciones ambientales no iba a poder llevarse a cabo.

Fue posible observar que, a mayor concentración de vinaza, la capacidad de absorber los sólidos contenidos de la tierra disminuía, dando como resultado una sobresaturación de la tierra y la expulsión de los sólidos contenidos en el bloque.

Para las muestras que sí secaron, fue posible observar un incremento sus propiedades de pegamento lo que representó una dificultad de trabajar el material a partir del aumento del 3% en el concentrado de la vinaza. A partir del 10% de incremento, la dificultad de sacar las piezas del molde se hace notable, al estar totalmente pegadas al acero.

En el caso de las muestras que no se secaron, fueron sometidas a un horno a 40°C para acelerar el proceso de secado. Con estas condiciones se intentaron imitar las condiciones en las que el material está en la realidad.

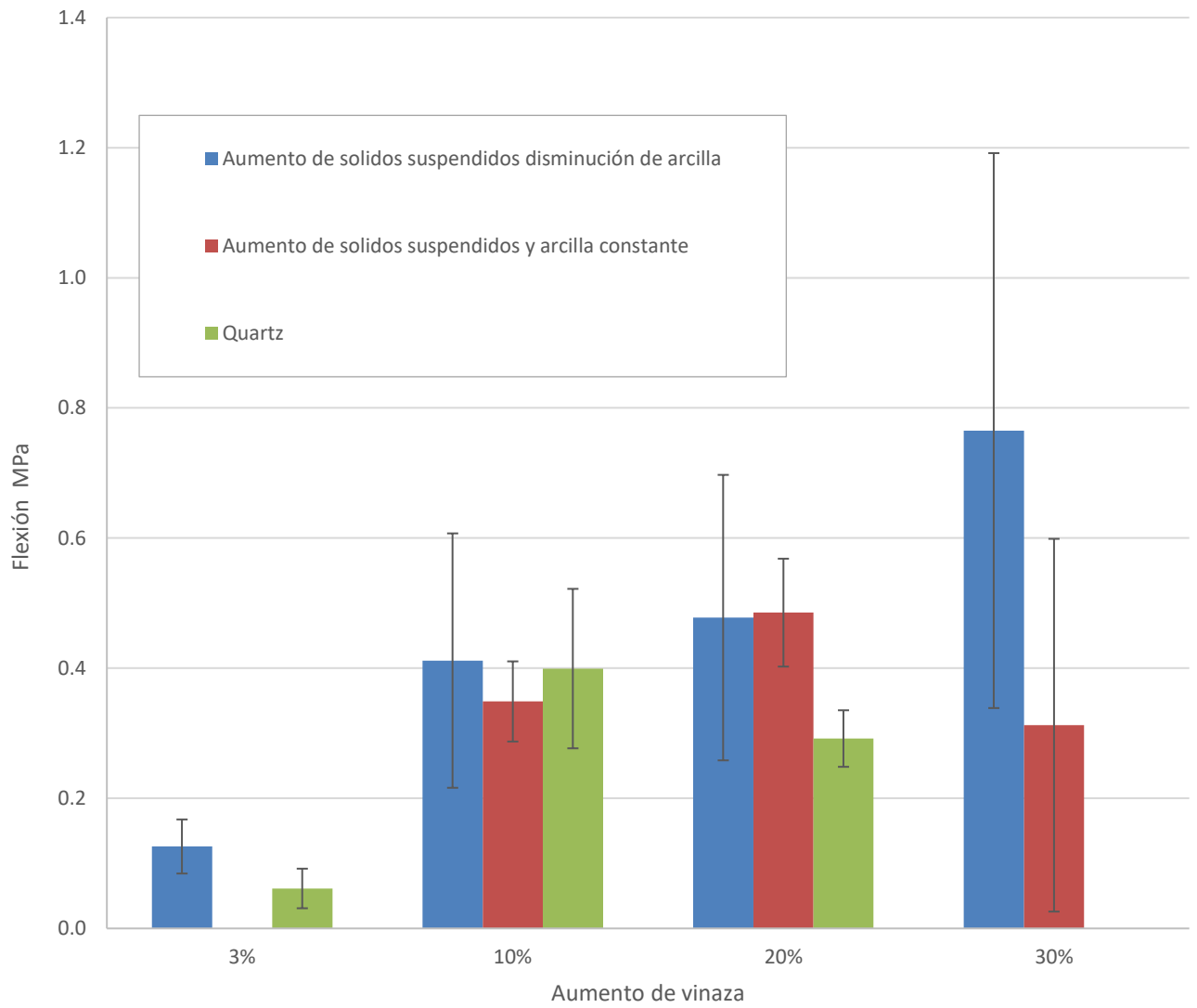
Considerando los tiempos de secado lento, dentro de las primeras muestras se eligió realizar un experimento en el cual la variación de la arcilla no existiera, haciendo constante sólo el aumento en la cantidad de sólidos contenidos de la vinaza. Esto fue suponiendo que el problema de secado, además de las condiciones no favorables dentro del laboratorio, era generado por la disminución de la arcilla. Para este experimento solo se consideró realizar muestras con un rango de aumento de 10%, 20% y 30% en el volumen de los sólidos contenidos en la vinaza, llamando cada una de las pruebas solo por el incremento del porcentaje.

