

PROPUESTA PARA EL MEJORAMIENTO DE LAS CARACTERISTICAS FISICAS Y
MECANICAS EN LA TIERRA EMPLEADA PARA LA TAPIA PISADA

JULIAN MATEO AHUMADA GONZALEZ



UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA
FACULTAD DE ARQUITECTURA
PROGRAMA EN TECNOLOGIA EN CONSTRUCCIONES ARQUITECTONICAS
BOGOTA D.C.
2019

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO EN LA TAPIA PISADA

PROPUESTA PARA EL MEJORAMIENTO DE LAS CARACTERISTICAS

FISICAS Y MECANICAS EN LA TIERRA EMPLEADA PARA LA TAPIA PISADA

JULIAN MATEO AHUMADA GONZALEZ

**Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de tecnólogo en
construcciones arquitectónicas**

**ARQ. EDGAR MAURICIO CARVAJAL
ARQ. ALEJANDRA MANUELA PATIÑO ESCOBAR**



Universidad La Gran Colombia

Facultad de Arquitectura

Programa académico en tecnología en construcciones arquitectónicas

Bogotá D.C.

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO EN LA TAPIA PISADA

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mi padre, a mi madre y a mi abuela por su enorme apoyo incondicional para poder culminar este trabajo con éxito, y por su amor y cariño a lo largo de mi vida. Pero principalmente quiero dedicarle este trabajo a mi abuelo Jorge Eliecer González, que, aunque no esté ya en este mundo se que el esta orgulloso de quien soy ahora y siempre lo tendré en mis recuerdos y en mi corazón, Gracias Abuelo.

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO EN LA TAPIA PISADA

TABLA DE CONTENIDO

Resumen.....	10
Palabras clave.....	10
Abstract.....	11
Keyword.....	11
Introducción	12
1. Objetivos.....	14
1.1. General	14
1.2. Específicos	14
2. Planteamiento del problema.....	15
2.1. Pregunta problema.....	15
3. Marcos.....	16
3.1. Teórico	16
3.1.1. La tapia pisada.....	16
3.2. Referencial	21
3.2.1. La Tuna.....	21
3.3. Normativo.....	24
4. El Tapial.....	26
5. Aumento de resistencia de la tierra empleada en la tapia pisada.....	32
5.1. Proceso de elaboración de las muestras de tierra	32

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO EN LA TAPIA PISADA

5.1.1. La tierra	33
5.1.2. Fique	36
5.1.3. Fibra de cascara de Coco	37
5.1.4. Hoja de pino seca.....	38
5.1.5. Paja de zorro	39
5.1.6. Cactus de la Tuna	40
6. Costos.....	44
7. Ensayos de laboratorio.....	54
8. Resultados	56
9. Conclusiones y recomendaciones	59
Referencias bibliográficas.....	61

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO EN LA TAPIA PISADA

Lista de Figuras

Figura 1. Esquema de reforzamiento de tapia pisada con malla de vena.	19
Figura 2. Esquema del reforzamiento en la tapia pisada con confinamiento de madera.	20
Figura 3. Opuntia ficus-indica.	22
Figura 4. Cuadro de resistencia base vs la resistencia al 1%.	23
Figura 5. Cuadro de resistencia base vs la resistencia al 3%.	23
Figura 6. Cuadro de resistencia base vs la resistencia al 5%.	24
Figura 7. Cuadro de cantidad vs resistencia bajo los porcentajes de adición de la tuna al 1%, 3% y 5%.	24
Figura 8. Herramientas principales.	27
Figura 9. Elementos que componen la formaleta para la tapia pisada.	28
Figura 10. Proceso de construcción de un muro en tapia pisada.	29
Figura 11. Utilización de un pisón de dos mangos	30
Figura 12. Molde y tapa de lámina galvanizada para realización de muestras de tierra.	32
Figura 13. Pisón de acero para compactar las muestras de tierra	33
Figura 14. Tierra para la elaboración de las muestras de tapia pisada.	33
Figura 15. Puesta de tierra en la zaranda para cernir.	34
Figura 16. Tierra en proceso de cernida en la zaranda y siendo depositada en balde.	34
Figura 17. Tierra ya separada en baldes.	34
Figura 18. Elaboración de una muestra en tapia pisada.	35
Figura 19. Costal de 50x70 cm de fibra de fique.	36
Figura 20. Fibra de fique cortada de 3-4 cm para mezcla en muestras de tierra.	37
Figura 21. Fibra de cascara de coco para la mezcla en muestras de tierra.	37
figura 22. Fibra de coco ya retirada de la cascara para la mezcla en muestras de tierra.	38

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO EN LA TAPIA PISADA

Figura 23. Rama de pino con hojas secas para la mezcla en muestras de tapia pisada.	38
Figura 24. Hojas de pino secas ya separadas de su rama para la mezcla en muestras de tierra ...	39
Figura 25. Paja de zorro para la mezcla en muestras de tierra.....	39
Figura 26. Cortado de la tuna.....	41
Figura 27. Licuado de la tuna.	41
Figura 28. Vertimiento de la mezcla del licuado de tuna	41
Figura 29. Obtención de 500 ml de mezcla licuada de tuna.	42
Figura 30. Muestra de tierra para pruebas de resistencia.....	42
Figura 31. Muestras con sus respectivas características marcadas en etiquetas.	42
Figura 32. Muestras de tierra en el horno.	43
Figura 33. Prensa hidráulica.	54
Figura 34. Muestra de tierra siendo probado en la prensa hidráulica.	55
Figura 35. Dos muestras de siendo sometidas a presión en la prensa hidráulica.....	55
figura 36. Grafica de los porcentajes totales presentados en las resistencias de las diferentes muestras de tierra.....	58

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO EN LA TAPIA PISADA

Lista de Tablas

Tabla 1. Tabla de valores promedios de las pruebas mecánicas en la tapia pisada	30
Tabla 2. Valores promedios de la densidad de construcciones en tierra	31
Tabla 3. Tabla de análisis unitario del molde de lámina galvanizada	44
Tabla 4. Tabla de análisis unitario del pisón de acero	44
Tabla 5. Tabla de análisis unitario de la tierra rojiza para muestras.....	45
Tabla 6. Tabla de análisis unitario de los agregados para muestras	45
Tabla 7. Tabla de análisis unitario de la muestra de tierra simple.....	45
Tabla 8. Tabla de análisis unitario de la muestra de tierra + 1% cactus	46
Tabla 9. Tabla de análisis unitario de la muestra de tierra + 2% cactus	46
Tabla 10. Tabla de análisis unitario de la muestra de tierra + 3% cactus.....	46
Tabla 11. Tabla de análisis unitario de la muestra de tierra + 4% cactus.....	47
Tabla 12. Tabla de análisis unitario de la muestra de tierra + 5% cactus	47
Tabla 13. Tabla de análisis unitario de la muestra de tierra + 6% cactus	47
Tabla 14. Tabla de análisis unitario de la muestra de tierra + fique	48
Tabla 15. Tabla de análisis unitario de la muestra de tierra + coco.....	48
Tabla 16. Tabla de análisis unitario de la muestra de tierra + hoja de pino seca.....	49
Tabla 17. Tabla de análisis unitario de la muestra de tierra + paja de zorro	49
Tabla 18. Tabla de análisis unitario de la muestra de tierra + fique + cactus.....	49
Tabla 19. Tabla de análisis unitario de la muestra de tierra + coco + cactus.....	50
Tabla 20. Tabla de análisis unitario de la muestra de tierra + hoja de pino seca + cactus	50
Tabla 21. Tabla de análisis unitario de la muestra de tierra + paja de zorro + cactus	51
Tabla 22. Tabla de análisis unitario de la muestra de tierra + fique + coco + hoja de pino seca + paja de zorro + 5% cactus.....	51

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO EN LA TAPIA PISADA

Tabla 23. Tabla de muestra básica de tierra simple	52
Tabla 24. Relación costo-beneficio entre las muestras con los porcentajes de cactus	52
Tabla 25. Relación costo-beneficio entre las muestras con los agregados fibrosos	52
Tabla 26. Relación costo-beneficio entre las muestras con los agregados fibrosos y el cactus ...	53
Tabla 27. Relación costo-beneficio entre la muestra con todos los agregados fibrosos y el cactus	53
Tabla 28. Resultados de las pruebas de las muestras con porcentajes de cactus	56
Tabla 29. Resultados de las pruebas de las muestras con agregados sin cactus (s/c).....	56
Tabla 30. Resultados de las pruebas de las muestras con agregados con cactus	56
Tabla 31. Resultado de la prueba a la muestra con todos los agregados y el cactus	57
Tabla 32. Resistencia promedio de las muestras de tapia pisada sin ningún agregado	57

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO EN LA TAPIA PISADA

Resumen

La finalidad de este trabajo es realizar una investigación de la posible resistencia que pueda adquirir la tierra de la técnica vernácula de la tapia pisada, el cual está constituido únicamente de tierra compactadas en múltiples capas. La cual mediante la utilización de diferentes agregados y materiales naturales que se pueden conseguir fácilmente en el lugar donde se esté haciendo la estructura, tratar de conseguir que este elemento constructivo adquiera mucha más resistencia a esfuerzos de cualquier tipo como lo son los sismos y demás fuerzas externas que pueda enfrentar el elemento construido a base de esta técnica ancestral.

Por tal motivo se hicieron una serie de pruebas y análisis en diferentes muestras de la tierra utilizada en esta técnica, las cuales constaban de diferentes proporciones de los agregados. Y así mismo se comprobará si aumenta la resistencia de la técnica y de la tierra para así poder garantizar el mejor uso y calidad a futuro de la misma, tanto en ciudades como en los pueblos donde es más empleada aun esta forma de construcción.

Palabras clave: Tapia pisada, Tapial, Construcciones vernáculas, Construcción con tierra, construcción rural y resistencia a compresión.

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO EN LA TAPIA PISADA

Abstract

The purpose of this work is to carry out an investigation of the possible resistance that the vernacular construction technique of the trodden wall may obtain, which is constituted directly from compacted earth in multiple layers. The quality through the use of different aggregates and natural materials that you can easily obtain in the place where you are making the structure, try to get this constructive element to acquire much more resistance to efforts of any kind such as earthquakes and other enveloping forces that can face the element built based on this ancestral technique.

For this reason, a series of tests and analyzes will be carried out on different samples of the soil detected in this technique, the constants of different proportions of the aggregates. And likewise, it will be checked if the resistance of the technique and of the earth increases in order to verify the best use and quality of its future, both in cities and in towns where even this form of construction is more used.

