



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

La Universidad Católica de Loja

ÁREA TÉCNICA

TITULO DE ARQUITECTO

Experimentación con cal y fibra de cabuya en la estabilización de tierra como material de construcción.

TRABAJO DE TITULACIÓN.

AUTOR: Becerra Granda, Merci Enith

DIRECTOR: Villacís Suárez, Carlos Ivan, Arq.

LOJA – ECUADOR

2016



Esta versión digital, ha sido acreditada bajo la licencia Creative Commons 4.0, CC BY-NY-SA: Reconocimiento-No comercial-Compartir igual; la cual permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra, mientras se reconozca la autoría original, no se utilice con fines comerciales y se permiten obras derivadas, siempre que mantenga la misma licencia al ser divulgada. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>

2016

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Arquitecto.

Carlos Ivan Villacís Suarez

DOCENTE DE LA TITULACIÓN

De mi consideración:

El presente trabajo de titulación: **Experimentación con cal y fibra de cabuya en la estabilización de tierra como material de construcción**, realizado por **Merci Enith Becerra Granda**, ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por cuanto se aprueba la presentación del mismo.

Loja, Octubre de 2016

f).

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

“Yo, **Becerra Granda Merci Enith**, declaro ser autora del presente trabajo de titulación: Experimentación con cal y fibra de cabuya en la estabilización de tierra como material de construcción, de la Titulación Arquitectura, siendo el Arq. Carlos Ivan Villacis Suárez director del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales. Además certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 88 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado que se realicen a través, o con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”

f.
Becerra Granda Merci Enith
C.C: 0704932227

DEDICATORIA

A mi leal y eterno amor José Manuel Yaguachi.

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar un sincero agradecimiento a principalmente a Dios y a todas las personas que se convirtieron en una pieza fundamental para mi formación:

Especialmente a mis padres, quienes con su esfuerzo y cariño me guiaron, cultivando en mí valores y principios que me han servido a lo largo de mi vida. Además han sido para mí, ejemplo de superación.

A mis hermanos y hermanas, que supieron tenderme su mano cuando más la necesitaba.

A mi esposo e hija, por su paciencia, cariño y comprensión.

Al Arq. Carlos Villacis, que acertadamente ha dirigido mi trabajo de fin de titulación.

Al Ing. Alonso Zúñiga, que me ayudó en el desarrollo de las pruebas de laboratorio.

A todos mis amigos y compañeros, que me prestaron su apoyo para desarrollar este trabajo.

A la Universidad Técnica Particular de Loja, por mantener siempre sus puertas abiertas y por formarme académicamente.

Merci

INDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA	i
APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN	ii
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS.....	iii
DEDICATORÍA	iv
AGRADECIMIENTO	v
INDICE DE CONTENIDOS	vi
JUSTIFICAIÓN	x
HIPÓTESIS Y OBJETIVOS	xi
RESUMEN.....	1
ABSTRACT	2
INTODUCCIÓN	3
CAPÍTULO I: ESTADO DE ARTE, SÍNTESIS BIBLIOGRÁFICA Y APORTE	5
1.1. Generalidades	6
1.2. Estado de arte	
1.2.1. Tierra estabilizada con cal y cemento portland para Bloques de tierra comprimida...7	
1.2.2. Estudio de suelo - cal	7
1.2.3. Casa de bloques de tierra Comprimida (BTC) en Rocha.....	8
1.2.4. Paneles de cabuya.....	8
1.2.5. Ladrillos crudos con adición de fibras vegetales (cabuya).....	8
1.4. Reflexiones sobre casos análogos	9
1.5. Aporte	9
CAPÍTULO II: FIBRA DE CABUYA	10
2.1. Introducción	11
2.2. Naturaleza de las fibras.....	12
2.2.1. Antecedentes	12
2.2.2. Concepto.....	12
2.2.3. Clasificación	13

2.2.4. Las fibras vegetales	13
2.2.5. Extracción de fibras.....	14
2.3. Cabuya (furcraea andina).....	15
2.3.1. Producción y extracción de la fibra.....	16
2.3.1.1. Cultivo.....	16
2.3.1.2. Cosecha.....	16
2.3.1.3. Rendimiento por hectárea	16
2.3.1.4. Corte.....	17
2.3.1.5. Desfibrado.....	18
2.3.1.6. Lavado	19
2.3.1.7. Secado.....	19
2.3.2. Clasificación y almacenamiento	20
2.3.3. Descripción de la fibra de cabuya empleada en el presente trabajo	21
2.4. Las fibras en la construcción con tierra.....	22
CAPÍTULO III: LA TIERRA EN LA ARQUITECTURA	23
3.1. Introducción	24
3.2. Antecedentes	25
3.3. Técnicas artesanales de arquitectura con tierra	27
3.3.1. Adobe.....	27
3.3.2. Tapial	28
3.3.3. Bahareque.....	28
3.4. Suelos	29
3.5. Clasificación de los suelos para estabilización con cal	30
3.6. Características y comportamiento	30
3.7. Estabilización del suelo	31
3.8. Ventajas y desventajas de la construcción con tierra.....	33

CAPÍTULO IV: METODOLOGIA EXPERIMENTAL	35
4.1. Introducción	36
4.2. Resumen del experimento	37
4.3. Diseño de mezclas	38
4.4. Preparación y descripción de la materia prima	38
4.4.1. Descripción de la tierra	38
4.4.1.1. Ensayos para caracterizar el suelo	39
4.4.2. Fibras de cabuya	44
4.4.3. Cal aérea hidratada	46
4.4.4. Sábila	47
4.5. Equipos	48
4.5.1. Equipos utilizados en la Universidad Técnica Particular de Loja	48
4.5.2. Mezcladora	48
4.5.3. Balanza de precisión	48
4.5.4. Moldes probetas prismáticas	48
4.5.5. Moldes probetas cúbicas.....	49
4.5.6. Máquina de ensayos de resistencia a compresión y a flexión.....	49
4.6. Métodos de experimentación.....	50
4.6.1. Diseño de mezclas y dosificaciones	50
4.7. Proceso de elaboración de probetas	52
4.8. Ensayos aplicados.....	53
4.8.1. Resistencia a la compresión.....	53
4.8.1.1. Cálculo de resistencia a la compresión y resumen	55
4.8.2. Resistencia a la flexión.....	56
4.8.3. Cálculo de resistencia a la compresión y resumen flexión.....	58
4.8.4. Densidad prueba de humedad y absorción	59
4.9. Análisis de datos obtenidos	61

4.9.1. Análisis del resultado de resistencia a la compresión	62
4.9.2. Análisis del resultado de resistencia a la flexión	62
4.9.3. Análisis del resultado de densidad, prueba de humedad y absorción	63
4.10. Selección de probeta	63
4.11. Propuesta del material propuesto	64
4.11.1. Sustento teórico de posibles aplicaciones	64
COMPROBACIÓN DE HIPÓTESIS	65
5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	66
BIBLIOGRAFÍA.....	67

JUSTIFICACIÓN.

Sin duda alguna la aceptación que tiene el uso de la tierra¹ en la arquitectura se debe principalmente a lo barato y abundante del material, además se vive un resurgir por las ventajas que en algunos aspectos presenta como: buena resistencia a compresión y durabilidad; una apropiada aislación térmica, acústica y por ser ecológicamente amigable.

A pesar que hoy es de profunda preocupación la responsabilidad ecológica, la industria de la construcción es una de las que generan mayor impacto ambiental². Según el libro “Sustainable Building. and Environmental Preference Method for Selection of Materials for Use in Construction and Refurbishment” el sector de construcción es responsable de 50 % del uso total de recursos naturales, para 40 % de la energía consumida y para 50 % del desperdicio total generado en el mundo entero, este problema nos involucra directamente; puesto que hacemos parte del problema y por tanto debemos buscar la solución, así dejar de ser catalogados como el gremio más contaminante del planeta. Razón por la que es necesario, utilizar y generar materiales y componentes constructivos que empleen materias primas renovables³. Conscientes de esta realidad se propone usar cal y fibra de cabuya para estabilizar la tierra a arquitectónicos.

Teniendo como objetivo final en esta investigación conseguir un material que proporcione buenas condiciones de resistencia, aislamiento hidrófugo y térmico, apariencia etc. con lo que se le brinde al usuario, calidad, seguridad, confort y ahorro en términos de tiempo - dinero. Además de un aporte para la conservación del medio ambiente. Por lo tanto sus propiedades físicas y mecánicas serán comprobadas, enmarcándose dentro del rango que establece las

¹ Arquitectura y construcción con tierra: nombres dados a toda la producción arquitectónica que emplea el suelo como la principal materia prima– se usan diversas denominaciones, tales como tierra cruda, tierra sin cocer, tierra para construir, así lo adoptado en este trabajo- es la palabra “tierra”, lo que representa al suelo apropiado para la construcción. El término “suelo” es usado principalmente cuando involucra clasificaciones y caracterizaciones, que también es adoptado en este estudio para referirse necesariamente a la materia prima.

² Anink, D., Boonstra, C. and Mak, J. Handbook of Sustainable Building. And Environmental Preference Method for Selection of Materials for Use in Construction and Refurbishment. Editorial James and James Ltda, London, 1996.

³ El término renovable nos garantiza la posibilidad de obtener nuevamente un recurso para poderlo sostener a futuro y dejar la necesidad de utilizar otros que no lo son, y de esta manera preservarlos para no llegar a su extinción

siguientes normas NBR 10834 – 1994⁴, UNE-41410⁵; UNE-459⁶, RNE2006_E_080⁷ ASTM⁸. Las normas a considerarse:

HIPÓTESIS.

Si se aplica cal y fibra de cabuya a un tipo de tierra conocido, en el porcentaje correcto, se obtendrá un material de construcción que cumpla con los requerimientos técnicos.