Por último, fue diseñada una última variable, eliminando totalmente la partícula fina de la arcilla por arena de cuarzo (quartz). Considerando esta arena como la micropartícula de la arcilla necesaria para realizar la construcción. La intención de esta variable era demostrar en un escenario drástico la relación entre la vinaza y la resistencia. Los resultados de este experimento ayudarían a comprender si la resistencia en aumento de los bloques de tierra con vinaza está relacionada con un efecto entre las arcillas, o si esta resistencia se debe a que la vinaza es un pegamento posible de pegar partículas finas de distintos materiales. Se realizaron bloques de tierra en triplicado con las mismas características de las primeras pruebas y se pusieron a secar en horno para poder ser sometidos a máquina universal de resistencia.

Al realizar las pruebas universales de compresión y flexión fue posible observar que el incremento de la concentración en la vinaza hizo posible un incremento de hasta 8 veces la resistencia a los distintos esfuerzos. Esto es posible comprobar a partir de observar los resultados mostrados en el siguiente cuadro.

Cuadro 4: Resistencia de las pruebas realizadas al esfuerzo de flexión. Es posible observar el incremento relacionado con la concentración de la vinaza. En el primer grupo de pruebas se aumentó la cantidad de sólidos contenidos en el porcentaje indicado, pero fue reducida la arcilla en la misma proporción. El segundo grupo hace referencia a las muestras que mantuvieron la arcilla constante al incrementar los sólidos contenidos. El último grupo de resultados corresponde a las muestras realizadas con arena de cuarzo.