Keywords: Footprint, Tapial, Vernacular constructions, Construction with earth, rural construction and resistance to compression.

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO EN LA TAPIA PISADA

Introducción

La tapia pisada ha sido una técnica que ha pasado a través del tiempo en varios países alrededor del mundo tales como Francia, Perú, Dinamarca, Colombia, etc. Por eso es importante recalcar algunos de sus aspectos más relevantes desde su simple definición, hasta lo que hoy en día es la tapia pisada en el mundo.

En Colombia, gran parte de las edificaciones, casas, muros de cerramientos, etc. Que podemos encontrar no tan fácilmente en ciudades y pueblos están hechos con tierra compactada que es lo que consta principalmente la tapia pisada, ya que hoy en día esta técnica ya no se puede diferenciar tan fácilmente gracias a que la mayoría de estos ya están pañetados. Aunque en algunos pueblos, aún siguen empleando esta técnica vernácula para sus construcciones rurales y de vivienda gracias a su rapidez, bajo costo y gran facilidad para la obtención de la materia prima la cual es la tierra.

Por tal motivo se encontró una razón de buscar y probar unas alternativas de mejoramiento de las diferentes características físicas y mecánicas con la cual trabaja la tierra al ser compactada en una serie de capas que dan como resultado una serie de muros estructurales para diferentes edificaciones y viviendas a lo largo de Colombia y el mundo.

Tales mejoras que se buscan obtener con diferentes materiales de origen natural, son el mejoramiento en la resistencia a los esfuerzos de tracción y compresión, ya que la tapia pisada como tal no cuenta con una gran resistencia ante estos y es vulnerable ante cualquier movimiento, falla y/o patología que esta pueda presentar como su debilidad o desventaja ante un fuerte movimiento sísmico (terremoto), ya que la tierra no cuenta con materiales adicionales que le den una resistencia duradera ante estas catástrofes, tales como piezas de madera que ayuden a

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO EN LA TAPIA PISADA

los diferentes esfuerzos con los que se enfrenta, o materia natural/vegetal como puede ser paja como se ve en el adobe y ningún otro relleno distinto para su reforzamiento y/o mejoramiento.

Por tal motivo se busca una forma de mejorar la durabilidad y la resistencia de la tierra que se emplea en la tapia pisada, para así poder dar una solución practica y rápida ante las construcciones que aun hoy en día se están haciendo con esta técnica y poder brindarles una mayor vida útil y en especial que tengan mayor resistencia a los esfuerzos que pueda enfrentar a través del tiempo.

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO EN LA TAPIA PISADA

1. Objetivos

1.1. General

- Mejorar las características físicas y mecánicas de la tierra empleada en la técnica de la tapia pisada mediante agregados naturales, para aumentar su resistencia a la compresión.

1.2. Específicos

- Elaborar múltiples muestras de la tierra con los diferentes agregados naturales seleccionados.
- Hacer las respectivas pruebas a presión de las muestras para comprobar cuál de los diferentes agregados le da más resistencia a la tierra.
- Hacer una comparación de la resistencia obtenida de las muestras con agregados y de las muestras sin agregados, para ver así si la propuesta está bien implementada.

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO EN LA TAPIA PISADA

2. Planteamiento del problema

El principal problema actual de la tapia pisada, es que no cuenta con una metodología o un proceso en el cual sus diferentes propiedades físicas y mecánicas le otorguen una resistencia adecuada en la tierra para resistir como por ejemplo sismos, golpes de gran magnitud y otras situaciones externas que puedan hacer que esta técnica de construcción vernácula pueda seguir en pie.

Ya que, en ciudades, pueblos y demás lugares se han encontrado y conservado estructuras hechas con esta técnica y que cuentan con más de 50 hasta 3.000 años de antigüedad. Por eso la necesidad de mejorar esta técnica para poder conservar esta tradición y poder realizar construcciones mucho más resistentes con esta técnica y así también poder conservar nuestros bienes de interés cultural.

2.1. Pregunta problema

¿Se pueden mejorar las cualidades físicas y mecánicas de la tierra empleada en la tapia pisada ante la compresión, mediante una serie de agregados naturales?

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO EN LA TAPIA PISADA

3. Marcos

3.1. Teórico

Dentro de este marco lo que se quiere dar a conocer son las diferentes conclusiones y teorías de las investigaciones que personas, grupos y/o entidades gubernamentales han llevado a cabo para la recolección y el entendimiento de las estructuras principalmente hechas con base a la tierra y sus diferentes comportamientos manifestados a través de su tiempo de vida, con referentes de múltiples estudios y pruebas para comprobar y manifestar si este sistema de construcción es óptimo y lo más importante, si es resistente.

Con dicha conclusión, se buscó información sobre este sistema de construcción vernácula, dando una serie de referentes sacados de libros, investigaciones, trabajos de grado y artículos de revistas las siguientes fuentes de información:

3.1.1. La tapia pisada

La tapia pisada según Rojas, Vecino y Jiménez (2018), es un elemento tradicional y de origen cultural en las construcciones del municipio de Barichara, Santander. Ellos con su trabajo de grado de la Universidad Santo Tomas en Bucaramanga, buscan que se vea la importancia y la trayectoria que ha tenido la tapia pisada en su municipio, mostrando varios detalles fundamentales para el estudio de este material tanto en finales como en principios de siglo y como este podría adaptarse a algunos de los nuevos sistemas y/o construcciones actuales.

Lo que quiere dar a ver Rojas, et al. (2018) son las características fundamentales que ha tenido la tapia pisada en el municipio de Barichara, Santander y como tal en toda la historia de Colombia, ya que ellos resaltan que es uno de los sistemas de construcción más antiguos por el

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO EN LA TAPIA PISADA

hombre y que puede ser salvado de una y otra forma, mediante estudios y la reforma de este material uniéndolo con otros sistemas industrializados internacionales, mostrando desde sus ventajas, desventajas y soluciones que esta pueda llegar a tener a lo largo de su uso y como hacer que este arte constructivo vuelva a surgir.

En si se quieren dar a mostrar las múltiples características y visiones que tiene la tierra en estos tiempos modernos en comparación con los sistemas industrializados que vemos hoy en día.

Se tomo también una gran parte de información e ilustraciones de parte del “Manual para la rehabilitación de viviendas en adobe y tapia pisada” que nos da la Asociación Colombiana de ingeniería sísmica (AIS) y con ayuda de Fondo para la Reconstrucción y Desarrollo Social del Eje Cafetero (FOREC), el cual se centra en construcciones que están hechas a base de adobe y tapia pisada y los procesos que estas tienen para una rehabilitación y/o intervención sísmica en su estructura.

En este manual se definen todos los factores que tienen las estructuras en tapia pisada y los diferentes estudios que se han realizado, para el cual se han recolectado numerosos conocimientos para la protección de estos sistemas ancestrales (AIS, 2001).

Gracias a la información de este Manual, podemos saber qué efectos tienen los sismos sobre construcciones en adobe y tapia pisada, desde sus deformaciones, ineficiencias, ventajas, etc. Se observarán desde los procesos más básicos como son la cimentación, los sobrecimientos, detalles tanto de los pisos, muros, cubiertas y el material para nosotros poder comprender a fondo de que se componen estas construcciones ancestrales.

El manual es una gran ayuda y un gran referente para poder seguir con estas construcciones ancestrales tanto en nuestras ciudades como en pueblos.

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO EN LA TAPIA PISADA

Este tipo de edificaciones, en general, no incluyen elementos de refuerzo adecuados ni se han construido con requisitos de diseño sismorresistente. A esta situación debe sumarse la gran cantidad de edificaciones de mayor escala construidas en estos materiales como son iglesias, edificaciones institucionales, conventos, colegios o escuelas, y otro tipo de construcciones que por sus características imponen mayores exigencias sobre este mismo tipo de sistema constructivo. (AIS, 2001, p.8).

Por eso es tan importante y relevante saber todos los procesos adecuados que tienen estas edificaciones hechas con tierra. Porque gracias a este manual podremos basarnos para la investigación y observación de los diferentes comportamientos y de los aspectos que tenemos que tener en cuenta al momento del mejoramiento en la tapia.

Y para terminar y condensar la información, de una serie de estudios realizados a lo largo de la civilización sobre las diferentes edificaciones en tierra a lo largo del mundo, la cual nos demuestra la simplicidad y la facilidad de manejar este material vernáculo. Según nos muestran Yamin, Bernal, Reyes y Valencia (2007) en la revista Apuntes, la cual es una revista de ciencias sociales que esta editada por el Fondo Edit. de la Universidad del Pacífico (Perú) desde 1973.

Nos afirma que:

La tierra es uno de los materiales más antiguos usados en la construcción de edificaciones. La construcción con tierra tiene miles de años de historia y existe evidencia arqueológica que sugiere la existencia de ciudades construidas enteramente en tierra: Jericó, Çatal Huyuk en Turquía, Harappa en Pakistán,

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO EN LA TAPIA PISADA

Akhlet-Aton en Egipto, Chan-Chan en Perú, Babilonia en Iraq, Duheros en España, entre otras. (Yamin et al., 2007, p.286)

Por esta misma razón el Centro de Investigación en Materiales y Obras Civiles (CIMOC) de la universidad de los Andes, junto a más entidades como la Corporación Barrio de la Candelaria y Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS) y demás entidades, tomando desde el origen de la tapia pisada hasta el uso que tuvo incluso en la Nueva granada.

Así que este estudio, al igual que el manual nos da una serie de información general y detallada sobre estas edificaciones. También nos ilustra gráficamente como son los diferentes procesos de reforzamiento que se les puede implementar tales como el reforzamiento con malla de vena (*Figura 1*) y confinamiento en madera (*Figura 2*).

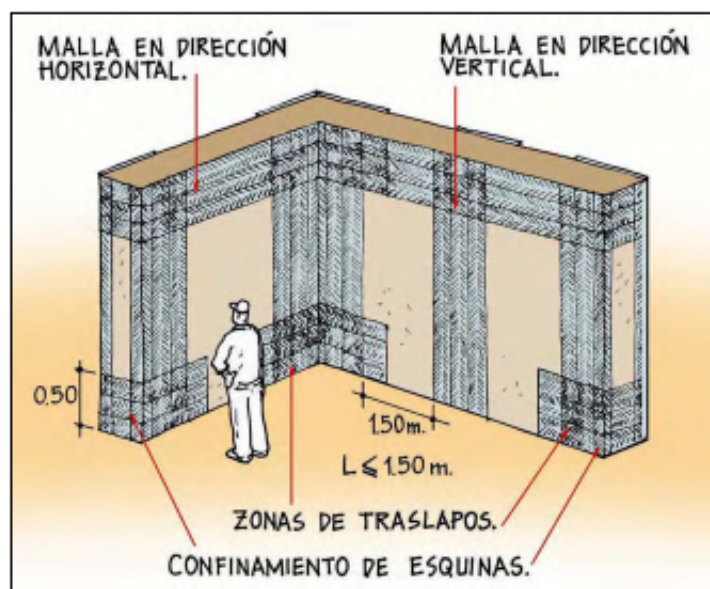


Figura 1. Esquema de reforzamiento de tapia pisada con malla de vena.