OBJETIVOS

Objetivo General.

Aplicar una metodología que permita estabilizar la tierra mediante la adición de cal y fibra de cabuya con el fin de mejorar las propiedades mecánicas de la tierra para ser utilizado como material de construcción.

Objetivos Específicos.

- Estudiar el uso de tierra en la arquitectura y métodos de estabilización.
- Conocer las propiedades de la fibra de cabuya, disponibles en nuestro medio, y su comportamiento al incorporarlas a la tierra.
- Caracterizar por medio de los ensayos tradicionales de la mecánica de suelo, la tierra seleccionada para el presente estudio.
- Experimentar y seleccionar la dosificación idónea para estabilización de tierra con cal y fibras de cabuya. Analizar y justificar los posibles usos en la arquitectura de tierra estabilizada.

⁴ Norma Brasileña. Bloque de suelo cemento con función estructural.

⁵ Bloques de tierra comprimida para muros y tabiques

⁶ UNE-EN 459-1:2011. Cales para la construcción.

⁷ Norma peruana. Adobe.

⁸ (American Society for Testing Materials) Institución norteamericana de normalización. Asociación que regula las normas a nivel internacional.

METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.

Se utilizarán las metodologías adecuadas al desarrollo de cada parte de la investigación. Que estará enmarcada en los siguientes componentes.

Bibliográfica: Libros, artículos, ponencias, entre otros.

Analítica: Casos análogos desarrollados en otros países y a nivel nacional.

Propositiva: De técnica de estabilización de tierra empleando material de cercana procedencia de Loja.

Experimental: Que nos permita someter las probetas a los ensayos pertinentes. Comprobar la funcionalidad del material y verificar su funcionalidad.

Lo anterior permite, mediante la investigación bibliográfica se sintetiza lo que se ha dado a nivel local, nacional e internacional.

Se determina la disponibilidad de materia prima existente a nivel de la ciudad, provincia y región que permita su provisión de manera eficiente así abastecer una posible explotación.

Se analiza las propiedades físicas, químicas, mecánicas de cada uno de los materiales selectos que permitirán emplearlos de forma correcta.

Se ensaya con diferentes mezclas y dosificaciones seleccionando las que muestren mejores rendimiento en esfuerzos a compresión y tracción.

Finalmente, con la dosis definida, se describe su aplicación en un proyecto arquitectónico.

RESUMEN.

Las fibras de la planta de cabuya y cal han conseguido estabilizar el suelo para aplicarlo en arquitectura de tierra.

En el proceso de estabilización se hizo un diseño de mezclas con las que obtuvo especímenes sometidos a pruebas mecánicas con lo que se da a conocer propiedades a la flexión y a la compresión en mezclas de 3, 6, 9 y 12 % de fibra de cabuya en una matriz de tierra estabilizada (suelo estabilizado con 8% de cal).

Se justifica el uso del material en adobes, morteros y técnicas de arquitectura de tierra confrontando los resultados con la normativa correspondiente.

PALABRAS CLAVE: tierra, fibras de cabuya, cal, estabilización del suelo, arquitectura en tierra.

ABSTRACT

The fibers of the sisal plant and lime have managed to stabilize the ground to apply in earthen architecture.

In the process of stabilization it was a design blends with which he obtained specimens subjected to mechanical tests with what is disclosed properties flexural and compressive strength of mixtures of 3, 6, 9 and 12% sisal fiber in a matrix stabilized earth (soil stabilized with 8% lime).

The use of material in bricks, mortars and earthen architecture techniques is justified by comparing the results with the relevant regulations.

KEYWORDS: earth, sisal fibers, lime, soil stabilization, earth architecture.

INTRODUCCIÓN

“El mayor invento del siglo XIX fue la invención del método para inventar”

A.N. Whitehead

Por naturaleza el hombre tiende a relacionar algo conocido de forma innovadora o de apartarse de los esquemas de pensamiento y conducta habituales para dar soluciones a sus problemas, en este caso emplear cal y fibras de cabuya en estabilización de tierra para conseguir un material de construcción apegado a los requerimientos técnicos.

La arquitectura de Tierra se utiliza desde épocas inmemorables para resolver las necesidades habitacionales en variados climas y sitios. La historia de la construcción con tierra demuestra sus bondades (resistencia a compresión y durabilidad)¹. Paradójicamente, aún es sinónimos de un bajo nivel de estatus social, al ser para muchos único medio para construir una vivienda.

El desarrollo del presente trabajo es importante ya que tanto por sus ventajas y como por la búsqueda de materiales ecológicamente amigables, hoy se vive un resurgir que puede observarse en el interés por iniciativas y desarrollo de investigaciones acerca de este material. Se plantean estudios sistemáticos de la tierra en sus diferentes técnicas constructivas, para superar sus raíces empíricas, dominar científicamente todos los aspectos del tema y conducir su aplicación práctica por las vías más racionales, económicas y seguras.

Un inconveniente que se presenta al trabajar con tierra es la baja resistencia a flexión y tensión que posee el material, incurriendo muchas veces en fisuras, en poca resistencia estructural o crear muros de mayor espesor.

El interés de la presente investigación es solucionar estas desventajas incorporando cal y fibra de cabuya, como alternativa para conseguir un material idóneo con el cual se pueda conformar elementos arquitectónicos

Se enfatiza en definir la composición del material (dosificación de la mezcla), demostrar sus propiedades físicas y mecánicas, de esta resolver la problemática tema de esta investigación.

El capítulo I. Se revisa el estado de arte. Exponiendo las ventajas e inconvenientes comunes, encontrados en trabajos similares. Se enuncia cómo el presente trabajo pretende dar solución

¹ Oliveira, Mário M., “O solo-cal: uma visão histórica e documental” en Memorias del IV SIACOTIIIATP, Escola Superior Gallaecia, Monsaraz, 2005.

a ello. Se indica la intención de la propuesta y el aporte al aplicar cal y fibras de cabuya para solucionar los inconvenientes presentados al usar la tierra con fines arquitectónicos. Dentro de este capítulo se hace un apartado dedicado al análisis de los materiales compuestos.

En el capítulo II se desarrolla el estudio de la arquitectura con tierra, su historia, ventajas y desventajas, características y comportamiento. Finalmente se hace una revisión métodos de estabilización.

En el capítulo III, se investiga la fibra de cabuya: la naturaleza de las fibras, su origen, características de la planta, producción, extracción y rendimiento. Y todos los aspectos técnicos de la fibra de cabuya.

En el capítulo IV denominado Metodología experimental se explica el desarrollo del experimento. Abarca una sección de materiales y métodos en la que se hace un resumen de la preparación de la materia prima y sus características. Se diseñan las diferentes dosificaciones para hacer las probetas que posteriormente son sometidas a ensayos de resistencia a compresión, a flexión, humedad y absorción.

Se analiza el material obtenido y se discute acerca de los resultados logrados para seleccionar la dosificación final.

Finalmente se define y justifica los usos del material en un proyecto arquitectónico.

**CAPÍTULO I. ESTADO DE ARTE, SÍNTESIS
BIBLIOGRÁFICA Y APORTE**

1.1. Generalidades

El enfoque de este capítulo está diseccionado al conocimiento de aspectos fundamentales del proyecto.

En una primera sección se revisa casos análogos: aspectos técnicos, proceso constructivo, materiales involucrados, los mayores inconvenientes a los que se enfrentaron durante su desarrollo y resultados obtenidos.

Se revisa casos análogos, poniendo énfasis en la forma que se resolvieron los problemas encontrados.

Se compara los porcentajes de componentes de la tierra usada por los distintos autores y que ello sirva de punto de confrontación.

Se explica cómo mejora las características físico-mecánicas de la tierra al agregar cal y fibras de cabuya.

Se considera preciso desarrollar una sección en la que se profundiza los materiales compuestos y la trascendencia que ocupan en los actuales momentos, especialmente en elementos de construcción.

1.2. Estado de arte.

Se entiende por “Estado del Arte”, a la historia y análisis general, en conjunto, de las publicaciones e investigaciones que se han hecho sobre el tema. El campo de investigación referente a la tierra estabilizada con cal o fibras es extenso y con excelentes logros.

A continuación se enuncian algunas investigaciones tomadas como punto de partida para este trabajo

1.2.1. Tierra estabilizada con cal y cemento portland para Bloques de tierra comprimida (BTC)

En la Universidad de Checoslovaquia en Praga, Jan Ruzika para obtener su tesis doctoral realizó una investigación sobre el comportamiento de los bloques de tierra comprimidos y estabilizados en estado seco y húmedo para determinar si la compresión es la que determinaba la resistencia o la adición de estabilizantes como cemento Pórtland y cal y los porcentajes de estabilización. De igual manera se preguntó ¿cuál era el comportamiento de estos bloques estabilizados de manera húmeda? Para determinar si mejoraban o si era la compresión más importante que la adición. Se lanzó una serie de 150 bloques curados y unos a las 6.3 semanas de elaborados y otros hasta las 77.3 semanas, para cada uno de los grupos, es decir, secos y húmedos, estabilizados con cemento, y estabilizados con cal, y los estudios arrojaron que bajo condiciones de alta humedad, la adición de cemento o cal a los BTC mejora significativamente su comportamiento. El período de la investigación duró desde el 2001 hasta el 2003.

Conclusiones: Bajo condiciones de alta humedad, la adición de cemento o cal a los BTC mejora significativamente su comportamiento. En otras palabras: donde los BTC están sometidos a altos riesgos de humedad, es aconsejable mezclar cemento o cal (5% en estos ensayos) a la tierra. La compresión en la fabricación de los bloques no es tan importante, una vez húmedos, la diferencia resulta pequeña¹.