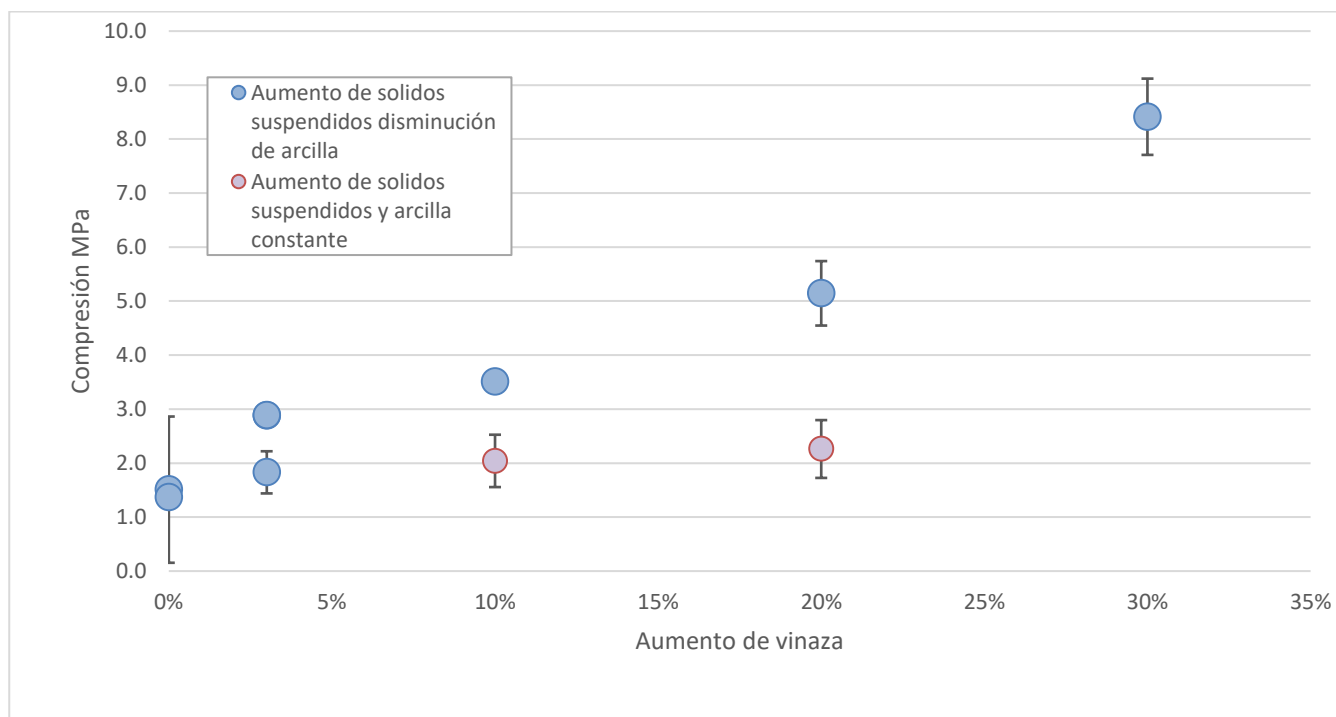
Aumento de		
Prueba	vinaza	MPa a flexión
Close to reality	3%	0.168
test 1	3%	0.126
test 2	10%	0.412
test 3	20%	0.478
test 4	30%	0.765
10%	10%	0.349
20%	20%	0.485
30%	30%	0.312
Quartz Reality	3%	0.061
quartz 10%	10%	0.399
quartz 20%	20%	0.292



Grafica 1: Incremento de la resistencia a flexión de acuerdo con el porcentaje de concentración de la vinaza. Es posible observar que en todas las mezclas hay un aumento similar. Fuente: Elaboración propia con base en resultados obtenidos de muestras universales.

Cuadro 5: Resistencia de pruebas realizadas al esfuerzo de compresión. Es posible observar el incremento relacionado al porcentaje de concentración en la vinaza. En el primer grupo de pruebas se aumentó la cantidad de sólidos contenidos en el porcentaje indicado, pero fue reducida la arcilla en la misma proporción. El segundo grupo hace referencia a las muestras que mantuvieron la arcilla constante al incrementar los sólidos contenidos. No fue posible probar el grupo de cuarzos por el tiempo de estancia de investigación.

Prueba	Aumento de vinaza	MPa
Real all together	0%	1.51
Ref D1D2	0%	1.37
Reality D1D2	3%	1.83
Close to reality	3%	2.88
test 1	3%	2.89
test 2	10%	3.51
test 3	20%	5.14
test 4	30%	8.41
10%		2.04
20%		2.26



Grafica 2: incremento en las pruebas realizadas a compresión. Al igual que en la flexión es posible observar el incremento de la resistencia relacionado al porcentaje de concentración de la vinaza.

A partir de esta estancia de investigación es posible concluir que la cantidad de vinaza utilizada está relacionada a las propiedades de resistencia que adquiere el material. Los experimentos realizados abren preguntas acerca de las mejoras en el proceso de aplicación de la vinaza, pero es posible identificar los siguientes resultados.

1. Más vinaza significa mejores propiedades de resistencia a la flexión y compresión.
2. Estos experimentos no muestran un límite en el aumento de la concentración de la vinaza y el aumento a la resistencia. Sin embargo, a partir del aumento en el 20% de concentración en los sólidos suspendidos del líquido, la mezcla se pega en el molde y materiales de trabajo haciendo la manipulación de complicada.
3. La vinaza es independiente de la arcilla, la resistencia depende más de las propiedades del pegamento polisacárido que de una reacción entre la arcilla.