Tomado de: Manual para la rehabilitación de viviendas construidas en adobe y tapia pisada, 2001, p.5-8

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO EN LA TAPIA PISADA

En estos estudios que fueron llevados en laboratorios con maquinaria especial para medir las diferentes fallas de la estructura y de los materiales, se realizaron pruebas con unas maquetas hechas a escala 1:5 en mesas vibratorias, los cuales simulaban una serie de sismos para comprobar cómo se comportaban ante un riesgo natural como un terremoto ya sea de baja o alta intensidad.

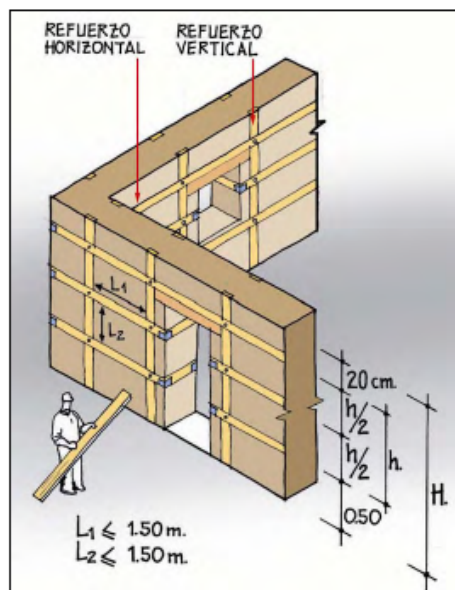


Figura 2. Esquema del reforzamiento en la tapia pisada con confinamiento de madera.

Tomado de: Manual para la rehabilitación de viviendas construidas en adobe y tapia pisada, 2001, p.5-15

Por lo tanto, en esta investigación, según los resultados obtenidos de las diferentes maquetas hechas con adobe y tapia pisada a la escala de 1:5 las cuales una serie contaban con reforzamiento y otras no contaban con el mismo, se llegó a una conclusión la cual es:

El sistema estructural en adobe y tapia pisada presenta una alta vulnerabilidad sísmica debido principalmente a la poca resistencia a la tensión del material –que origina prácticamente nula resistencia a la flexión y esfuerzos resistentes de tensión diagonal en el orden de los 0.03 MPa– y a la ausencia de ciertas características y

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO EN LA TAPIA PISADA

componentes estructurales tales como el confinamiento de elementos estructurales, la continuidad de los elementos principales, la ausencia de diafragmas rígidos y otros. Las rehabilitaciones propuestas e implementadas disminuyen la vulnerabilidad sísmica de este tipo de edificaciones y retardan de manera significativa el colapso de los sistemas estructurales. A la luz de los resultados experimentales, la resistencia se incrementó hasta en un 270% y la capacidad de deformación en el rango elástico se multiplica por 4.4. (Apuntes, 2007, p.302).

3.2. Referencial

Al aportar una serie de referentes en este marco, lo que se quiere es dar a conocer una serie de investigaciones que se llevaron a cabo a base de una misma técnica, procedimiento o de algún método novedoso en el cual se guio alguien más para la realización de un proyecto. Este trabajo se referencio en una tesis de la universidad nacional de Cajamarca, en el cual hicieron una investigación sobre el efecto que podía tener la adición de la paleta o cactus denominado Tuna (opuntia Ficus-Indica) para mirar y comprobar la resistencia a compresión que podría darse en el concreto. Por eso se procederá a dar una breve explicación o información valiosa sobre el material, el cual será clave para este trabajo de investigación.

3.2.1. La Tuna

La Tuna u opuntia Ficus-Indica (*Figura 3*), según Castro et al. (2009) (Como se citó en Primo, C., 2014) es:

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO EN LA TAPIA PISADA

El nombre común que reciben algunas de las cactáceas del género *Opuntia*. El género *Opuntia* se encuentra distribuido desde la provincia de Alberta en Canadá, hasta la Patagonia en Argentina; se encuentra principalmente en las zonas desérticas del Sur de Estados Unidos, de México y de América del sur.



Figura 3. Opuntia Ficus-Indica.

Fuente: Elaboración propia

La afirmación anterior nos quiere dar a explicar el tipo de planta o agregado que se usó para proponer una innovación para a resistencia a la compresión del concreto, y así ver qué resultados puede lograr este agregado natural al ser combinado con la mezcla del concreto. Por tal motivo este trabajo se ha basado en este mismo para hacer las mismas pruebas y evaluaciones que la Tuna puede tener, pero en este caso agregándola a la tapia pisada para ver si este tiene grandes cambios físicos y mecánicos que ayuden que la tapia tenga una resistencia optima ante esfuerzos y sea contemplada por la Norma Sismo Resistente Colombiana (NSR-10), comparándola con este trabajo del bachiller Primo, C. de la Universidad de Cajamarca (Perú).

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO EN LA TAPIA PISADA

Se demuestra que en esta investigación la adición de la paleta de la tuna mediante una serie de pruebas con el concreto y añadiéndolo en 1%,3% y 5% de la cantidad de las paletas y/o cactus Tuna, se obtienen una serie de resistencias, aunque encontraron que entre más porcentaje de la paleta es agregada a la mezcla de concreto, más resistencia va perdiendo este y por eso recomienda que las dosis en la mezcla sean mínimas, ósea del 1% para poder obtener un material óptimo a la compresión.

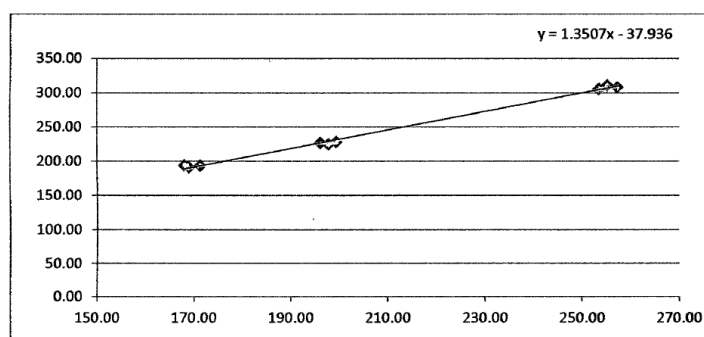


Figura 4. Cuadro de resistencia base VS la resistencia al 1%.

Tomado de: EFECTO DE LA ADICION DE EXTRACTO DE PALETA DE TUNA (Opuntia Ficus-Indica) EN LA RESISTENCIA A COMPRESION DEL CONCRETO (2014).

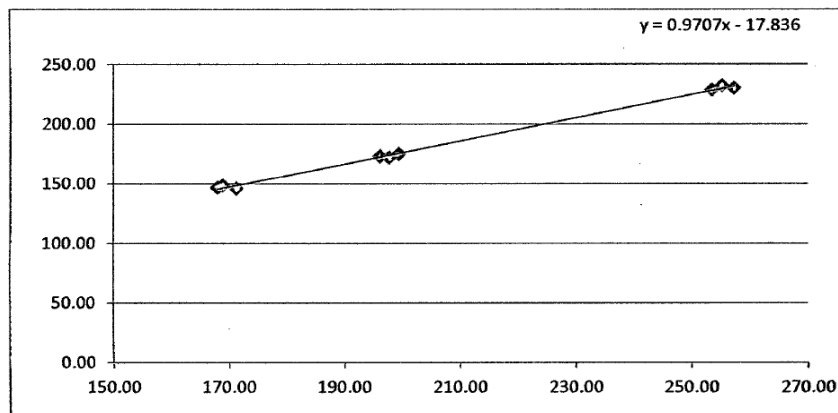


Figura 5. Cuadro de resistencia base VS la resistencia al 3%.

Tomado de: EFECTO DE LA ADICION DE EXTRACTO DE PALETA DE TUNA (Opuntia Ficus-Indica) EN LA RESISTENCIA A COMPRESION DEL CONCRETO (2014).

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO EN LA TAPIA PISADA

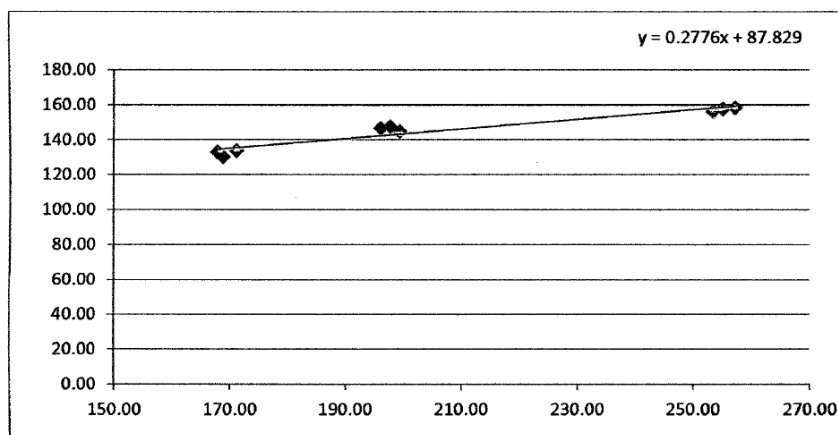


Figura 6. Cuadro de resistencia base VS la resistencia al 5%.

Tomado de: EFECTO DE LA ADICION DE EXTRACTO DE PALETA DE TUNA (Opuntia Ficus-Indica) EN LA RESISTENCIA A COMPRESION DEL CONCRETO (2014).