Fig.1.1: Bloque de tierra estabilizada con cal y cemento

Fuente: Ruzika J. Praga. 2008

1.2.2. Estudio de suelo-cal

¹ Disponible en la pág.: <http://www.ecosur.org/index.php/ediciones-antteriores/86-edicion-23-diciembre-2006/359-bloques-prensados-de-tierra-iresistentes-a-la-humedad>. Consultado el 20 de septiembre de 2016

En la Universidad Federal de Bahía, Brasil, con miras a determinar el efecto de la composición mineralógica de las arcillas dentro de sistemas compactados de suelo-cal, se han logrado establecer interesantes comparaciones entre tipos de mezclas con distribuciones granulométricas similares. En esas investigaciones se desarrollaron diversos ensayos con probetas en las que se agregaron como estabilizantes fracciones de cal que variaban entre 0 y 12%. Entre los resultados obtenidos destaca el hecho de que, para determinados tipos de suelos, se pudieron obtener incrementos en la resistencia de la compresión simple que pasó de 6 hasta 15 kg/cm². Además se puso en evidencia la disminución de la contracción de las mezclas debido al secado, así como la limitación en la acumulación de agua.

Las mejores respuestas se consiguieron agregando solamente entre 4 y 8% de cal (Hoffman B, Brasil, 2002, p. 72)

1.2.3. Casa de bloques de Tierra Comprimida (BTC) en Rocha

Arquitectos: Gerardo Cadenazzi - Andrés Nogués

País: Rocha, Uruguay

La Obra: La tecnología utilizada en los muros fue BTC, Bloques de tierra comprimida realizados a pie de obra. Por las condiciones del suelo del lugar, se prefirió traer tierra de una cantera cercana a la obra, debido a la composición de la misma, la que contenía mejores proporciones de arcilla y mejor color que la tierra del lugar. Se utilizó una proporción de 10 partes de tierra y 1 parte de cemento portland gris. Se realizaban un promedio de 180 BTC por jornada, contando con una máquina Cinva-RAM y tamiz, involucrando en este rendimiento la preparación de la tierra, el tamizado, el adicionado de cemento y agua y el compactado de los mismos. Se curaron regándolos con agua por un período de 7 días.



Fig.1.2: Casa terminada, hecha con BTC

Fuente: Arq. Nogués A. Uruguay - 2010

1

La empresa Cannabric, fundada en Alemania a finales del siglo pasado, se dedica a la fabricación de bloques de bioconstrucción a base de subproductos del Cáñamo y fique (cabuya). Y tiene una amplia gama de productos como son el cannapapel, cannabrick, tableros de cáñamo, fieltros de cáñamo, etc. **Fig. 1.3.**

La empresa se dedica específicamente a la Bioconstrucción con cáñamo que es de características similares a la cabuya, donde las construcciones con morteros de cáñamo, sobre todo nuevas, se basan principalmente en estructuras integrales de madera (vertical, horizontal y cubierta) y mortero de cáñamo muy aislante y sin función estructural, compactado entre o fuera de esta, mientras lo más caro de la inversión, la madera, queda oculta.



Fig.1.3: Productos de la Empresa Cannabric
Fuente: <http://www.cannabric.com/links>

1.2.5.Paneles de cabuya.

En su artículo publicado en la revista INVI, de la Universidad de Chile, en el cual habla acerca de una investigación llevada a cabo en el CEVE² relativa a la fabricación de elementos constructivos utilizando cabuya. **Fig. 1.4; Fig. 1.5.**

En ella realizaron la ampliación de cinco viviendas y una tapia en barrios marginales de la ciudad de Córdoba, Argentina, utilizando la tecnología de fabricación de ladrillos y placas de con este material³. El ladrillo de cabuya está formado por fibras vegetales de cabuya industrial, cal y una mezcla de minerales. Reúne todas las funciones de un muro estructural como son la resistencia a las cargas y la protección contra incendios. Asegura una regulación automática de

² (CEVE) Centro Experimental para la Vivienda Económica.

³ Rosana Gaggino Ladrillos y placas prefabricados con fibras aptos para la autoconstrucción. 2008. Argentina

la humedad y su conductividad térmica lo convierte en un material con gran capacidad aislante frente al frío y el calor.

La fibra de cabuya no contiene proteínas nutritivas para parásitos animales o que ocasionan podredumbre y por tanto no exige tratamientos previos. Además, combinada con la cal protege de la humedad y gana una defensa extra ante el ataque de hongos y parásitos vegetales.

La investigación logro los siguientes objetivos:

Tecnológico: Desarrollar componentes de construcción livianos, de buena aislación térmica, y resistencia mecánica suficiente para cumplir la función de cerramiento lateral de la vivienda.

Ecológico: Colaborar con la descontaminación del medio ambiente.

Económico: Abaratar costos en la producción de elementos constructivos para la vivienda de interés social.

De género: Desarrollar una tecnología constructiva apta para mujeres, por la liviandad de los componentes.



Fig.1.4: ladrillos y paneles con fibra de cabuya.
Fuente: PUSE – SI; reciclaje de residuos agrícolas de café y cabuya en la elaboración de tableros compuestos

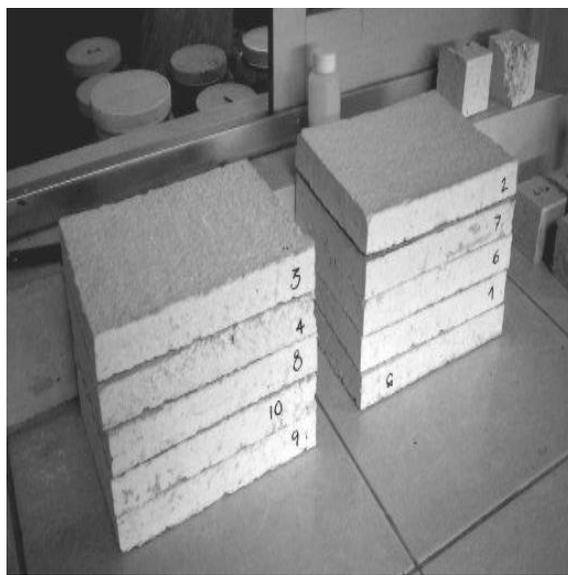


Fig.1.5: Probetas de cabuya para bloques.
Fuente: (CEVE) Centro Experimental para la Vivienda Económica compuestos

1.2.6.Ladrillos crudos con adición de fibras vegetales de cabuya.

Para la fabricación de estos ladrillos (**Fig. 1.6**) se emplea suelo y fibra de cabuya en un porcentaje del 20% sobre el volumen total de la mezcla. La utilización de estas fibras favorece la cohesión de la mezcla, disminuye la fisuración



Fig.1.6: Panel de cabuya.
Fuente: http://www.COGTc.com/bioconstruccion/construir_con_tierra

desperdicia menos material. Los resultados de resistencia y de absorción de agua son adecuados al ser comparados con la norma Brasileña que exige a los ladrillos para cerramiento una resistencia a compresión de 1 MPa y se aprovecha un producto agrícola en la fabricación de elementos constructivos.⁴

1.3. Reflexiones sobre casos análogos.

Con las investigaciones antes anotadas se evidencia que la tierra es un material que posee ventajas dentro del campo de la construcción, sin embargo, muchas veces en condiciones naturales no presenta la resistencia, estabilidad y durabilidad requeridas.

Estas deficiencias se pueden vencer al someterla a un proceso de estabilización, lo que significa. “modificar las propiedades de un sistema tierra-agua-aire”, con lo que se mejora las resistencias mecánicas.

Se han mostrado trabajos satisfactorios de estabilización con cal y con cabuya por separado lo que motiva y sustenta la presente investigación.

1.4. Aporte.

La intención de la propuesta es promover el uso de la tierra en la arquitectura por incuestionables las ventajas que presenta el suelo como material de construcción, a decir: se lo encuentra en el sitio mismo de la construcción; estimula la autoconstrucción en el marco de la solidaridad y de las buenas relaciones de vecindad; la construcción con suelo se basa en técnicas ancestrales y bastante conocidas; evita la dependencia de materiales importados; y son, en general, de bajo costo en comparación con otras variantes.

A más de las ventajas anteriormente señaladas se destacan las de orden ecológico, toda vez que, aun cuando vaya a estabilizarse el suelo con cal, no involucra importantes volúmenes de este material, como tampoco emana al ambiente residuos contaminantes.

El aporte al aplicar cal y fibras de cabuya para solucionar los inconvenientes presentados al usar la tierra con fines arquitectónicos es grande porque se promueve la autoconstrucción segura, se promueve la explotación de una planta que en nuestro medio pasa desapercibida, se aporta al cuidado del planeta.

⁴ Vergara, Needy Nayiv. “Estado del arte sobre materiales y tecnologías constructivas no convencionales para la vivienda de bajo coste”. Tesis de grado.

CAPÍTULO II. FIBRA DE CABUYA

2.1. Introducción

La fibra de cabuya posee un gran potencial que no es aprovechado en nuestro medio, tiene buenas propiedades mecánicas que la convierten en una magnífica opción para dirigirla a nuevas tendencias como la que pretendo alcanzar en este trabajo de investigación e involucrarla en el ámbito de la construcción. Sus buenas propiedades se deben al alto contenido de celulosa lo cual la hace apta para reforzar materiales.

Por otro lado, la viabilidad de extraer la fibra en nuestra provincia, es un aspecto que podría ser de amplio beneficio, lo cual generaría mano de obra y réditos económicos por el hecho que se encuentra de manera silvestre a lo largo de toda la región sin que sea explotada.

En la ciudad se comercializa la fibra que es traída de las provincias del norte de nuestro país, Imbabura y Carchi.



Figura. 2.1: Fibras de cabuya en extracción.