Capítulo 4.0 Reflexiones finales en torno a la resistencia, rapidez vs economía e impacto ambiental

A partir del trabajo realizado dentro de esta investigación es posible conocer que la vinaza y el bagazo son dos desechos provenientes de la destilación del mezcal, los cuales resultan contaminantes al momento de su desalojo en el medio ambiente, debido al alto contenido de sólidos y pH ácido, además de la tendencia en el aumento de su producción. A partir de la experiencia con los productores fue posible aprender, aplicar y desarrollar una técnica que utiliza estos residuos para la fabricación de bloques de tierra cruda, mejorando sus propiedades de resistencia. Con base en la caracterización fisicoquímica realizada a cada uno de los elementos que componen las mezclas, se concluye que la vinaza es un polímero complejo que actúa como una goma entre las partículas de la tierra, lo que puede explicar el aumento de resistencia a la compresión y flexión. Por su parte, el bagazo aporta un amarre mecánico, debido a la composición de las fibras que actúan prolongando la forma lineal y delgada de las conexiones entre las arcillas.

Al añadir vinaza en una mezcla de tierra y bagazo para realizar bloques de tierra, fue posible reportar una resistencia a la compresión de 1.06 MPa y de 2.06 MPa a la flexión, lo que demuestra una diferencia significativa, si es comparado con 0.94 MPa de resistencia a la

compresión y 0.50 MPa a la flexión reportados por una mezcla realizada con la misma cantidad de tierra y bagazo, pero variando la vinaza por agua limpia.

Fueron realizados experimentos de compresión y flexión en una mezcla realizada con tierra saturada de vinaza proveniente de la posa de desalojo de una fábrica de mezcal. A esta tierra saturada se le añadió bagazo y vinaza en las mismas proporciones que las pruebas realizadas con agua limpia y vinaza. Estas muestras demostraron ser los más débiles a los esfuerzos, cuando se esperaba que fueran la mayor resistencia al haber estado en contacto con el líquido por más tiempo y tener mayor cantidad de vinaza. Por tal motivo, fue necesario indagar acerca de los límites y relación que la cantidad de vinaza puede aportar a materiales de tierra cruda.

Para investigar los límites en las cantidades se realizó una estancia de investigación en la Catedra de Construcción Sostenible de la ETH Zúrich, con lo que se pudo comprobar que la concentración de la vinaza está relacionada con el aumento en la resistencia. A mayor concentración de sólidos contenidos en la vinaza, mayor es el aumento a la flexión y compresión en el material, observando un incremento de 7 veces en una concentración del 30% de vinaza. A pesar de no haber encontrado dentro de los rangos establecidos para los experimentos un límite en el aumento de la concentración y la resistencia, fue posible comprobar que a partir de 20% de concentración en la vinaza el manejo de la mezcla es muy complicado, lo que dificultó sacarlo de los moldes, pues se había pegado completamente. Esto implicaría complicaciones en una aplicación real y el manejo de grandes volúmenes de masa. Por otro lado, fue necesario acelerar el proceso de secado mediante hornos que imitaran las condiciones que la intemperie de Oaxaca tiene, muy diferentes a un ambiente aislado dentro de un laboratorio en el campus universitario en el invierno en Zúrich. Habrá que investigar más para reconocer si la cantidad de vinaza y su concentración son elementos que afectan en el secado, lo cual explicaría la poca resistencia reportada en las primeras muestras con la variable de tierra saturada, bagazo y vinaza, al no haber sido sometidos a un secado de hornos como se hizo en los laboratorios de la ETH.

Como parte de los últimos experimentos realizados en Zúrich es posible concluir que la vinaza es un líquido que estabiliza materiales no arcillosos, esto demuestra que el líquido puede llegar a mejorar las condiciones de cualquier tipo de suelo. Se necesita hacer énfasis en que el porcentaje de incremento a la vinaza, además de aumentar la resistencia en los esfuerzos,

demonstró ser un material que permite al bloque de tierra mantener su forma después de la falla. Al observar el registro en video de los experimentos, es evidente observar esta propiedad en las muestras lo que podría ser traducida a que una vivienda mantenga su estabilidad en un sismo sin colapsar. Se requieren estudios concretos para aunar en esta propiedad.