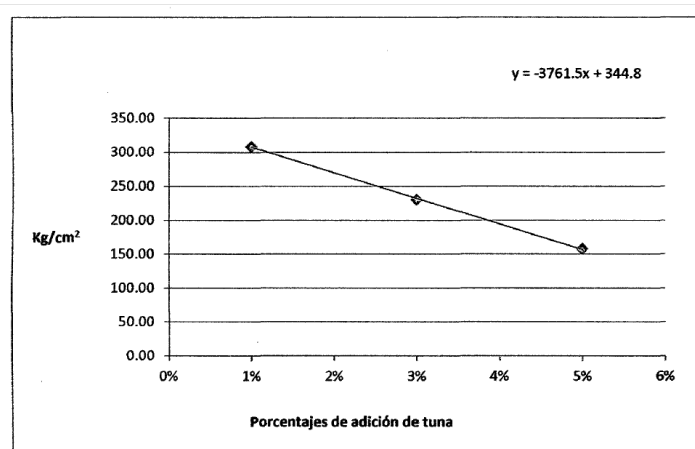


Figura 7. Cuadro de cantidad VS resistencia bajo los porcentajes de adición de la Tuna al 1%, 3% y 5%.

Tomado de: EFECTO DE LA ADICION DE EXTRACTO DE PALETA DE TUNA (Opuntia Ficus-Indica) EN LA RESISTENCIA A COMPRESION DEL CONCRETO (2014).

3.3. Normativo

Actualmente la tapia pisada en territorio colombiano no está contemplada tanto ni en la norma sismo resistente (NSR-10) ni en ninguna norma técnica (NTC) ya que este sistema de

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO EN LA TAPIA PISADA

construcción ha sido en gran parte reemplazado por otras técnicas de construcciones industrializadas y más avanzadas que dan mayor resistencia y/o durabilidad.

Aunque esta técnica este ya poco implementada a nivel nacional, aún siguen en la actualidad muchas edificaciones hechas con esta técnica vernácula y las cuales la gran mayoría son patrimonio cultural y social de la humanidad. Ni la NSR-10 ni ninguna norma externa en Colombia aprueba esta técnica, pero es innegable el hecho de que toca buscar maneras y técnicas de poder conservar estas edificaciones por mucho más tiempo y hacer que sean más resistentes ante un sismo.

Por eso en el artículo 72 de la constitución nacional de Colombia y validas por leyes como la ley de Cultura (ley 397 de 1997), dicta estrictamente lo siguiente:

El patrimonio cultural de la Nación está bajo la protección del Estado. El patrimonio arqueológico y otros bienes culturales que conforman la identidad nacional, pertenecen a la Nación y son inalienables, inembargables e imprescriptibles. La ley establecerá los mecanismos para readquirirlos cuando se encuentren en manos de particulares y reglamentará los derechos especiales que pudieran tener los grupos étnicos asentados en territorios de riqueza arqueológica.
(Const. P., art. 72, 1991)

Por eso este gran vacío legal en las normas colombianas sobre la técnica de construcción de la Tapia pisada he hecho que diferentes entes gubernamentales y demás personales naturales no sepan o no tengan un correcto conocimiento legal y en especial constructivo para una correcta intervención en estas estructuras, ya que no hay una algo que rijan y/o regule dicha preservación de las edificaciones a lo largo del territorio colombiano.

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO EN LA TAPIA PISADA

4. El Tapial

El tapial o como tal el muro hecho con tapia pisada, se hace en base a una cimentación ya sea de ladrillo o como se hacía antiguamente con piedras. Como dicen Doat, Hays, Houben, Matuk y Votoux (1996) en su libro “CONSTRUIR CON TIERRA”, nos explica que no todas las tierras son óptimas para esta técnica, y la que si tiene que estas compuesta entre:

- Gravilla: 0 al 15%
- Arena: 40 a 50%
- Limo: 35 a 20%
- Arcilla: 15 al 25%

Esta tierra con las anteriores características es óptima para la realización de la tapia pisada, ya que nos garantiza la calidad y la durabilidad de la estructura que se vaya a emplear. Es recomendable que esta tierra sea preferiblemente de color rojiza, que no tenga ninguna clase de vegetación, piedras, animales y/o insectos y ningún ente externo que pueda afectar la vida de la tapia pisada.

Esta técnica se hace mediante una serie de herramientas los cuales forman y adaptan la forma del muro de la estructura. Estas herramientas (Fig.8) se han acostumbrado y adaptado a las necesidades de las construcciones según el país en el que se hagan, pero las más comunes y más utilizadas son: la pala, pica, una cesta para poder transportar la tierra, diferentes pisones, cuñas y paralelos, riostras, panel de madera y una compuerta para asegurar que la tierra se quede en su lugar cuando se haya completado la mayoría del muro.

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO EN LA TAPIA PISADA

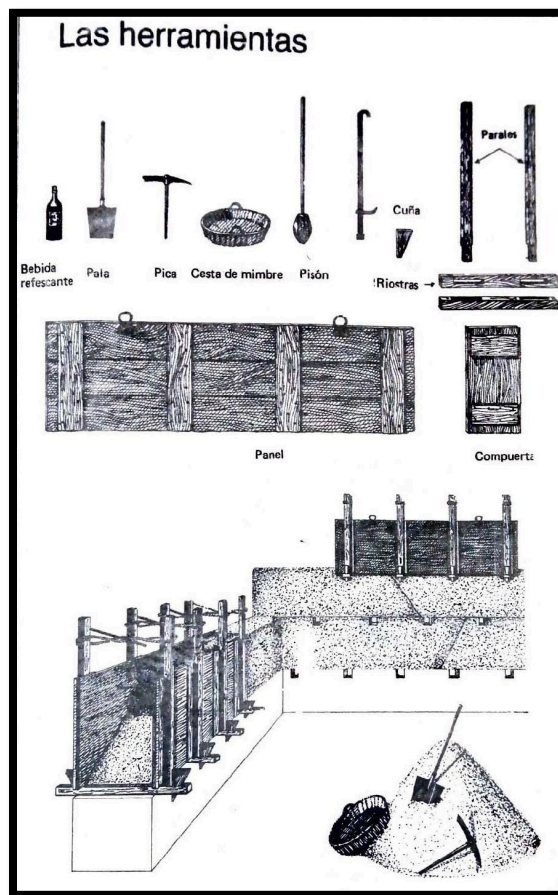


Figura 8. Herramientas principales.

Tomado de: CONSTRUIR CON TIERRA. TOMO I (1996)

Todos estos elementos son fundamentales para la realización de la técnica, por eso es fundamental primero conseguir una buena tierra, después estudiar y analizar las condiciones del terreno y para así poder empezar con la construcción del elemento.

Los muros hechos con esta técnica tienen aproximadamente entre 40-50 cm de ancho, y de alto permiten alcanzar hasta 7 metros. Por eso es una técnica que en el pasado fue de gran utilización para las viviendas y haciendas, en especial por su durabilidad y la facilidad en su construcción.

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO EN LA TAPIA PISADA

Por eso es de suma importancia verificar que todos los elementos tanto de las formaletas como los que componen como tal el muro, estén tanto en buenas condiciones como en su correcta posición (Fig.9)

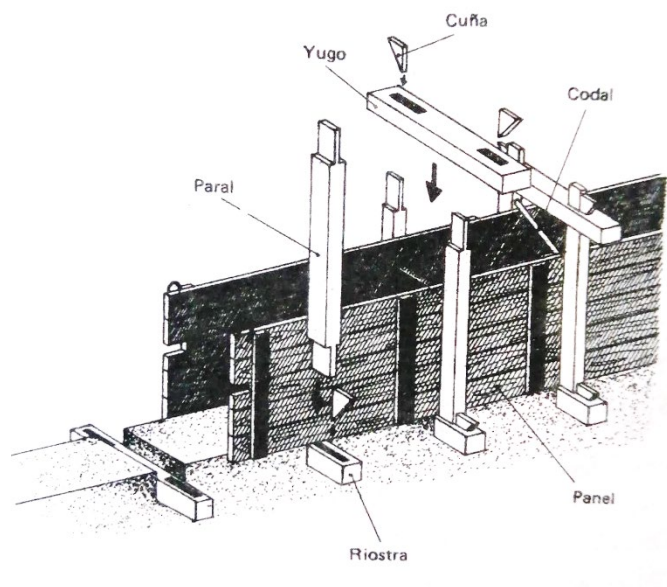


Figura 9. Elementos que componen la formaleta para la tapia pisada.

Tomado de: CONSTRUIR CON TIERRA. TOMO I (1996)

Así mismo, tener una buena mano de obra que se ayude y se sistematice para poder cumplir con todos los pasos en un orden y así poder cumplir con la elaboración del elemento constructivo. Por eso hay que seguir una serie de pasos (Fig.10) para realizar correcta y ordenadamente el tapial, los cuales son:

1. La extracción de la tierra adecuada, ya sea en situ o transportada hasta la obra
2. Guardado de la tierra en bolsas y/o costales para poder transportarla fácilmente al que está pisando la tierra

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO EN LA TAPIA PISADA

3. Repartición de la tierra por toda la formaleta sin dejar espacios vacíos para su fácil pisado
4. Pisado de la tierra usando un pisón ya sea de piedra, madera, etc. Para su compactación y homogenización del elemento. El pisón puede constar tanto de un mango como de dos (Fig.11) para mayor agarre y fuerza al apisonar la tierra.



Figura 10. Proceso de construcción de un muro en tapia pisada.

Tomado de: CONSTRUIR CON TIERRA. TOMO I (1996)

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO EN LA TAPIA PISADA



Figura 11. Utilización de un pisón de dos mangos

Tomado de: CONSTRUIR CON TIERRA. TOMO I (1996)

El tapial o tapia pisada con los anteriores procedimientos adquiere una resistencia aceptable para el pasar de los años, por eso hay estructuras en esta técnica las cuales tienen 300 años de estar en pie como en muchas partes de los diferentes territorios rurales.

Tabla 1

Tabla de valores promedios de las pruebas mecánicas en la tapia pisada

Tapia pisada		
PRUEBAS	VALOR PROMEDIO	DESVIACION ESTANDAR
	(MPa)	(MPa)
Resistencia a la compresión de muretes de tapia	0.55	0.184
Módulo elástico de muretes de tapia	66.6	31.2
Esfuerzo de tracción diagonal de muretes de tapia	0.037	0.014
Módulo de cortante (G)	31.2	13.0

La tabla 1 nos muestra los diferentes resultados de una serie de pruebas mecánicas a las cuales la tapia fue expuesta en diferentes pruebas para hallar sus diferentes resistencias. Adaptado de la revista Apuntes, Vol. 2 (2007).

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO EN LA TAPIA PISADA

Por eso se dice que la tapia pisada es altamente vulnerable a grandes movimientos sísmicos, ya que no cuenta con elementos que lo sostengan como un solo objeto monolítico tales como madera, paja, etc. Pero aun así hay grandes edificaciones que han aguantado en pie durante muchas décadas y los cuales están hechos con esta técnica vernácula, y aunque ya no se contemplan tanto hoy en día están muy presentes en muchos lugares históricos.