Fuente: Rodríguez C. Uso de fibras vegetales en la edificación sostenible. Barcelona, 2012.

2.1. Naturaleza de las fibras.

2.1.1. Antecedentes.

Las fibras han sido usadas por el hombre desde el comienzo de los tiempos, adecuadas a cada época y según sus necesidades. Las fibras naturales, son estructuras filamentosas de origen vegetal, animal y mineral, que, por sus características físicas y químicas tienen aplicaciones muy diversas.



Figura. 2.2: Sacos elaborados con fibra de cabuya

Fuente: Autor



Figura 2.3: Fibras de asbesto.

Fuente: Autor

La producción e importancia de las fibras naturales varía en cada país o región a un conjunto de factores como la situación económica, política, tecnologías disponibles, usos y tradiciones, culturales, distribución de las especies, investigación y desarrollo industrial y apoyo del estado, entre otras, por lo tanto la producción de estas materias primas es muy variable.

Las plantas productoras de fibras revisten gran importancia, después de las plantas alimenticias por su influencia social y económica¹ que representan para el ser humano.



Figura 2.4: Esquilado de una oveja.

Fuente: Córdova M. Fibras. Bogotá, 2012.

2.1.2. Concepto.

Se llama fibra natural a los fragmentos, hebras o pelo, cuyo origen está en la Naturaleza, que pueden hilarse y dar lugar a hilos o cuerdas. Las fibras que no provienen de la Naturaleza se denominan: fibras químicas, ya sean artificiales o sintéticas. Su característica principal es la gran cohesión existente entre sus moléculas, lo que permite que puedan ser hiladas para obtener hebras o hilos.

2.1.3. Clasificación.

Según Simbaña A, 2009. Basa la clasificación en el origen de las fibras: En primer lugar, diferencia las fibras naturales de las fibras sintéticas. Como su nombre indica, las primeras se obtienen a partir de elementos que se encuentran de forma espontánea en el medio natural, mientras que las fibras sintéticas se obtienen mediante procesos químicos y físicos, dirigidos

¹ ELESBAN MAYORGA-HERNÁNDEZ, DIETMAR RUSSEL-KIPPING, HIPÓLITO ORTIZ-LAUREL. Análisis Comparativo en la Calidad de Fibra de Agave Lechuguilla, Procesada Manual y Mecánicamente. Revista Agrociencia Nº 38, marzo 2003.

por el hombre como es el caso del nailon, el rayón, el polietileno o el polipropileno. Se consideran tres tipos de fibras naturales²: minerales, animales y vegetales³.

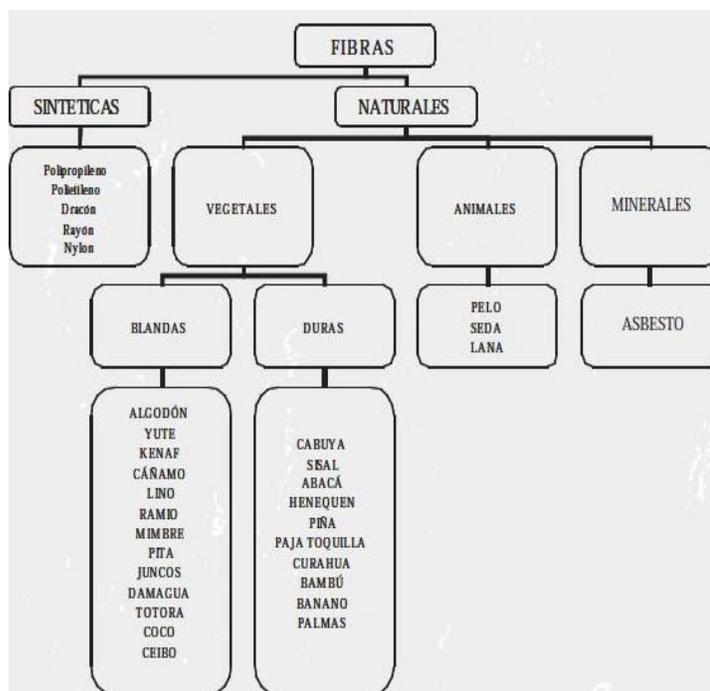


Figura 2.5: Clasificación de las fibras.

Fuente: Elaboración propia. Según Simbaña A. 2009

2.1.4. Las fibras vegetales.

Las fibras de origen vegetal son sustancias complejas, en combinación heterogénea entre polímeros de celulosa, lignina y pectina, se obtienen de plantas como: abacá, cabuya, algodón, ceibo, paja toquilla, banano, palma africana, coco, piña, algunas palmas, mimbre, mocora, pita, totora, bambú, variedad de juncos y otras. Se obtienen de sus más variadas formas: semillas, tallos, hojas, frutos y raíces⁴, una vez procesadas sirven para múltiples aplicaciones.



Figura 2.6: Fibra de toquilla.

Fuente: toquilla-exposicion-de-fibras-vegetales.



Figura 2.7: Fibra de cáñamo.

Fuente: <http://puertomontt.blogspot.com/2010/11/con-exposicion-de-fibras-vegetales>

² SIMBAÑA A, *Fibras Naturales. Alternativa para el Desarrollo Nacional*, Publicación, www.sica.gov.ec/agronegocios/productos%20para%20invertir/fibras/fibras_naturales_alternativa.pdf, 2000.

³ SIMBAÑA, A. Y MERA, M. Ensayos de Materiales Compuestos en la elaboración tableros mixtos para el aprovechamiento de residuos agroindustriales. Ibarra, 2009

⁴ Raymond A. Young, Alcides Leao, Francisco Carvalho, Elisabete Frollini *Lignocellulosic – Plastic Composites, Utilization of Natural Fibers: Characterization, Modification and Applications.*, 1997

2.1.5.Extracción de fibras vegetales.

La extracción de la fibra se hace mediante diferentes procesos por ejemplo el descortezado en la cabuya (*Furcraea andina*).

Según Maiti (1995), el origen y desarrollo de la fibra se refleja estrictamente en la diferenciación estructural, es decir, la orientación y cantidad “disposición” de celulosa microfibril en la región cristalina de la pared secundaria. Constante división del parénquima fundamental como la cabuya.

Para la obtención de la fibra, en el caso de las fibras duras, el proceso básico que se lleva a cabo se conoce como descortezado. Consiste en separar la corteza de los tejidos vegetales que contienen las fibras, bien a mano o utilizando la maquinaria apropiada. Posteriormente las fibras (mejor dicho, los tejidos fibrosos) se ponen al sol y, una vez secos, se extrae la fibra mediante un proceso químico para eliminar las gomas y pectinas que componen los tejidos de la propia fibra. El peinado y el rastrillaje o escardado son procesos que permiten separar las fibras en función de sus tamaños y la obtención de haces homogéneos.



Figura 2.8: Extracción de fibra.

Fuente:

<http://interioresymas.wordpress.com/2011/12/16/las-fibras-vegetales>

2.2. Cabuya. (*Furcraea Andina*)

La cabuya es una planta originaria de Ecuador, abundante en nuestra región. El uso de la fibra de cabuya, en este trabajo, se hace por ser un material que posee varias facultades y mínimo impacto según las consideraciones siguientes:

- Presenta características mecánicas aptas requeridas para reforzar el material suelo.
- Es un recurso de la zona (estas fibras podrían producirse y están disponibles en la localidad y región).

- Es fácilmente regenerable, porque se cultiva, además está presente de manera silvestre en cercas y laderas.
- Existen estudios referenciales.

La cabuya es conocida con el nombre vernáculo de: fique, penca, maguey, pita, cabui, cocuiza, chunta, chahuar, perulero, uña de águila, cabuya negra y blanca, cabuya, la planta recibe todos estos nombres dependiendo del país o región donde se encuentre⁵. En nuestro país y región es conocida como cabuya, este vegetal se encuentra a lo largo del callejón interandino, se trata de una planta arrosetada que alcanza hasta 1,5 m de altura. Sus hojas son alargadas lineales, rematadas por un endurecimiento en el ápice llamado mucrón así como en el borde de la hoja, lo que forma las espinas de esta planta.

Las características físicas y su composición química varían según la clase de planta (variedad) y en menor porcentaje de las condiciones del cultivo.



Figura 2.10: Planta de cabuya.
Fuente: Autor



Figura 2.11: Planta de Cabuya
Fuente: Autor

2.2.1. Producción y extracción de la fibra.

2.2.1.1. Cultivo.

La cabuya es una planta que se adapta a variadas condiciones ecológicas; en general se la cultiva en suelos que varían desde el franco arcilloso hasta el arenoso, obteniéndose los mejores resultados en terrenos sueltos⁶.

En cuanto al clima, los factores climáticos que mayor importancia tienen en el cultivo de la cabuya son: luz, temperatura, humedad atmosférica y precipitaciones.

⁵ MANUAL PARA EDUCACION AGROPECUARIA, CULTIVO DE FIBRAS. Editorial Trillas. Cuarta edición. México 1986.

⁶ MAGAP; La cabuya, cultivo e industrialización.

Las condiciones óptimas del cultivo en el Ecuador son:

- Temperatura entre 18 y 24 °C, que corresponde a una altura de 1000 a 2000 metros.
- Humedad relativa entre 50 y 70 %, sobre el 70% aumenta la posibilidad del ataque fitopalógico.

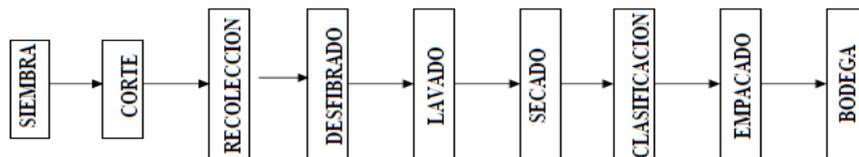


Figura 2.12: Flujograma de procesos.