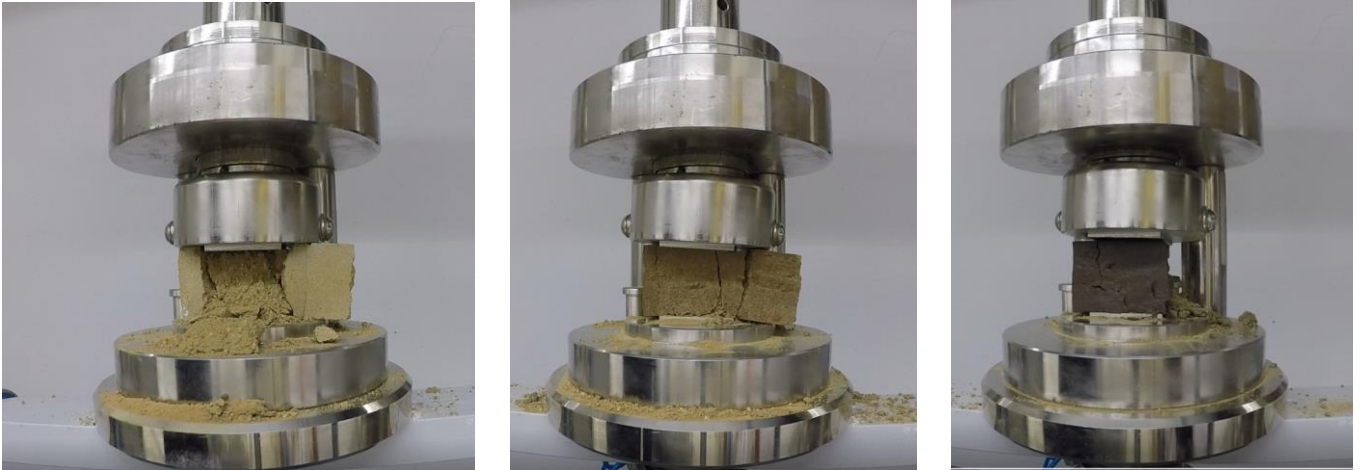


Foto 5: Es posible observar de derecha a izquierda el aumento de la resistencia conforme a la cantidad de concentración de la vinaza, siendo de estas fotos la más oscura la de mayor cantidad de vinaza, es posible observar que a mayor cantidad de líquido es menor el colapso del bloque.

A partir de la construcción de un prototipo de 16 m² de tierra vertida compactada con desechos del mezcal, es posible concluir que esta técnica representa un ahorro en el tiempo de ejecución de los muros, al comparar el tiempo necesario para realizar una construcción de las mismas dimensiones, pero con muros de adobes. Considerando 1 semana para la fabricación de 900 adobes que se utilizarán en los muros de la edificación, 1 a 2 semanas para el secado del adobe y una semana más para los muros, la técnica de tierra vertida representó un ahorro de por lo menos las semanas de fabricación y secado. De manera paralela fue posible observar interés en los pobladores locales al encontrar similitudes entre la técnica de la tierra pisada por los moldes utilizados, con un colado de concreto, pero algunos pobladores lo llamaron, colado de tierra. Algunos vecinos identificaron el proceso de pisado con el proceso realizado en Santa Catarina Minas para la molienda del agave, que se hace con un mazo de manera similar a como se apisona la tierra. Esto representa una opción en las estrategias de transmisión de los conocimientos ancestrales de construcción, también permite aprovechar la tendencia del alza del mezcal para promover técnicas de construcción relacionadas a esta industria.

Por otro lado, es importante recalcar que en la construcción de los metros cuadrados no fue utilizada una sola gota de agua para los muros ni cimentación, puesto que todo fue pegado con tierra, vinaza y bagazo. Fueron utilizados aproximadamente 4 m³ de bagazo y 4,000 litros de vinaza. No fue necesario llevar ningún material agregado extra a la tierra que se encontró en el sitio, lo que representó un ahorro de agregados en arenas y por lo tanto un impacto ambiental menor por causa de la construcción. Es importante notar que fue necesaria la transportación de la vinaza y bagazo desde la fábrica de mezcal al sitio de construcción en camionetas y depósitos de 200 litros.