Tabla 2

Valores promedios de la densidad de construcciones en Tierra

Espécimen	γ_{PROM} (Ton/m ³)
Unidades de adobe	1.82
Muretes de adobe	1.78
Muretes de tapia pisada	1.93

La tabla 2 nos muestra unos valores de densidad de los elementos de adobe y tapia pisada que fueron objeto de estudio en una investigación de vulnerabilidad sísmica. Tomado de la revista Apuntes, Vol. 2 (2007).

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO EN LA TAPIA PISADA

5. Aumento de resistencia de la tierra empleada en la tapia pisada

Se mejorará la resistencia física y mecánica de la tierra empleada en la tapia pisada mediante la adición de una serie de agregados naturales tales como el cactus de la tuna u opuntia Ficus-Indica y de fibras las cuales son el fique, el pelo de coco, hoja de pino seca y por último paja de zorro.

Con la finalidad de que los anteriores agregados mejoren y den una respuesta positiva a los esfuerzos físicos y mecánicos que tiene la tierra, tales como sismos y demás esfuerzos externos, para así poder construir estructuras mucho más resistentes y sólidas y así mismo conservar esta técnica vernácula.

5.1. Proceso de elaboración de las muestras de tierra

Para la elaboración de las muestras de la tierra, se hicieron unos moldes en lámina galvanizada que constaban también de una tapa para así poder sacar el bloque con más facilidad (Fig.12). Ya con ayuda de un pisón hecho en acero (Fig.13) se compacta la tierra en múltiples capas.

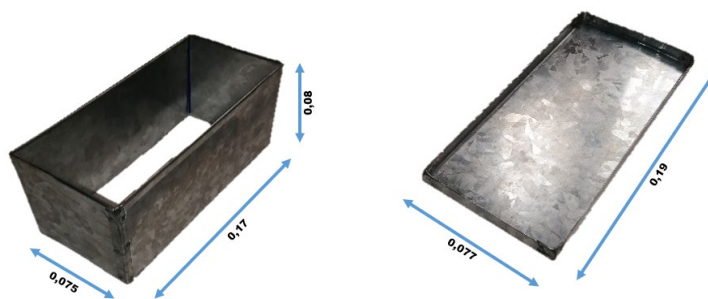


Figura 12. Molde y tapa de lámina galvanizada para realización de muestras de tierra.

Fuente: Elaboración propia

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO EN LA TAPIA PISADA

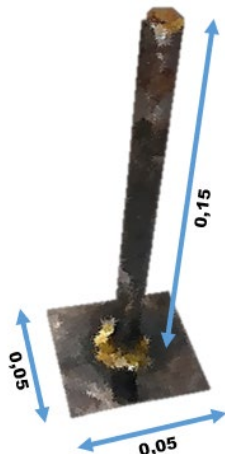


Figura 13. Pisón de acero para compactar las muestras de tierra

Fuente: Elaboración propia

5.1.1. La tierra

La tierra (Fig.14) que va a componer el tapial se transportó en lona hasta el lugar donde se harán las diferentes muestras, en las cuales se revisó que no tuviera materiales vegetales, animales, gravillas que no superen los 20 mm, etc., para así poder compactarla con mucha más facilidad. Igualmente, la tierra tuvo un proceso de cernido (Fig15-16) el cual busca separar estos materiales o agregados que no se necesitan, ya después de cernida la tierra se deja separada en un balde (Fig.17) para su previa utilización.



Figura 14. Tierra para la elaboración de las muestras de Tapia pisada.

Fuente: Elaboración propia

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO EN LA TAPIA PISADA



Figura 15. Puesta de tierra en la zaranda para cernir.

Fuente: Elaboración propia



Figura 16. Tierra en proceso de cernida en la zaranda y siendo depositada en balde.

Fuente: Elaboración propia



Figura 17. Tierra ya separada en baldes.

Fuente: Elaboración propia

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO EN LA TAPIA PISADA

Ya cuando la tierra está completamente cernida, se procede a realizar las muestras de esta de forma manual, y de esta manera se elaboraron los 25 bloques de muestras de tierra (Fig.28) los cuales estaban constituidos de la siguiente manera:

- 10 muestras de tierra sin ningún agregado
- 6 muestras de tierra, los cuales constaban de 1%, 2%, 3%, 4%, 5% y 6% del cactus de la tuna repartidos equitativamente a cada uno.
- 4 muestras de tierra con agregados de Fique, fibra de pelo de Coco, de hoja de pino seca y por último de Paja de zorro.
- 4 muestras de tierra con agregados de Fique, fibra de cascara de Coco, de hoja de pino seca, Paja de zorro y por último el cactus de la tuna repartidos equitativamente a cada uno.
- 1 muestra de tierra el cual constaba de todos los agregados fibrosos, más el cactus de la tuna.



Figura 18. Elaboración de una muestra en tapia pisada.

Fuente: Elaboración propia

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO EN LA TAPIA PISADA

Ya realizados este proceso, a cada uno se le añadió las correspondientes fibras a cada uno en las proporciones decididas, para así poder ver en las pruebas si con uno de estos agregados la tapia pisada adquiere más resistencia a esfuerzos.

5.1.2. Fique

El agregado de la fibra de Fique se consiguió principalmente de un costal papero de 50x70 cm (Fig.19) el cual aguantaba 70 kg de lo que llevara en su interior. Primero se procede a retirar fibra por fibra del costal hasta obtener hilos de Fique.



Figura 19. Costal de 50x70 cm de fibra de Fique.

Fuente: Elaboración propia

Después de obtenidas las fibras, se procede a cortarlas en pequeñas secciones de entre 3-4 cm de largo (Fig.20), el cual son las fibras que estarán mezcladas con las muestras de la tierra.

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO EN LA TAPIA PISADA



Figura 20. Fibra de Figue cortada de 3-4 cm para mezcla en muestras de tierra.

Fuente: Elaboración propia

5.1.3. Fibra de cascara de Coco

La fibra de pelo de coco se consiguió en un almacén de cadena, donde se encontraban las cascara ya sin uso del coco (Fig.21). En estas cascara se encuentran una serie de pelos y/o fibras los cuales son muy delgados pero resistentes y fueron los escogidos para la prueba en las muestras de la tierra.



Figura 21. Fibra de cascara de coco para la mezcla en muestras de tierra.

Fuente: Elaboración propia

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO EN LA TAPIA PISADA

En un proceso manual y con ayuda de guantes y tapabocas, se cogían varias cascaras de Coco y se quitaban las fibras de una en una hasta llegar a tener una cantidad considerable para la realización de las muestras de tierra.



Figura 22. Fibra de Coco ya retirada de la cascara para la mezcla en muestras de tierra.

Fuente: Elaboración propia

5.1.4. Hoja de pino seca

La hoja de pino seca se optó como material en las muestras ya que estas hojas son pequeñas fibras naturales que se pueden obtener muy fácilmente y sin mayor esfuerzo, y así mismo probar si este agregado le dará mucha más resistencia a la tierra de la tapia pisada.



Figura 23. Rama de Pino con hojas secas para la mezcla en muestras de tapia pisada.

Fuente: Elaboración propia

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO EN LA TAPIA PISADA

Al igual que los anteriores agregados, se procede a retirar las fibras manualmente una por una hasta obtener una cantidad suficiente para las muestras de tierra.



Figura 24. Hojas de pino secas ya separadas de su rama para la mezcla en muestras de tierra

Fuente: Elaboración propia

5.1.5. Paja de zorro

La paja de zorro (Fig.25), cola de zorro o paja colorada también así llamadas, se usó en base a su utilización de la técnica vernácula del adobe, por eso se quiso comprobar cómo se comportaría ante los esfuerzos, pero en esta técnica de tierra comprimida en múltiples capas.



Figura 25. Paja de zorro para la mezcla en muestras de tierra.

Fuente: Elaboración propia

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO EN LA TAPIA PISADA

A este agregado al mezclarse con la tierra, solo se precedía a aplastarlo un poco y a romper las pajas manualmente doblándolas y así mezclándolas más fácilmente.

5.1.6. Cactus de la Tuna

Ya para la utilización del cactus de la tuna en las muestras de la tierra, se hicieron unos procedimientos en base a la tesis de Primo, C. de la universidad nacional de Cajamarca, el cual ya fue nombrado en el marco referencial de este trabajo. Los pasos que se siguieron fueron los siguientes:

- Se quitaron cuidadosamente todas las espinas de la tuna con un alicate para dejarlo totalmente al descubierto.
- Se lavaron las tunas para retirar toda suciedad que tuviera.
- Se procedido a cortar la tuna en múltiples tiras (Fig.26).
- Después, los pedazos ya cortados de la tuna se metieron a la licuadora con un poco de agua y se dejó por 5 minutos completos para que la mezcla estuviera bien homogénea (Fig.27).
- Ya después de licuada, se vierte en un recipiente de plástico (Fig.28), el cual nos deja ver que de las tunas salieron 500 ml de mezcla (Fig.29).

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO EN LA TAPIA PISADA



Figura 26. Cortado de la Tuna

Fuente: Elaboración propia

Después como dice en los pasos que se siguieron, se procedido a echar ya la tuna cortada en múltiples rodajas en la licuadora, con la ayuda de solo 20 ml de agua se procede a licuar y se deja 5 minutos completos hasta que la tuna quede totalmente licuada y homogenizada en una mezcla viscosa.



Figura 27. Licuado de la tuna.

Fuente: Elaboración propia



Figura 28. Vertimiento de la mezcla del licuado de Tuna

Fuente: Elaboración propia

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO EN LA TAPIA PISADA



500 ml de mezcla del proceso del licuado del cactus Tuna.

Figura 29. Obtención de 500 ml de mezcla licuada de Tuna.

Fuente: Elaboración propia

Después de realizados todos los pasos anteriores y de haber colocado cada agregado en sus respectivas proporciones, el resultado es un bloque de muestra de la tierra de la tapia pisada de 488.25 cm^3



Figura 30. Muestra de tierra para pruebas de resistencia.

Fuente: Elaboración propia



Figura 31. Muestras con sus respectivas características marcadas en etiquetas.

Fuente: Elaboración propia

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO EN LA TAPIA PISADA

Finalmente, después de realizados las 25 muestras se procedía a meterlos en el horno aproximadamente por 5 minutos a 180°C para que la tierra se seque más rápido y tenga mucha más consistencia, además de ahorrar tiempo de secado para las pruebas finales.



Figura 32. Muestras de tierra en el horno.