Fuente: Autor

2.2.1.2. Cosecha.

Existe una práctica que viene a ser una pos-cosecha, es decir, que unos meses antes de la cosecha se debe realizar un corte bien asentado a las hojas que están en contacto con el suelo las cuales son frecuentemente dañadas. Pero hay agricultores que prefieren no hacerlo, sino esperar que dichas hojas se hayan secado completamente hasta la base, lo cual indica el momento adecuado para iniciar el primer corte. Esta práctica no es recomendable ya que al realizar el primer corte se mezclaría el material bueno con el malo, lo cual nos llevará más tiempo en seleccionar el material bueno.



Figura 2.13: Cultivo de cabuya.
Fuente: M.A.G; Imbabura.



Figura 2.14: Cultivo post cosecha.
Fuente: UTN – FICA – EITEX; cabuya una visión del futuro textil; Ambato, 2012



Figura 2.15: máquina desfibadora.
Fuente: UTN – FICA – EITEX; cabuya una visión del futuro textil; Ambato, 2012

2.2.1.3. Rendimiento por hectárea.

Los estudios realizados por el Ministerio de Agricultura y Ganadería en ciertas regiones del país como: El Chota, Quiroga y Cotocachi, para determinar rendimientos han llegado a las siguientes conclusiones:

- Una hectárea de cabuya tiene como promedio 2667 plantas. En las mencionadas localidades se cosecha un promedio de 16 hojas o pencos por planta al año.

- Cada planta de cabuya da alrededor de 0,68 kilogramos de fibra por año.
- Para la extracción de una tonelada de fibra seca se requiere cerca de 32 toneladas de hojas verdes⁷.

2.2.1.4. Corte.

El corte consiste en desprender de la planta periódicamente un número determinado de hojas, utilizando un machete o cuchillo muy afilado y de 8 a 10 pulgadas que es el más adecuado.

De acuerdo con las condiciones del clima y suelo, y los cuidados culturales que se haya proporcionado a la planta, tenemos que en alturas alrededor de 1700 metros se realiza el primer corte entre 2,5 a 3 años y una planta dan un promedio de 50 hojas por corte, mientras que en alturas sobre los 2200 metros es de 3,5 a 4,5 años y el promedio es de 20 hojas por planta.

Se debe cortar sólo las hojas maduras que son las que forman con el eje vertical de la planta un ángulo no menor de cuarenta grados.

Efectuar 1, 2 ó 3 cortes anuales, dependiendo el desarrollo de la planta y cortar solo las hojas maduras.

Hacer siempre un corte liso y uniforme, lo más cerca posible al tallo, lo cual ayuda para su pronta cicatrización, si el corte es mal hecho, permanece por largo tiempo expuesto a la invasión de organismos patógenos y de insectos.

Despuntar y despalmar las hojas antes de someterlas al desfibrado⁸.

Un quintal de fibra de cabuya tiene el valor de \$40 actualmente (noviembre-2015) en la ciudad de Loja.



Figura 2.16: Corte de hoja madura.
Fuente: UTN – FICA – EITEX;
 Cabuya una visión del futuro textil;
 Ambato, 2012.



Figura 2.17: Hojas antes del desfibrado.
Fuente: UTN – FICA – EITEX;
 Cabuya una visión del futuro textil;
 Ambato, 2012.

⁷ Prefactibilidad de la pulpa de cabuya en el Ecuador; Tesis de Grado U.C.E.

⁸ Pérez Mejía J.; El Fique, su taxonomía cultivo y tecnología.

2.2.1.5. Desfibrado.

Esta operación consiste en macerar, golpear y raspar la hoja hasta dejar libre la fibra. Básicamente existen tres sistemas de extracción de fibras utilizadas tanto en la parte artesanal como industrial y estas son: de forma manual y la utilización de máquina.

El sistema manual se realiza utilizando una cuchilla de hueso o de metal, la cual se utiliza para raspar la hoja a mano, teniendo un rendimiento máximo de 6 libras diarias y gran porcentaje de desperdicio que sobrepasa el 50%. Por tal razón este procedimiento tampoco es aplicado en la actualidad ya que es ineficiente y los costos de producción serían muy elevados.

Este método de desfibrado con el empleo de una máquina, es el más eficiente, apropiado y utilizado en la actualidad. Está provista de un tambor (30 a 40 cm de diámetro) con unas 15 a 20 cuchillas destinadas a raspar, golpear y limpiar eliminando así las gomas y pulpa que acompaña a la fibra.



Figura 2.19: Fibra sin lavar.

Fuente: Autor



Figura 2.18: Desfibrado mecánico.

Fuente: UTN – FICA – EITEX;
Cabuya una visión del futuro textil;
Ambato, 2012.

2.2.1.6. Lavado.

Consiste en preparar unos tanques con agua limpia y detergente de 5 a 7 Kg. Por metro cúbico de agua, esta operación ayuda a blanquear y limpiar la fibra aunque aumenta el costo de beneficio. Una vez preparado los tanques se sumerge la cabuya donde permanecerá de 12 a 15 horas para luego lavarlas a fondo en agua limpia o de ser posible en agua corriente; con la finalidad de desprender las partículas de corteza, pulpa, lignina, espinas y detergente que acompaña a la fibra.

2.2.1.7. Secado.

La cabuya puede ser secada artificial y naturalmente.

Secado artificial: Este tipo de secado se lo puede poner en práctica en grandes empresas ya que estas son las únicas que pueden justificar su inversión, debido a su alto costo.

El equipo para el secado artificial de la fibra comprende de dos máquinas: de una centrífuga que elimina el exceso de agua, y una secadora automática. El secado resulta de la acción combinada de la temperatura (100-200 °C) y la ventilación.

Secado natural: Este proceso es el más usado, y se lo realiza exponiendo la cabuya a los rayos directos del sol sobre un prado natural, sin embargo presenta las siguientes dificultades de que la fibra se enreda fácilmente y se ensucia; también puede decolorarse por efecto de la humedad del suelo; gasta más tiempo en secarse; y hay mayor desperdicio de fibra.

Para evitar los inconvenientes antes mencionados se han ideado unos estrados o andamios de alambre llamados comúnmente "camilla".

El estriado en triángulo consta de una serie de postes de madera de 1.20 metros de altura, que tiene colocado una cruceta de 50 cm., a los 25 cm. a partir del extremo superior del poste. Por las puntas de las crucetas se colocan templan alambres como indica la figura; también puede ser plano el caballete.

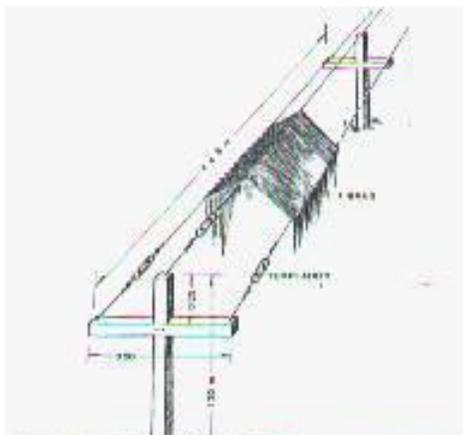


Figura 2.20: Secado en caballete triangular.
Fuente: UTN – FICA – EITEX;
Cabuya una visión del futuro textil;
Ambato, 2012.

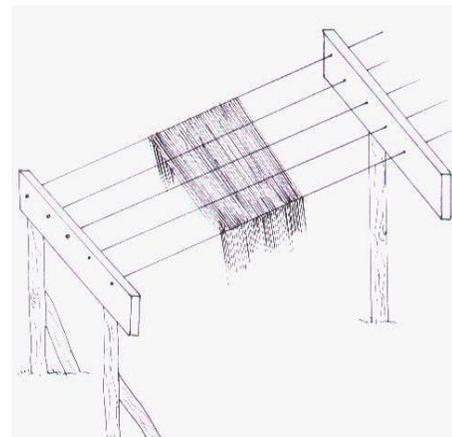


Figura 2.21: Secado en caballete rectangular.
Fuente: UTN – FICA – EITEX;
Cabuya una visión del futuro textil;
Ambato, 2012.

2.2.2. Clasificación y almacenamiento.

Considerando las exigencias y costumbres del mercado internacional de fibras duras, se propone la siguiente clasificación, la cual comprende cuatro calidades:

Tabla 2. 1: Calidades de la fibra.

Calidad	Color	Longitud cm	Contenido de pulpa %
Primera	blanca	≥ 120	2
Segunda	crema	100 - 120	2 - 5
Tercera	Crema oscuro	≤ 80	≥ 5
Estopas	Son los desperdicios obtenidos en los procesos de desfibrado y sobre todo en el peinado de la fibra.		

Fuente: Autor.



Figura 2.22: Fibra sin clasificar.

Fuente: Autor.

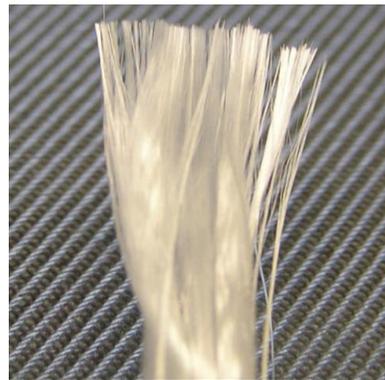


Figura 2.23: Fibra de primera clase.

Fuente: Autor.

2.2.3. Descripción de la fibra de cabuya empleada en el presente trabajo.

La cabuya se encuentra dentro del grupo de las fibras duras, ya que sus hojas están constituidas de fibras elementales o fibrillas.

La fibra empleada en esta investigación es de la variedad Andina, abundante en cercas y en nuestros campos.