Es evidente la necesidad de profundizar en las técnicas de tierra que permitan ir con los términos de desarrollo sustentable y la agenda de París de 2020. Utilizar los desechos del mezcal para las construcciones de tierra cruda surge como una sinergia entre las problemáticas ambientales y sociales que conllevan la producción del mezcal y la construcción con materiales que no son del sitio. Por un lado es posible comprobar que se evita el arrojado de estos residuos contaminantes, apoyando a la recuperación ambiental, ya que el entorno ha sido dañado por la práctica y manejo de los desechos del mezcal. El uso como aglomerante de construcción aporta características de mejora en las resistencias, lo que justifica no sólo el uso como una medida de mitigación para la industria del mezcal, además de ser un material de mejora en las construcciones de tierra.

Utilizar estos materiales en otras técnicas distintas al adobe permitió mejorar los tiempos de ejecución. Es importante demostrar que estos materiales pueden tener procesos y resultados formales distintos, considerando que actualmente las personas buscan viviendas que soporten los sismos y que les den un valor de actualidad e identidad en sus viviendas.

Al reciclar agua se está apoyando en el ahorro de agua potable necesaria para la realización de materiales como el cemento y concreto. Reciclar la vinaza no sólo evita el desalojo contaminante de este líquido en cuerpos de agua, además, evita la extracción de agua para la construcción de material. Por todo esto, se vuelve importante promover estrategias que permitan una optimización de los materiales.



Figura 4: Resultados sistémicos de la investigación. Cada uno de los resultados se vuelven líneas de investigación. Fuente: Elaboración propia.

Considerando este proyecto se hace visible que en un escenario de aplicación se podrían fabricar 3,000 viviendas al año con la producción del mezcal, esto evitarían el desalojo de los miles de litros de vinaza y las toneladas de bagazo, por ende, la contaminación de los grupos ambientales de esa zona. Las viviendas creadas tendrían propiedades de resistencia, junto con un diseño adecuado para utilizarlos en las regiones sísmicas. La utilización de estas técnicas ahorra tiempo de construcción y promueve la construcción sustentable en los pueblos, a partir de las tradiciones constructivas.

La utilización de los desechos del mezcal en bloques de tierra cruda se vuelve una opción sustentable para el desarrollo de los pueblos, a partir de una sinergia de tradiciones, innovación y preocupación ambiental.



Mapa 1: Distribución de agaves en el país. Fuente: CONABIO consultado en <https://www.jornada.com.mx/2006/09/21/index.php?section=gastronomia&article=a12n1gas>

Considerando los 26 estados de la república que producen mezcal o algún derivado de maguey se hace posible una aplicación para tratar los desechos de la actividad productiva relacionada. Aplicar este estudio para la creación de materiales de construcción en los distintos pueblos mezcaleros se ve como una alternativa para el desarrollo sustentable de los mismos, a partir de una industria que tiene una tendencia al alza, por lo mismo, las consecuencias positivas o negativas ambientales de su producción.

A partir de los sismos del 2017 esta investigación pudo implementarse en la realización de viviendas para personas damnificadas de la región Mixe de la Sierra Norte del estado de Oaxaca. De acuerdo con los censos realizados, el estado de Oaxaca fue uno de los más afectados por los sismos y paralelamente es el estado con mayor producción de mezcal, por lo que se hace evidente el uso de los materiales en tierra cruda para la construcción.

En 2017 se produjeron 3, 028, 000 litros de mezcal en México, de los cuales 83.5% de los litros fueron producidos en Oaxaca. 2, 528,380.00 litros de mezcal producidos en Oaxaca es igual a 15, 170, 280 litros de vinaza que podrían producir 3,000 viviendas. Como consecuencia de los sismos se perdieron 14 mil 352 casas, 21 mil 410 quedaron con daños que las hacen inhabitables, por lo que, con la aplicación de este proyecto y aprovechado la tendencia reportada de producción de mezcal se podría abarcar la necesidad de viviendas en 4.6 años. De hacer esto posible, la cantidad de recursos ahorrados en la producción de material constructivo, junto con la mitigación de la industria, lograrían una sinergia entre; la producción del mezcal, sus desechos y la construcción en los pueblos.