Fuente: Elaboración propia

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO EN LA TAPIA PISADA

6. Costos

Aquí podemos encontrar los costos generales de lo que costaron las muestras de tierra por unidad, los cuales están compilados en las siguientes tablas de la siguiente manera:

Tabla 3

Tabla de análisis unitario del molde de lámina galvanizada

DESCRIPCION	UN	CANTIDAD	VR UNITARIO	VR TOTAL
Lamina de acero galvanizado 1.00x1.20 – Cal. 16	M2	0.5	\$15.000	\$7.500
Herramienta menor	%	5	\$1.470	\$7
Mano de obra	Hh	1	\$6.000	\$6.000
			TOTAL	\$13.507

La tabla 3 nos muestra los diferentes costos unitarios de la realización del molde de lámina galvanizada para las muestras de tierra. Elaboración propia

Tabla 4

Tabla de análisis unitario del Pisón de acero

DESCRIPCION	UN	CANTIDAD	VR UNITARIO	VR TOTAL
Vara de acero	Mt	0.05	\$4.500	\$225
Lamina de acero	M2	0.02	\$3.000	\$60
Mano de obra	Hh	0.5	\$6.000	\$3.000
			TOTAL	\$3.285

La tabla 4 nos muestra los diferentes costos unitarios de la realización del pisón de acero para la compactación de las muestras de tierra. Elaboración propia

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO EN LA TAPIA PISADA

Tabla 5

Tabla de análisis unitario de la tierra rojiza para muestras

DESCRIPCION	UN	CANTIDAD	VR UNITARIO	VR TOTAL
Transporte	M3	1	\$30.000	\$30.000
Bulto de tierra rojiza	M3	1	\$10.000	\$10.000
			TOTAL	\$40.000

La tabla 5 nos muestra los diferentes costos unitarios del transporte de la tierra para las muestras. Elaboración propia

Tabla 6

Tabla de análisis unitario de los agregados para muestras

DESCRIPCION	UN	CANTIDAD	VR UNITARIO	VR TOTAL
Cactus Tuna	Ml	500	\$12	\$6.000
Costal de fique	Un	1	\$1.000	\$1.000
Coco	Kg	2	\$1.000	\$2.000
Hoja de pino seca	Kg	2	\$500	\$1.000
Paja de zorro	Kg	2	\$1.500	\$3.000
			TOTAL	\$13.000

La tabla 6 nos muestra los diferentes costos unitarios de los diferentes agregados naturales, los cuales estarán combinados en la mezcla de tierra de las muestras. Elaboración propia

Tabla 7

Tabla de análisis unitario de la muestra de tierra simple

DESCRIPCION	UN	CANTIDAD	VR UNITARIO	VR TOTAL
Tierra rojiza	M3	0.00102	\$40.000	\$41
Molde	Un	0.02	\$13.507	\$271
Pisón	Un	0.01	\$3.000	\$30
Agua	Lt	0.5	\$1.896	\$948
Mano de obra	Hh	0.5	\$6.000	\$3.000
			TOTAL	\$4.290

La tabla 7 nos muestra los diferentes costos unitarios de la realización de las muestras de tierra simple (sin ningún agregado). Elaboración propia

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO EN LA TAPIA PISADA

Tabla 8

Tabla de análisis unitario de la muestra de tierra + 1% cactus

DESCRIPCION	UN	CANTIDAD	VR UNITARIO	VR TOTAL
Cactus	Ml	5	\$12	\$60
Tierra rojiza	M3	0.00102	\$40.000	\$41
Molde	Un	0.02	\$13.507	\$271
Pisón	Un	0.01	\$3.000	\$30
Agua	Lt	0.5	\$1.896	\$948
Mano de obra	Hh	0.5	\$6.000	\$3.000
			TOTAL	\$4.350

La tabla 8 nos muestra los diferentes costos unitarios de la realización de la muestra de tierra con 5 ml de cactus el cual equivale al 1% de 500 ml. Elaboración propia

Tabla 9

Tabla de análisis unitario de la muestra de tierra + 2% cactus

DESCRIPCION	UN	CANTIDAD	VR UNITARIO	VR TOTAL
Cactus	Ml	10	\$12	\$120
Tierra rojiza	M3	0.00102	\$40.000	\$41
Molde	Un	0.02	\$13.507	\$271
Pisón	Un	0.01	\$3.000	\$30
Agua	Lt	0.5	\$1.896	\$948
Mano de obra	Hh	0.5	\$6.000	\$3.000
			TOTAL	\$4.410

La tabla 9 nos muestra los diferentes costos unitarios de la realización de la muestra de tierra con 10 ml de cactus el cual equivale al 2% de 500 ml. Elaboración propia

Tabla 10

Tabla de análisis unitario de la muestra de tierra + 3% cactus

DESCRIPCION	UN	CANTIDAD	VR UNITARIO	VR TOTAL
Cactus	Ml	15	\$12	\$180
Tierra rojiza	M3	0.00102	\$40.000	\$41
Molde	Un	0.02	\$13.507	\$271
Pisón	Un	0.01	\$3.000	\$30
Agua	Lt	0.5	\$1.896	\$948
Mano de obra	Hh	0.5	\$6.000	\$3.000
			TOTAL	\$4.470

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO EN LA TAPIA PISADA

La tabla 10 nos muestra los diferentes costos unitarios de la realización de la muestra de tierra con 15 ml de cactus el cual equivale al 3% de 500 ml. Elaboración propia

Tabla 11

Tabla de análisis unitario de la muestra de tierra + 4% cactus

DESCRIPCION	UN	CANTIDAD	VR UNITARIO	VR TOTAL
Cactus	Ml	20	\$12	\$240
Tierra rojiza	M3	0.00102	\$40.000	\$41
Molde	Un	0.02	\$13.507	\$271
Pisón	Un	0.01	\$3.000	\$30
Agua	Lt	0.5	\$1.896	\$948
Mano de obra	Hh	0.5	\$6.000	\$3.000
			TOTAL	\$4.530

La tabla 11 nos muestra los diferentes costos unitarios de la realización de la muestra de tierra con 20 ml de cactus el cual equivale al 4% de 500 ml. Elaboración propia

Tabla 12

Tabla de análisis unitario de la muestra de tierra + 5% cactus

DESCRIPCION	UN	CANTIDAD	VR UNITARIO	VR TOTAL
Cactus	Ml	25	\$12	\$300
Tierra rojiza	M3	0.00102	\$40.000	\$41
Molde	Un	0.02	\$13.507	\$271
Pisón	Un	0.01	\$3.000	\$30
Agua	Lt	0.5	\$1.896	\$948
Mano de obra	Hh	0.5	\$6.000	\$3.000
			TOTAL	\$4.590

La tabla 12 nos muestra los diferentes costos unitarios de la realización de la muestra de tierra con 25 ml de cactus el cual equivale al 5% de 500 ml. Elaboración propia

Tabla 13

Tabla de análisis unitario de la muestra de tierra + 6% cactus

DESCRIPCION	UN	CANTIDAD	VR UNITARIO	VR TOTAL
Cactus	Ml	30	\$12	\$360
Tierra rojiza	M3	0.00102	\$40.000	\$41
Molde	Un	0.02	\$13.507	\$271

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO EN LA TAPIA PISADA

Pisón	Un	0.01	\$3.000	\$30
Agua	Lt	0.5	\$1.896	\$948
Mano de obra	Hh	0.5	\$6.000	\$3.000
			TOTAL	\$4.650

La tabla 13 nos muestra los diferentes costos unitarios de la realización de la muestra de tierra con 30 ml de cactus el cual equivale al 6% de 500 ml. Elaboración propia

Tabla 14

Tabla de análisis unitario de la muestra de tierra + Fique

DESCRIPCION	UN	CANTIDAD	VR UNITARIO	VR TOTAL
Fique	Lb	0.5	\$1.000	\$500
Tierra rojiza	M3	.00102	\$40.000	\$41
Molde	Un	0.02	\$13.507	\$271
Pisón	Un	0.01	\$3.000	\$30
Agua	Lt	0.5	\$1.896	\$948
Mano de obra	Hh	0.5	\$6.000	\$3.000
			TOTAL	\$4.790

La tabla 14 nos muestra los diferentes costos unitarios de la realización de la muestra de tierra con el agregado de fique en su mezcla. Elaboración propia

Tabla 15

Tabla de análisis unitario de la muestra de tierra + Coco

DESCRIPCION	UN	CANTIDAD	VR UNITARIO	VR TOTAL
Coco	Lb	0.25	\$1.000	\$250
Tierra rojiza	M3	.00102	\$40.000	\$41
Molde	Un	0.02	\$13.507	\$271
Pisón	Un	0.01	\$3.000	\$30
Agua	Lt	0.5	\$1.896	\$948
Mano de obra	Hh	0.5	\$6.000	\$3.000
			TOTAL	\$4.540

La tabla 15 nos muestra los diferentes costos unitarios de la realización de la muestra de tierra con el agregado de coco en su mezcla. Elaboración propia

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO EN LA TAPIA PISADA

Tabla 16

Tabla de análisis unitario de la muestra de tierra + Hoja de pino seca

DESCRIPCION	UN	CANTIDAD	VR UNITARIO	VR TOTAL
Hoja de pino seca	Lb	0.5	\$500	\$250
Tierra rojiza	M3	.00102	\$40.000	\$41
Molde	Un	0.02	\$13.507	\$271
Pisón	Un	0.01	\$3.000	\$30
Agua	Lt	0.5	\$1.896	\$948
Mano de obra	Hh	0.5	\$6.000	\$3.000
			TOTAL	\$4.540

La tabla 16 nos muestra los diferentes costos unitarios de la realización de la muestra de tierra con el agregado de hoja de pino seca en su mezcla. Elaboración propia

Tabla 17

Tabla de análisis unitario de la muestra de tierra + Paja de zorro

DESCRIPCION	UN	CANTIDAD	VR UNITARIO	VR TOTAL
Paja de zorro	Lb	0.5	\$1.500	\$750
Tierra rojiza	M3	.00102	\$40.000	\$41
Molde	Un	0.02	\$13.507	\$271
Pisón	Un	0.01	\$3.000	\$30
Agua	Lt	0.5	\$1.896	\$948
Mano de obra	Hh	0.5	\$6.000	\$3.000
			TOTAL	\$5.040

La tabla 17 nos muestra los diferentes costos unitarios de la realización de la muestra de tierra con el agregado de paja de zorro en su mezcla. Elaboración propia