El proceso de extracción se hizo manualmente, una vez obtenidas las fibras se las lava dejándolas sumergidas durante un período de 24 horas, finalmente son secadas al aire libre por una semana.



Figura 2.24: Hojas en proceso de desfibrado para la extracción de la fibra.
Fuente: Autor



Figura 2.25: Fibras de cabuya antes del lavado.
Fuente: Autor

Existe un estudio realizado por MORALES, ACABADO”; a las fibras de la variedad características físicas, químicas y mecánicas

Nelson. “GUIA DEL TEXTIL EN EL Andina en donde se describe las ver: **Tabla 2.3**

Tabla 2.3: Características físicas de la fibra de cabuya.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	
Longitud:	80 a 120 cm
Color:	Habano
Brillo:	Opaco
Textura:	Dura
Absorción color:	Superficial
Absorción humedad:	Mala
Punto de fusión:	No se funde
Efecto ante los álcalis:	Resistente
Efectos ante los ácidos:	Mala
Resistencia a la luz solar:	Regular
Efecto de los oxidantes:	Variable
Elongación:	3,5%
Resistencia (100 g de fibras) :	26 kg

Fuente: Autor. Según Morales N.

Tabla 2.2: Composición química de la fibra de cabuya.

COMPOSICIÓN QUÍMICA	
Cenizas:	01.58 %
Fibras:	01.58 %
Pentosas:	17.65 %
Lignina:	15.47 %
Celulosa:	62.70 %

Fuente: Autor

Tabla 2.4: Características mecánicas de la fibra de cabuya.

CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS	
Densidad (g/c3)	1.3
Resistencia a la tracción (MPa)	305.15
Módulo de elasticidad (GPa)	7,5
Elongación a la fractura (%)	4.96
Absorción de la humedad (%)	10

Fuente: Autor

2.3. Las fibras en la construcción con tierra.

Las fibras vegetales en los materiales de construcción sirven como estabilizantes por fricción conforman una especie de “red” a la que se adhieren las partículas del suelo que controla su desplazamiento, dilatación y retracción durante el fraguado o endurecimiento. Asimismo, modifican los patrones de agrietamiento derivados de cambios de humedad y temperatura mediante el trazado de un sistema de micro fisuras que no afectan la estabilidad del conjunto.

Esta “red” se desarrolla mediante la introducción de materiales fibrosos que pueden ser de origen vegetal como es el caso de la paja de diferentes gramíneas, virutas de madera, acículas de pináceas, cáscaras de coco, tallos del maíz y fibras de pita, cabuya etc.

Es importante destacar que las fibras se deben utilizar en condiciones secas, de lo contrario se corre el riesgo de que se pudran con lo que, además de disminuir todas sus cualidades, son causa de deterioros posteriores en las estructuras por los microorganismos que generan. La elección de la fibra va a depender de la disponibilidad regional, de los fines que se pretenda alcanzar, como de las propiedades mecánicas.

Se recomienda utilizar paja o cualquier fibra cortada en tramos de aproximadamente de 1 a 5 cm de longitud y en proporciones que van de 1% hasta 15 % en peso, para conseguir un material más uniforme, dependiendo del material usado, siempre y cuando estos valores se corrijan y determinen con pruebas de laboratorio.



Figura 2.26: Muro de paja – tierra.

Fuente: Rodríguez C. 2012.



Figura 2.27: Panel alivianado de fibra de cáñamo.

Fuente: Karposit.

CAPÍTULO III. LA TIERRA EN LA ARQUITECTURA

3.1. Introducción

La tierra ha sido uno de los materiales de construcción utilizados por el hombre desde tiempos prehistóricos, tanto en edificios de carácter popular como en edificios representativos y monumentos.

En muchas partes del mundo, para significativos sectores de la población, se convierte en única alternativa y con condiciones mínimas de habitabilidad, por su bajo costo, disponibilidad de materia prima y posibilidades de autoconstrucción.

El uso de tierra¹ tiene su justificación por su abundancia (el 74% de la corteza terrestre es tierra) como por su fácil y amplia disponibilidad. Por otra parte, permite una técnica sencilla que no requiere equipos sofisticados

Desde hace algún tiempo se ha ganado la atención de reconocidas instituciones técnicas y científicas en diferentes partes del planeta. Estas instituciones han emprendido el estudio riguroso y sistemático de la tierra, en las diferentes técnicas constructivas que la emplean, para dominar científicamente todos los aspectos del tema y conducir su aplicación práctica por las vías más racionales, económicas y seguras.

3.2. Antecedentes

Los inicios de la arquitectura con tierra² han tenido una larga trayectoria alrededor de todo el globo, pudiendo decir que se remonta a más de cinco mil años de antigüedad, en diversos contextos de la región sigue estando tan vigente como en su origen. En gran medida, su pervivencia obedece a la abundancia de su materia prima, a la economía de sus procesos constructivos, a sus cualidades bioclimáticas y a la armonía de su interrelación con el medio ambiente.



Figura. 3.1: Preparación de la Tierra para la construcción de una vivienda.

Fuente: Autor.

¹ Es lo adoptado en este trabajo, la palabra “tierra”, lo que representa al suelo empleado como material.

² Arquitectura y construcción con tierra: nombres dados a toda la producción arquitectónica que emplea el suelo como la principal materia prima– se usan diversas denominaciones, tales como tierra cruda, tierra sin cocer, tierra para construir, pero lo usual -que es lo adoptado en este trabajo- es la palabra “tierra”, lo que representa al suelo apropiado para la construcción. El término “suelo” es usado principalmente cuando involucra clasificaciones y caracterizaciones, que también es adoptado en este estudio para referirse necesariamente a la materia prima.

Obras defensivas y viviendas fueron los fines principales a que se destinó este material en los albores de su uso. Ejemplo de esto lo tenemos en los siglos VII y VI AC. en Italia y algunas zonas de Gran Muralla China. Formas más elaboradas en base a grandes bloques de tierra secada al sol aparecen en el siglo IV en Grecia conservándose hasta hoy cientos de metros lineales de muro hecho de esta forma.

En este continente las construcciones con tierra tuvieron su máximo esplendor 200 años antes de la llegada de los españoles con ejemplos notables, como Cachan, Paramonga en Perú, que se aprecian aún hoy en día.

Desde la segunda mitad del siglo XIX, el uso habitual de la tierra fue cediendo inevitablemente ante la aparición de materiales de construcción industrializados, quedando al margen de las obras públicas y privadas, donde comenzó a competir con el gusto de los patrones estéticos dictados por los nuevos materiales. Sin embargo, especialmente en los países en desarrollo, la tierra continúa como una de las únicas alternativas para la construcción de la población excluida del mercado formal de vivienda: por lo general los que viven en las periferias de las ciudades y en el campo.

Después de la Edad Media surgió la pedología, la ciencia que estudia el suelo como un todo y en su ambiente natural, establecida por el naturalista ruso Vasily V. Dokouchaev (en 1877), quien también definió la pedogénesis: el estudio de la formación del suelo, la pedología se subdivide en varias otras subáreas, como por ejemplo, la edafología (más relacionada con la agricultura, con sus diversas ramificaciones) y otras relacionadas con la ingeniería civil, como la geotecnia y la mecánica de suelos (que surgió en 1925, con el profesor Karl Terzaghi, según Caputo, 1996). Sin embargo, no hay noticias de una subzona de la pedología especialmente dedicada al estudio



Figura. 3.2: Vivienda con barro.
Fuente: Autor



Figura 3.3: Vivienda en Colalao.
Fuente: Tomada de <http://estoslugares.blogspot.com/2012/07/colalao-del-valle-y-el-pichao-tucuman.html>

suelo como materia prima para la producción de materiales de construcción. De ahí la gran

necesidad e importancia, de conocer el origen de los suelos, sus características, su comportamiento y algunos procedimientos para su identificación, ya que algunos tipos de suelos no son aptos para la producción de materiales de construcción o para ciertas técnicas de edificación.

Según Neves C³, los suelos aptos para la construcción se llaman sencillamente tierra.

Hoy en día, la tierra es objetivo de los investigadores que buscan el avance de la tecnología, mediante el rescate y el conocimiento de las técnicas utilizadas en el pasado, al igual que el desarrollo de sistemas constructivos innovadores y coherentes, caracterizados por la simplicidad, la eficiencia y porque no, el bajo costo.



Figura 3.4: Construcción de adobe
Fuente: FADU UBA, 2007.



Figura 3.5: arquitectura de tierra.
Fuente:
<http://tectonicablog.com/?p=34866>

3.3. Técnicas

tradicionales de arquitectura con tierra

3.3.1. Adobe.

Una de las técnicas de construcción más antigua y empleada hasta hoy. En general, los adobes se hacen por colocación manual del barro, compuesto de tierra y agua, dentro de un molde que descansa sobre una superficie plana, procediéndose al desmolde inmediato. Los antiguos constructores aprendieron a usar la tierra, mejorando sus propiedades con la adición de otros materiales y protegiendo las superficies exteriores de la acción de agentes degradantes. Empíricamente, la impermeabilidad del adobe fue mejorada por la adición de asfalto natural a la mezcla de suelo, la contracción se redujo con la adición de paja y los suelos fueron mezclados para obtenerse una tierra con granulometría más adecuada.

³ NEVES, Célia; FARIA, Obede Borges; ROTONDARO, Rodolfo; CEVALLOS, Patrício Salas; HOFFMANN, Márcio Vieira (2010). Seleção de solos e métodos de controle na construção com terra – práticas de campo. PROTERRA. Disponível em <http://www.redproterra.org>. Consultado el 19/02/2015



Figura 3.6: Arquitectura en adobe.