Foto 6: A distintas escalas ha sido posible utilizar los resultados de esta investigación para el mejoramiento de bloques de tierra cruda, de distintos tamaños que resultan en casas o infraestructura, promoviendo las técnicas tradicionales de construcción y reduciendo el impacto generado por la destilación del mezcal y la construcción de materiales industriales.

Referencias

ALPHIE COHEN, Miriam (2012) *Alianzas y Desafíos: Grupos y Redes De Defensa Ambientalistas En La Frontera México — Estados Unidos*, *Revista Europea De Estudios Latinoamericanos y Del Caribe / European Review of Latin American and Caribbean Studies*, no. 73, 2002, pp. 23–42. JSTOR,. Disponible en: www.jstor.org/stable/25675986.

ÁNGELES CARREÑO, Eduardo. (2016) “Entrevista”. Oaxaca.

ARRUDA FILHO, Nivaldo T. de et al. Resistência mecânica de compósitos cimentícios leves utilizando resíduos industriais e fibras de sisal. *Rev. bras. eng. agríc. ambient.* [online]. 2012, vol.16, pp.894-902. Disponible en http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662012000800012&lng=en&nrm=iso. ISSN 1415-4366. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662012000800012>.

BEHLING, Sophia, Stefan Behling (1996) *Sol power: the evolution of solar architecture*. Prestel. Disponible en: <https://books.google.com.mx/books?id=r0xQAAAAMAAJ>.

BRUNDTLAND, Gro Harlem (1987) “UN WCED 1987 Brundtland Report.pdf”, p. 374.

CAPRA, Fritjof (1998) *La trama de la vida*. Anagrama, Barcelona, España.

CASTILLO, Adriana (2017) “Magueyes y murciélagos: la verdadera historia del mezcal”, pp. 1–10. Disponible en: http://gaceta2.cicese.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=226%3Amagueyes-y-murcielagos-la-verdadera-historia-del-mezcal&catid=3%3Aciencia-y-tecnologia&Itemid=80.

CEDEÑO VALDIVIEZO, Alberto (2011) “Aglomerantes, Morteros y Aplanados Adecuados para Proteger el Medioambiente”, *Revista de Arquitectura*, 13, p. 128. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=125121298012%0ACómo>

CHECKLAND, Peter. (1993) *Pensamiento de sistemas, práctica de sistemas*. Limusa, Ciudad de México: México.

COLUNGA GARCÍA MARÍN, Patricia, Zizumbo Villarreal Daniel. (2007) “El tequila y otros mezcales del centro-occidente de México: domesticación, diversidad y conservación de

germoplasma”, *En lo ancestral hay futuro: del tequila, los mezcales y otros agaves*, pp. 113–disponible en <https://www.researchgate.net/publication/275341422>

CONSEJO NACIONAL DE EVALUACION DE LA POLITICA DE DESARROLLO SOCIAL (CONEVAL), 2010, *Informe Anual Sobre La Situación de Pobreza y Rezago Social, Santa Catarina Minas, Oaxaca*.

CONSEJO NACIONAL DE EVALUACION DE LA POLITICA DE DESARROLLO SOCIAL (CONEVAL), 2012, *Informe Anual Sobre La Situación Informe Anual Sobre La Situación Pobreza y Rezago Social de Pobreza y Rezago Social Culiacán , Sinaloa Informe Anual Sobre La Situación Informe Anual Sobre La Situación de Pobreza y Rezago Social de Pobreza y Rezago Social*.

CONTRERAS, Ricardo. (2004) “El paradigma científico según Kuhn’. Desarrollo de las ciencias: del conocimiento artesanal hasta la ciencia normal”, *Revista de la VI Escuela Venezolana para la enseñanza de la Química*, Diciembre, pp. 43–45. Disponible en: http://soplaar.com/material_individual/pdf/790S641O557P918L956A23R29.pdf.