Tabla 18

Tabla de análisis unitario de la muestra de tierra + Fique + Cactus

DESCRIPCION	UN	CANTIDAD	VR UNITARIO	VR TOTAL
Fique	Lb	0.5	\$1.000	\$500
Cactus	Ml	25	\$12	\$300
Tierra rojiza	M3	.00102	\$40.000	\$41
Molde	Un	0.02	\$13.507	\$271
Pisón	Un	0.01	\$3.000	\$30
Agua	Lt	0.5	\$1.896	\$948

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO EN LA TAPIA PISADA

Mano de obra	Hh	0.5	\$6.000	\$3.000
			TOTAL	\$5.090

La tabla 18 nos muestra los diferentes costos unitarios de la realización de la muestra de tierra con el agregado de fique y 25 ml de cactus el cual equivale al 5% de 500 ml en la mezcla conjunta. Elaboración propia

Tabla 19

Tabla de análisis unitario de la muestra de tierra + Coco + Cactus

DESCRIPCION	UN	CANTIDAD	VR UNITARIO	VR TOTAL
Coco	Lb	0.25	\$1.000	\$250
Cactus	Ml	25	\$12	\$300
Tierra rojiza	M3	.00102	\$40.000	\$41
Molde	Un	0.02	\$13.507	\$271
Pisón	Un	0.01	\$3.000	\$30
Agua	Lt	0.5	\$1.896	\$948
Mano de obra	Hh	0.5	\$6.000	\$3.000
			TOTAL	\$4.840

La tabla 19 nos muestra los diferentes costos unitarios de la realización de la muestra de tierra con el agregado de coco y 25 ml de cactus el cual equivale al 5% de 500 ml en la mezcla conjunta. Elaboración propia

Tabla 20

Tabla de análisis unitario de la muestra de tierra + Hoja de pino seca + Cactus

DESCRIPCION	UN	CANTIDAD	VR UNITARIO	VR TOTAL
Hoja de pino seca	Lb	0.5	\$500	\$250
Cactus	Ml	25	\$12	\$300
Tierra rojiza	M3	.00102	\$40.000	\$41
Molde	Un	0.02	\$13.507	\$271
Pisón	Un	0.01	\$3.000	\$30
Agua	Lt	0.5	\$1.896	\$948
Mano de obra	Hh	0.5	\$6.000	\$3.000
			TOTAL	\$4.840

La tabla 20 nos muestra los diferentes costos unitarios de la realización de la muestra de tierra con el agregado de hoja de pino seca y 25 ml de cactus el cual equivale al 5% de 500 ml en la mezcla conjunta. Elaboración propia

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO EN LA TAPIA PISADA

Tabla 21

Tabla de análisis unitario de la muestra de tierra + Paja de zorro + Cactus

DESCRIPCION	UN	CANTIDAD	VR UNITARIO	VR TOTAL
Paja de zorro	Lb	0.5	\$1.500	\$750
Cactus	Ml	25	\$12	\$300
Tierra rojiza	M3	.00102	\$40.000	\$41
Molde	Un	0.02	\$13.507	\$271
Pisón	Un	0.01	\$3.000	\$30
Agua	Lt	0.5	\$1.896	\$948
Mano de obra	Hh	0.5	\$6.000	\$3.000
			TOTAL	\$5.340

La tabla 21 nos muestra los diferentes costos unitarios de la realización de la muestra de tierra con el agregado de paja de zorro y 25 ml de cactus el cual equivale al 5% de 500 ml en la mezcla conjunta. Elaboración propia

Tabla 22

Tabla de análisis unitario de la muestra de tierra + Fique + Coco + Hoja de pino seca + Paja de zorro + 5% cactus

DESCRIPCION	UN	CANTIDAD	VR UNITARIO	VR TOTAL
Fique	Lb	0.25	\$1.000	\$250
Coco	Lb	0.005	\$1.000	\$5
Hoja de pino seca	Lb	0.025	\$500	\$13
Paja de zorro	Lb	0.25	\$1.500	\$375
Cactus	Ml	25	\$12	\$300
Tierra rojiza	M3	.00102	\$40.000	\$41
Molde	Un	0.02	\$13.507	\$271
Pisón	Un	0.01	\$3.000	\$30
Agua	Lt	0.5	\$1.896	\$948
Mano de obra	Hh	0.5	\$6.000	\$3.000
			TOTAL	\$5.233

La tabla 22 nos muestra los diferentes costos unitarios de la realización de la muestra de tierra con los agregados de fique, coco, hoja de pino seca, paja de zorro y 25 ml de cactus el cual equivale al 5% de 500 ml en la mezcla conjunta. Elaboración propia

A continuación, se mostrarán en base a las anteriores tablas unas relaciones costo-beneficio entre todas las muestras, teniendo en cuenta sus características, la resistencia obtenida en las pruebas del laboratorio, el valor final total de cada unidad de muestra y por último el porcentaje de aumento del precio de este con la unidad básica de tierra simple.

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO EN LA TAPIA PISADA

Tabla 23

Tabla de muestra básica de tierra simple

DESCRIPCION	RESISTENCIA	% RESISTENCIA	VR	% AUMENTO VR
Muestras de tierra simple	21.8 kg/cm ²	-	\$4.290	-

La tabla 23 nos muestra la resistencia y el valor final de las muestras de tierra simple. Elaboración propia

Tabla 24

Relación costo-beneficio entre las muestras con los porcentajes de cactus

DESCRIPCION	RESISTENCIA	% RESISTENCIA	VR FINAL	% AUMENTO VR
Muestra de tierra con 1% de cactus	15.0 kg/cm ²	-16.8%	\$4.350	1.4%
Muestra de tierra con 2% de cactus	15.0 kg/cm ²	-16.8%	\$4.410	2.8%
Muestra de tierra con 3% de cactus	18.0 kg/cm ²	-18%	\$4.470	4.2%
Muestra de tierra con 4% de cactus	14.0 kg/cm ²	-16.4%	\$4.530	5.6%
Muestra de tierra con 5% de cactus	18.0 kg/cm ²	-18%	\$4.590	7%
Muestra de tierra con 6% de cactus	16.0 kg/cm ²	-17%	\$4.650	8.4%

La tabla 24 nos muestra la relación costo-beneficio entre las muestras de tierra con los porcentajes de cactus, para saber cuál es el más óptimo. Elaboración propia

Tabla 25

Relación costo-beneficio entre las muestras con los agregados fibrosos

DESCRIPCION	RESISTENCIA	% RESISTENCIA	VR FINAL	% AUMENTO VR
Muestra de tierra con fique	32.0 kg/cm ²	46.7%	\$4.790	11.6%
Muestra de tierra con coco	23.0 kg/cm ²	5.5%	\$4.540	5.8%
Muestra de tierra con hoja de pino	20.0 kg/cm ²	-1.74%	\$4.540	5.8%

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO EN LA TAPIA PISADA

Muestra de tierra con paja	24.0 kg/cm ²	10%	\$5.040	17.5%
----------------------------	-------------------------	-----	---------	-------

La tabla 25 nos muestra la relación costo-beneficio entre las muestras de tierra con los agregados fibrosos, para saber cuál es el más óptimo. Elaboración propia

Tabla 26

Relación costo-beneficio entre las muestras con los agregados fibrosos y el cactus

DESCRIPCION	RESISTENCIA	% RESISTENCIA	VR FINAL	% AUMENTO VR
Muestra de tierra con fique + 5% cactus	35.0 kg/cm ²	60.5%	\$5.090	18.6%
Muestra de tierra con coco + 5% cactus	28.0 kg/cm ²	28.4%	\$4.840	12.8%
Muestra de tierra con hoja de pino + 5% cactus	29.0 kg/cm ²	33.02%	\$4.840	12.8%
Muestra de tierra con paja + 5% cactus	30.0 kg/cm ²	37.6%	\$5.340	24.5%

La tabla 26 nos muestra la relación costo-beneficio entre las muestras de tierra con los agregados fibrosos y los porcentajes de cactus, para saber cuál es el más óptimo. Elaboración propia

Tabla 27

Relación costo-beneficio entre la muestra con todos los agregados fibrosos y el cactus

DESCRIPCION	RESISTENCIA	% RESISTENCIA	VR FINAL	% AUMENTO VR
Muestras de tierra con fique + coco + hoja de pino + paja + 5% cactus	27.0 kg/cm ²	23.8%	\$5.233	21.9%

La tabla 27 nos muestra la relación costo-beneficio entre las muestras de tierra con todos los agregados fibrosos y el cactus, para saber cuál es el más óptimo. Elaboración propia

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO EN LA TAPIA PISADA

7. Ensayos de laboratorio

Después de realizados las 25 muestras de la tierra ya propuestas, se llevaron al laboratorio de tierras y de la madera de la Universidad La Gran Colombia (UGC), el cual queda en el campus universitario de La Santa María (Km 23 Autopista Norte - vía Sopó). Allí se procedió a hacer las pruebas con ayuda de una prensa hidráulica (Fig.29), el cual mediante se daba movimiento a su pistón y/o gato nos daba la información de la presión en un manómetro que este ejercía sobre el bloque.



Figura 33. Prensa hidráulica.

Tomado de: <https://bit.ly/2OBVSad>

Con ayuda del director del laboratorio de tierras de la UGC y Arq. Juan Manuel Garzón Blanco, se procedió a las fallas de las muestras para comprobar cuanto resistían con ayuda de los diferentes agregados que tenían un su interior. Entonces con ayuda del manómetro, mirábamos cuanta presión (kg/cm^2) aguantaban. Principalmente se procedió a fallar las muestras con los porcentajes de cactus, después los que contaban con los agregados sin el cactus, a continuación,

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO EN LA TAPIA PISADA

los que tenían los agregados más el cactus y por último la muestra que contaba con todos los agregados y el cactus.



Figura 34. Muestra de tierra siendo probado en la prensa hidráulica.

Fuente: Elaboración propia



Figura 35. Dos muestras de siendo sometidas a presión en la prensa hidráulica.

Fuente: Elaboración propia

Así mismo, después de falladas y probadas las 25 muestras de tierra se recopilaron los resultados a través del manómetro. Los cuales se tomaron nota para su respectivo estudio y comparación de cual agregado es el que le puede dar más resistencia a la técnica de la tapia pisada en Colombia.