Fuente:

<https://arqadobe.wordpress.com/>

3.3.2. Tapial.

Corresponde a las paredes monolíticas construidas en el propio sitio. Ella consiste en la compresión de capas de tierra húmeda dentro de grandes moldes (taipal o *tapial*), generalmente de madera, que se van reubicando a medida que avanza la construcción. Para garantizar el plomo y mantener constante el espesor de la pared se utilizan guías verticales que incluso facilitan el desplazamiento de los moldes.



Figura 3.7: Construcción en tapial en Bercianos del Real Camino.

Fuente:

http://www.joseluisluna.com/index.php?option=com_content&view=article&id=199&Itemid=269

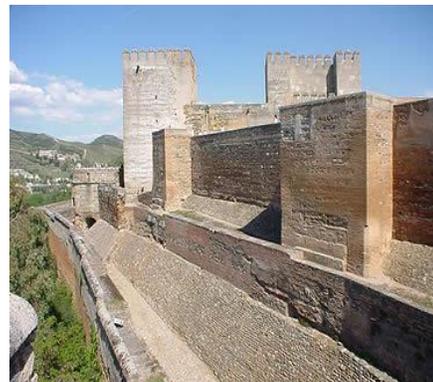


Figura 3.8: Tapial en parte de las murallas de la Alhambra de Granada (España).

Fuente:

<http://www.ecointeligencia.com/2012/08/tapial-y-la-construccion-sostenible/#lightbox/2/>

3.3.3. Bahareque.

Técnica constructiva muy interesante y utilizada en varias regiones se caracteriza por la combinación de madera, bambú, palos, paja, fibras diversas y, eventualmente, aglomerantes.

Los estudios para estabilización de la tierra con aglomerantes, sobre todo con cemento que comenzó en los años '30 del siglo XX, abrieron un abanico de posibilidades para la construcción con el nuevo material, que ganó fuerza con el desarrollo de una prensa manual muy simple para fabricación de bloques, conocida por el nombre de CINVA-RAM (Neves, 2007), y creando la

posibilidad de la industrialización de la construcción. Así surgió el mampuesto identificado como BTC⁴ (bloques de tierra comprimida, por lo general estabilizada con cemento), cuyo proceso de fabricación permite aplicar un sistema de control de calidad eficaz y asegura la uniformidad de las dimensiones del bloque.



Figura 3.10: Arquitectura en Bahareque.
Fuente: Autor.



Figura 3.9: Arquitectura en Bahareque.
Fuente:



Figura 3.11: Estructura de la técnica en bareque
Fuente: Autor.

3.4. Suelos

El suelo se puede definir como un material trifásico⁵ compuesto por una fase sólida, una líquida y otra gaseosa. La fase sólida la constituyen minerales variables formando una estructura que depende de los tipos, el tamaño de sus diferentes partículas y la rigidez de su organización. La estructura del suelo en la naturaleza tiene un elevado volumen de vacíos en forma de poros que pueden encontrarse total o parcialmente llenos de agua o agua y gas.



Figura 3.11: Recolección de suelo.
Fuente: Autor.

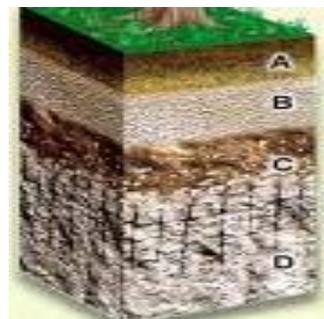


Figura 3.12: Horizontes del suelo.
Fuente:
<http://factoresedaficos.ampliacionbiologia.site11.com/>

⁴ NEVES, Célia (2007). Solo-cemento: Dosificación de técnicas constructivas. En: V Seminario Arquitectura de Terra en Portugal. Aveiro: Universidad de Aveiro. 1 CD-ROM

⁵ Toirac Corral J, El suelo-cemento como material de construcción

Desde el punto de vista de su empleo como material de construcción, el suelo se caracteriza en dos grandes grupos; los suelos finos, compuestos por arcillas y limos y los suelos gruesos formados por arenas y gravas.

Estos dos grupos se fraccionan en subgrupos, tomando en cuenta la granulometría o distribución de los diferentes tamaños de partículas que contienen y la plasticidad que ofrecen con diferentes contenidos de humedad. Cada subgrupo responde al comportamiento frente a las acciones internas y externas, como por ejemplo: la permeabilidad, las densidades posibles de alcanzar, las deformaciones que pueden sufrir bajo carga y la estabilidad o resistencia entre otros parámetros.

Basado en los sistemas de clasificación se pueden abarcar una gran mayoría de los suelos creados por la naturaleza en un reducido número de subgrupos y con relativa facilidad obtener una considerable información sobre cada suelo en específico.

3.5. Clasificación de los suelos para estabilización con cal

3.5.1. Suelos finos:

En los suelos de granos finos como los suelos arcillosos y limosos cuando se mezclan con cal y agua se producen durante el período de hidratación, unas fuertes uniones entre dichas partículas minerales para formar una microestructura en forma de un panal de abejas.

3.5.2. Suelos gruesos:

Están compuestos por arenas y gravas que en sí forman partículas resistentes, poco solubles en el agua y por lo tanto al añadirle cal no se logra una integración estructural íntima que transforma dicho suelo como en el caso de los suelos finos. En caso que hubiera una fracción fina dentro de la masa de suelo grueso, existirá una combinación dentro de la microestructura entre el paneloide y el aleatorio.



Figura 3.13: A y B Suelos finos.

Fuente: Autor



Figura 3.14: Suelo grueso.

Fuente: Autor

3.6. Características y comportamiento.

Según investigaciones, la tierra⁶ ideal para la construcción es aquel que tenga bajo contenido de material orgánico y de arcilla expansiva, ya que con la absorción y secado del agua la arcilla expansiva altera su volumen y no lo recupera.

El artículo de Neves et al. (2010) presenta las propiedades más importantes de los suelos para su uso en la arquitectura y la construcción con tierra, así como los respectivos métodos de ensayos utilizados para su determinación en el laboratorio.

El trabajo relaciona los diferentes tipos de suelos con las posibilidades de su uso y comenta sobre la adición de agentes estabilizadores, tanto de productos naturales como de los



Figura 3.15: Bloques de suelo grueso estabilizado con cal.

Fuente: Autor



Figura 3.16: Estabilización de suelo en la elaboración de boques.

Fuente: <http://ecocosas.com/wp-content/uploads/2014/11/Fibra-de-coco>

industrializados, para la mejora de las características físicas y mecánicas.

Se describe brevemente, los exámenes rápidos habituales para la selección de los suelos, relacionando los resultados de las técnicas de construcción más apropiadas.

En cuanto a la composición granulométrica, se dice que la tierra tiene arena, limo y arcilla, y su composición general incluye agua y aire; por esta composición es posible su uso, ya que puede ser estabilizada adecuadamente, de acuerdo con el rango de cohesión, para ser mejorado. Dependiendo del sistema constructivo que se emplee, se tiene en cuenta qué tipo de arcilla se puede usar, según la humedad óptima de compactación.

3.7. Estabilización del suelo.

Para mejorar el material suelo se realizan estabilizaciones con algunos agregados, clasificados en procesos homogéneos y heterogéneos⁷. Los procesos homogéneos consisten en agregar el

⁶ NEVES, FARIA, C; OBEDE, B; ROTONDARO, R; CEVALLOS, P; HOFFMANN, V. (2010). *Seleção de solos e métodos de controle na construção com terra* – práticas de campo. PROTERRA. Disponible en: <http://www.redproterra.org>. Investigado en 19/02/2015.

material faltante: si la tierra es poco cohesiva, arcilla, y si es muy cohesiva, arena; los materiales se incorporan en seco y deben ser semejantes al material por estabilizar. En los procesos heterogéneos ocurre incorporación de otro tipo de materiales que cumplen con la función de brindar estabilidad al material natural; este proceso se divide en estabilizantes por consolidación, fricción e impermeabilizantes⁸.



Figura 3.17: Estabilización con consolidantes.

Fuente: Disponible en <http://calsuelo.com>.



Figura 3.18: Estabilización con fibras.

Fuente: Autor

En los procesos heterogéneos se puede utilizar:

a) Consolidantes: Se enlazan con los limos y las arenas para mantenerlos unidos. La cal es uno de los mejores estabilizantes por consolidación, debido a que liga las partículas del suelo, aumentando su resistencia a los esfuerzos de compresión y cortante; también disminuye la absorción del agua.

b) Fibras: Con los estabilizantes por fibras se controla el comportamiento de dilatación y retracción o contracción durante el fraguado; este consiste en la adherencia de material fibroso a la tierra, formando redes al unirse. Las fibras pueden ser de origen animal o vegetal.

c) Aglutinantes e Impermeabilizantes: Su función es aislar el exceso de agua por capilaridad y por lluvia. Los impermeabilizantes actúan como una capa sobre las arcillas,

⁷ Bloque de tierra comprimida como material constructivo. Revista Facultad de Ingeniería, UPTC, Julio-Diciembre – CEDEC de 2011, Vol. 20, No. 31. Pp.58

⁸ **Impermeabilizantes o hidrófugos** son sustancias o compuestos que tienen como objetivo detener el agua, impidiendo su paso, y son muy utilizados en el revestimiento de piezas que deben ser mantenidos secos.

regulando el paso del agua y evitando así que las arcillas expansivas actúen. Las grasas, de tipo vegetal, animal o fósil, son parte de los materiales usados como impermeabilizantes.

La cantidad debe ser la apropiada para que no interfieran con el comportamiento de las arcillas. Existe un sinnúmero de sustancias de origen orgánico que también pueden cumplir funciones aglutinantes y que incluso se han aplicado en paralelo al uso de hidróxido de calcio a lo largo de la historia. Este es el caso de los polímeros extraídos de vegetales como las cactáceas o las suculentas, así como las proteínas animales provenientes de la leche, la sangre o el huevo.