CONSEJO REGULADOR DEL MEZCAL (CRM) 2018, *Informe estadístico 2018*. Oaxaca. Disponible en: http://www.crm.org.mx/PDF/INF_ACTIVIDADES/INFORME2018.pdf.

GARCÍA, Alvaro y Rojas Carlos. (2005) “Posibilidades de Uso de la Vinaza en la Agricultura de Acuerdo con su Modo de Acción en los Suelos”, *Revista Técnicaña* , 9, pp. 3–13. Disponible en: http://www.tecnicana.org/pdf/2006/tec_v10_no17_2006_p3-13.pdf.

GHAVAMI, Khosrow, Toledo Filho, R. D. y Barbosa, N. P. (1999) “Behaviour of composite soil reinforced with natural fibres”, *Cement and Concrete Composites*, 21(1), pp. 39–48. doi: 10.1016/S0958-9465(98)00033-X.

GUERRERO BACA, Luis Fernando, Ruben Salvador Roux y Francisco Javier Soria (2010) “Ventajas constructivas del uso de tierra comprimida y estabilizada con cal en México”, *Palapa*, pp. 45–57.

GUERRERO BACA, Luis Fernando, Francisco Javier Soria y Fernández, F. (2015) “Comportamiento Térmico de un Módulo Experimental Construido con Tierra Vertida Compactada en la Ciudad de México”.

HIDALGO-REYES, Martin *et al.* (2015) “Chemical and morphological characterization of *Agave angustifolia* bagasse fibers”, *Botanical Sciences*, 93(4), pp. 807–817. doi: 10.17129/botsci.250.

Houben, Hugo, Hubert Guillaud y CRAterre (1994) *Earth Construction: A Comprehensive Guide*. Intermediate Technology Publications (Earth construction series). Disponible en: <https://books.google.com.mx/books?id=yjVSAAAAMAAJ>.

IRISARRI, Daniel (1996) “Usos Industriales y Agrícolas de la Vinaza de Caña de Azúcar”, *Tecnicaña*, (Las Vinazas), pp. 20–25.

JOSEPH, Kuruvilla. *et al.* (1999) “A review on sisal fiber reinforced polymer”, *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 3(3), pp. 367–379. doi: 10.1016/j.compositesa.2012.08.018.

KUHN, Thomas (1971) *La Estructura De Las Revoluciones Científicas*, T.S Kuhn. doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.

MARTÍNEZ GUTIÉRREZ, Gabino Alberto *et al.* (2013) “Tiempos de apilado del bagazo del maguey mezcalero y su efecto en las propiedades del compost para sustrato de tomate”, *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 29(3), pp. 209–216.

MARTÍNEZ GUTIÉRREZ, Gabino Alberto y Graciela Zárate Altamirano, U. M. (sin fecha) “Maguey bagasse waste: a sustainable substrate in soilless culture by melon and tomato crop”. Disponible en: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/01904167.2012.724493?scroll=top&needAccess=true>.

MONTES GONZÁLEZ, Alejandro (2017) *Mezcal y tierra*, Fondo Nacional para la Cultura y las Artes, Carteles editores, Oaxaca, México.

PANT, Deepak y Adholeya, Alok (2007) “Biological approaches for treatment of distillery wastewater: A review”, *Bioresource Technology*, 98(12), pp. 2321–2334. doi: 10.1016/j.biortech.2006.09.027.

ROBLES-GONZÁLEZ, Vania *et al.* (2012) “Treatment of mezcal vinasses: A review”, *Journal of Biotechnology*, 157(4), pp. 524–546. doi: 10.1016/j.jbiotec.2011.09.006.

ROBLES, Vania y Fidel Villalobos, (2008) "Vinazas Mezcaleras: Un problema de contaminación ambiental", *Universidad Tecnológica de la Mixteca*, p. 20.

Secretaría de Gobernación, Centro Nacional de Estudios Municipales, G. del E. de O. (1998) "Los Municipios de Oaxaca, Enciclopedia de los Municipios de México". Disponible en: <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM20oaxaca/municipios/20368a.html>.

TORRES ZÁRATE, Gerardo (2000) "Arquitectura Vernácula, Fundamento En La Enseñanza De Sustentabilidad", (2007), p. 7,13.