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO EN LA TAPIA PISADA

8. Resultados

En el momento de terminar las pruebas, se consiguieron los resultados de las diferentes muestras realizadas, los cuales demostraron la cantidad de presión (kg/cm²) que aguantaron hasta su total fractura y/o falla, Los resultados se compilaron en las siguientes tablas:

Tabla 28

Resultados de las pruebas de las muestras con porcentajes de cactus

Porcentaje del bloque (%)	Cantidad de peso soportado (Kg/cm²)
1%	15.0 kg/cm ²
2%	15.0 kg/cm ²
3%	18.0 kg/cm ²
4%	14.0 kg/cm ²
5%	18.0 kg/cm ²
6%	16.0 kg/cm ²

La tabla 3 muestra los resultados obtenidos en las pruebas de las diferentes muestras de tierra que tenían múltiples porcentajes del cactus de la Tuna. Elaboración propia

Tabla 29

Resultados de las pruebas de las muestras con agregados sin cactus (S/C)

Agregados	Cantidad de peso soportado (Kg/cm²)
S/C + Hoja de pino seca	20.0 kg/cm ²
S/C + Fibra de pelo de Coco	23.0 kg/cm ²
S/C + Paja de Zorro	24.0 kg/cm ²
S/C + Fique	32.0 kg/cm ²

La tabla 4 muestra los resultados obtenidos en las pruebas las diferentes muestras de tierra que tenían los diferentes agregados, sin el cactus de la Tuna. Elaboración propia

Tabla 30

Resultados de las pruebas de las muestras con agregados con cactus

Agregados	Cantidad de peso soportado (Kg/cm²)
Cactus + Hoja de pino seca	29.0 kg/cm ²
Cactus + Fibra de pelo de Coco	28.0 kg/cm ²
Cactus + Paja de Zorro	30.0 kg/cm ²
Cactus + Fique	35.0 kg/cm ²

La tabla 5 muestra los resultados obtenidos en las pruebas de las diferentes muestras de tierra que tenían los diferentes agregados, con el cactus de la Tuna. Elaboración propia

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO EN LA TAPIA PISADA

Tabla 31

Resultado de la prueba a la muestra con todos los agregados y el cactus

Agregados	Cantidad de peso soportado (Kg/cm²)
Hoja de pino seca + Fibra de pelo de Coco + Paja de Zorro + Fique + Cactus	27.0 kg/cm ²

La tabla 6 muestra los resultados obtenidos en las pruebas de las diferentes muestras de tierra que tenían todos los agregados con el cactus de la Tuna. Elaboración propia

Tabla 32

Resistencia promedio de las muestras de tierra simple sin ningún agregado

Descripción	Resistencia Promedio
Muestras de tierra simple	21.8 kg/cm ²

La tabla 7 muestra los resultados obtenidos en las pruebas de las muestras de ensayo de la tierra, los cuales no tenían ninguno de los agregados. Elaboración propia

Como podemos observar en la tabla 3 y en comparación con la tabla 7, las muestras no consiguieron un aumento significativo, incluso como podemos ver en estas mismas de 1% y 2% estos pierden un poco más de resistencia en comparación con el promedio general que aguantaron las demás muestras de ensayo los cuales no contaban con agregado alguno.

En cambio, en la tabla 4 y 5, se puede apreciar que las dos muestras que contaban con el agregado fibroso del **FIQUE** tanto con y sin la tuna, tuvieron una mejoría considerable a la presión a las que se les fue ejercidas. Llegando a soportar más del doble de la presión mínima que lograron las de ensayo. Igualmente, con los demás agregados fibrosos se observó una mejoría en su resistencia, así mismo mejorando sus características físicas y en especial mecánicas las cuales ayudaran a que esta técnica sea mucho más rígida y sólida.

En cuanto a la muestra que contaba con todos los agregados, no mostro la resistencia esperada, la cual era que lograra superar al índice de presión que obtuvieron las demás, igualmente no se descarta la posibilidad de usar estos agregados conjuntos para las construcciones con esta técnica.

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO EN LA TAPIA PISADA

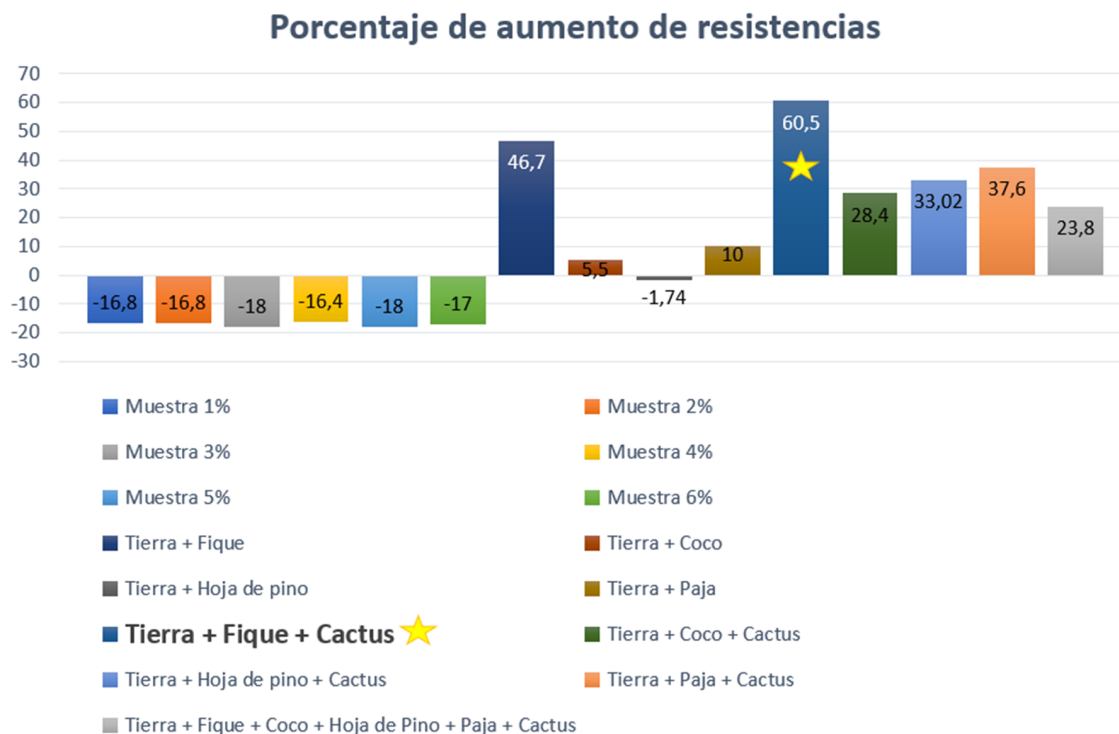


Figura 36. Grafica de los porcentajes totales presentados en las resistencias de las diferentes muestras de tierra

Fuente: Elaboración propia

Nota: En la gráfica (Fig.36) podemos observar los porcentajes totales adquiridos de las muestras de la tierra que fueron ensayadas en el laboratorio, donde se ve los materiales empleados y cuando porcentaje tuvo de resistencia a la compresión. Mostrando una gran mejoría la tierra con los agregados fibrosos en su resistencia promedio final.

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO EN LA TAPIA PISADA

9. Conclusiones y recomendaciones

Como primera instancia, se comparó la resistencia que tiene la técnica tradicional de la tapia pisada con la propuesta de la adición de los diferentes agregados seleccionados y de los cuales se observó que los agregados fibrosos le dan una gran mejoría a los esfuerzos que pueda tener tanto la estructura como esta forma de construcción tradicional.

Por lo tanto, se encontró que la utilización de estos agregados fibrosos y del cactus de la tuna si mejoran considerablemente las características físicas y mecánicas de la técnica y en especial de la tierra ante el esfuerzo de la compresión, aunque es recomendable que en el caso de la tuna no se usen grandes cantidades ya que este podría bajarle sus cualidades mecánicas de resistencia, por eso se recomienda cuando se vaya a hacer un tapial agregarle entre un 3 al 5% para obtener una resistencia aceptable, añadiendo también así los demás materiales los cuales se procuraron que sean de fácil obtención en zonas rurales, y en especial de la fibra de fique ya que fue la que le dio una mejoría a gran escala.

En base a la relación costo-beneficio, la mejor opción es optar por el agregado de **FIQUE** como se dijo anteriormente ya sea con o sin él cactus, ya que las muestras constituidas de este material mostraron los mayores porcentajes de resistencia que van del 5.5% al 60.5%, ósea demostrando una mejoría en sus características. Y su aumento en el precio va entre el 11.6% al 18.6%. Esto nos muestra que, aunque aumente un poco más el precio, obtendremos una mejor tierra mucho más resistente ante estos esfuerzos físicos y mecánicos gracias a este agregado natural.

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO EN LA TAPIA PISADA

Se recomienda también seguir con los estudios de las diferentes fibras naturales y/o sintéticas que se puedan utilizar en esta técnica y que sean de fácil obtención al momento de la construcción del tapial. También realizar una serie de pruebas tanto de tracción, temperatura, impermeabilización, etc., para poder así estudiar, analizar y mediante la realización de diferentes procesos procurar la conservación y el mejoramiento de esta técnica.

En conclusión, este mejoramiento en la tierra hará que diferentes estructuras en Colombia a nivel rural tengan una resistencia ya superior al 50% ante fuertes movimientos y demás agentes externos que puedan enfrentar estas construcciones con tierra, ya que estos agregados son muy fáciles de conseguir en su entorno y constan solo de su adición en la tierra sin ningún proceso de más.

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO EN LA TAPIA PISADA

Referencias bibliográficas

- Asociación Colombiana de ingeniería sísmica (2001). *Manual para la rehabilitación de viviendas construidas en adobe y tapia pisada*. Recuperado de https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/98/Adobe_sistema_constructivo.pdf
- Constitución política de Colombia [Const. P.]. (1991). Colombia: Recuperado de <http://www.constitucioncolombia.com/titulo-2/capitulo-2/articulo-72>
- Doat, P., Hays, A., Houben, H., Matuk, S. y Vitoux, F. (1996) *Construir con tierra-tomo I*. Bogotá, Colombia: Fondo rotatorio
- Primo, C. (2014). *Efecto de la adición de extracto de paleta de TUNA (Opuntia Ficus-Indica) en la resistencia a compresión del concreto*. Universidad nacional de Cajamarca, Perú.
- Rojas, L., Vecino, P. y Jiménez, H. (2018). *La tapia pisada como técnica constructiva vernácula* (Tesis de pregrado). Universidad Santo Tomas, Bucaramanga, Colombia.
- Yamin, L., Bernal, C., Reyes, J. y Valencia, D. (2007, 7 de noviembre). Estudios de vulnerabilidad sísmica, rehabilitación y refuerzo de casas en adobe y tapia pisada. *Apuntes*. Recuperado de <https://revistas.javeriana.edu.co/index.php/revApuntesArq/article/view/8984/7283>