El tipo de tierra adecuada es la areno-arcillosa con poco limo. Si la tierra tiene mucha arcilla, aumenta el riesgo a fisurarse con el secado; si tiene demasiada arena o limo, puede carecer de cohesión interna y desgranar fácilmente, además de que disminuye su resistencia a compresión.

Por ello la norma peruana NTE E 080 (SENCICO, 2000) propone los siguientes porcentajes en volumen para la tierra: arcilla – 10% a 20%. Limo – 15% a 25% y arena – 55% a 70%. Pero en general hay gran diversidad de opiniones en cuanto a los porcentajes adecuados de cada componente (arcilla-limo-arena) y algunos autores establecen valores sólo para cantidad de arcilla.

En general los datos se basan en estudios de distintos países y con distintas tierras, como las recomendaciones presentadas en la siguiente tabla:

Tabla 3.1: Composición adecuada de la tierra, según varios autores.

Autores	Arcilla (%)	Limo (%)	Arena (%)
Barrios et al (1987)	35-45		55-65
Houben y Guillaud (1994)	5-29	-	-
Graham Mc Henry (1996)	15-25	-	-
Carazas Aedo (2002)	1 volumen de tierra arcillosa: 2 volúmenes de tierra arenosa		
HB 195 (2002)	10-40	10-30	30-75 (arena y grava)
Proyecto Homero (2007)	50% de tierra arcillosa: 50 % de tierra arenosa		

Fuente: Elaboración propia. Según varios autores

3.8. Ventajas y desventajas de la construcción con tierra

3.8.1. Ventajas.

- Es el material más abundante que hay que consigue en casi cualquier lugar.
- No genera escombros durante la construcción y es biodegradable.
- Confiere mayor confort térmico (son cálidas en el frío y frescas en el calor)

- Es armónica con su entorno natural.
- Es más saludable (por usar materiales naturales).
- Presenta mayor resistencia sísmica.
- Es ideal para la autogestión y procesos auto constructivos.

3.8.2. Desventajas.

- Es difícil conseguir personal cualificado.
- La composición de los suelos nunca es uniforme.
- Lo que se ahorra en material se gasta en mano de obra.
- Es más susceptible a la humedad.

CAPÍTULO IV. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

4.1. Introducción.

Un material compuesto¹ para la arquitectura a partir materias primas amigables con el medio ambiente y de gran abundancia como la tierra, cal y la fibra vegetal (fibra de cabuya), se convierten en la forma contemporánea de concebir la construcción sostenible, convirtiéndola en una alternativa para aprovechar adecuadamente los recursos que ofrece la naturaleza.

Para lograr mayor eficiencia y rapidez, considerando la tecnología disponible, se trabaja empleando una técnica poco compleja, se usa cal como estabilizante y como refuerzo fibra de cabuya así conseguir que la tierra cumpla con las características mecánicas de la norma brasileña NBR 10834² y la norma peruana ³.

En tal virtud este capítulo abarca el trabajo experimental (diseño y ejecución de mezclas) para conseguir mayor resistencia a flexión y evitar fisuras, cumpliendo los objetivos planteados al inicio de la investigación.

Primero se resume el proceso del experimento, luego se anota la preparación de la materia prima utilizada, a continuación se explica el diseño de mezclas desarrolladas, se continúa con el proceso de elaboración de probetas, después del tiempo establecido (28 días de fragüe) se somete a ensayos en laboratorio los especímenes.

Se establece la mezcla final con la cual se prueba los posibles usos. Finalmente se presenta una sección dedicada a las posibles aplicaciones y evaluación funcional del material.

¹ Según Miravete, Antonio; Emilio Larrodé, Luis Castejón, Roberto Clemente, Miguel Lizaranzu, Jesús Cuartero, David Revuelta, Carlos Millán, Valerio Gómez, Jesús Calvo, Narciso Tolosana, José Luis Peralta. En su libro: *Materiales Compuestos* (1ª edición).

En [ciencia de materiales](#) reciben el nombre de **materiales compuestos** aquellos materiales que se forman por la unión de dos materiales para conseguir la combinación de propiedades que no es posible obtener en los materiales originales.

En un material compuesto se pueden distinguir las siguientes partes

- **Agente reforzante:** es una fase de carácter discreto y su geometría es fundamental a la hora de definir las propiedades mecánicas del material.
- **Fase matriz** o simplemente matriz: tiene carácter continuo y es la responsable de las propiedades físicas y químicas. Transmite los esfuerzos al agente reforzante. También lo protege y da cohesión al material.

² Resistência à compressão: de acordo com a NBR 10836 deve apresentar a média dos valores de resistência à compressão igual ou maior que 2,0 MPa e valores individuais iguais ou maiores que 1,7 MPa, aos 28 dias de idade.

³ f Los ensayos se harán utilizando piezas completamente secas, siendo el valor de f mínimo aceptable de 12 kg/cm².

Se podrá usar el siguiente esfuerzo admisible: 2,0 kg/cm²

4.2. Resumen del experimento.

Para evaluar la influencia de cal, cabuya sobre la tierra, se comprobará el comportamiento mecánico y físico del material resultante, poniendo énfasis en la resistencia a flexión.

Se hizo el siguiente proceso, fundamentado en el uso de corrección de mezclas con adiciones progresivas que a continuación se muestran: Dosificación Mezcla, según método de diseño de mezclas O Reilly⁴, a partir de la materia prima seleccionada, buscando la consistencia y trabajabilidad adecuada, acorde a la tecnología empleada y los parámetros de resistencia exigida.



Figura 4.1: Preparación de materia prima;
Fuente: Autor



Figura 4.1: preparación de la fibra de cabuya.
Fuente: Autor

4.3. Diseño de mezclas.

Se hace mezclas experimentales, los valores de sustitución valorados en porcentaje, tomando como material base a la tierra para hacer primero mezclas de tierra-cal con adiciones de cal en las siguientes proporciones (4%, 8% y 12%).

Seguido a ello se repite las mezclas con 4%, 8%, 12% de cal e incorpora fibra de cabuya en 3%, 6%, 9% y 12% a cada una de ellas. Obteniendo 12 tipos de mezclas más. Se hacen 4 ejemplares por cada mezcla.



Figura 4.1: desmoldado de probeta.
Fuente: Autor

⁴ O'Reilly DiazV. (1990), A. Método para diseñar mezclas en construcción. Editorial Científico Técnica.

En primera instancia se evalúa y compara el comportamiento de estas 12 dosificaciones versus las 3 de tierra-cal; tomando las 2 dosificaciones que mejor desempeño presenten se les adiciona gel de sábila en 3% y 6%; luego cola en 3% y 6% para finalmente probar agregando conjuntamente cola y aloe en 3%. Teniendo como resultado 9 tipos de mezclas adicionales.

Después de 28 días de secado se hace las pruebas de laboratorio y evalúa la resistencia a compresión, flexión y humedad.

Se define la dosificación por el análisis de resultados obtenidos.

4.4. Preparación y descripción de materia prima.



Figura 4.2: A y B: Ubicación de la concesión minera, lugar donde se extrae la tierra; C: Vista de la cantera.

Fuente: Autor

4.4.1. Descripción de la Tierra.

La tierra empleada en la producción de las probetas procede de la cantera Los Pinos de la ciudad de Loja. La cantera está ubicada a 3.5 Km en la vía antigua Loja a Zamora, en el lugar, según las pruebas, se encontró un material limo-arenoso de plasticidad baja y color gris claro, cuya caracterización se determinó mediante pruebas de laboratorio, desarrollados en el laboratorio de la UCG (UNIDAD DE INGENIERÍA CIVIL Y GEO-MINERA), efectuadas bajo las normas en cada caso, como se describe a continuación.

4.4.1.1. Ensayos para caracterizar el suelo.

Prueba de humedad.

Se sigue los siguientes pasos para determinar el porcentaje de humedad:

- Tomar y pesar la muestra de suelo.
- Secar la muestra en el horno a 100 °C durante 24 horas.
- Pesar el nuevo peso de la muestra y hacer el cálculo correspondiente.

El resultado obtenido se puede evidenciar en **(Tabla 4.6)**

$$w = (Ww / Ws) * 100$$

Donde: w = contenido de humedad expresado en %

W_w = peso del agua existente en la masa de suelo

W_s = peso de las partículas sólidas

$w = 18 \%$



Figura 4.3: A, B, C, D: Procedimiento para determinar W del suelo.

Fuente: Autor

Límite líquido.

Para determinar el límite líquido se siguió los siguientes pasos:

- Triturar y tamizar una muestra aproximada a 500 g de arcilla, esto con el tamiz nº 20.
- Colocar la muestra en el plato de mezclado y añadir de 15 a 20 ml de agua destilada, revolviendo constantemente, cortando y amasando con la espátula de revolver para conseguir uniformidad en la humedad hasta conseguir una textura cremosa.
- Envolver con un plástico el recipiente, para impedir la pérdida de humedad y dejar reposar la mezcla por aproximadamente 6 horas.
- Calibrar el equipo de Casagrande.
- Una vez calibrado el equipo, se coloca una parte suficiente de la mezcla en la copa de casa grande.
- La muestra debe reposar en la base y se la comprime hacia abajo, extendiéndola hasta alcanzar una profundidad de 10 mm en el punto de espeso máximo.
- Con una firme pasada del ranurador se corta perpendicularmente la muestra en el centro.

- h) Luego de ranurado el material, se acciona el Casagrande dejando caer la copa a razón de 2 golpes por segundo hasta lograr que las dos mitades de la muestra se pongan en contacto.
- i) En el plato de bronce debe unirse entre los 15 y 20 golpes, si sobrepasa este número, se debe aumentar paulatinamente agua hasta entrar en el rango permitido para el ensayo.

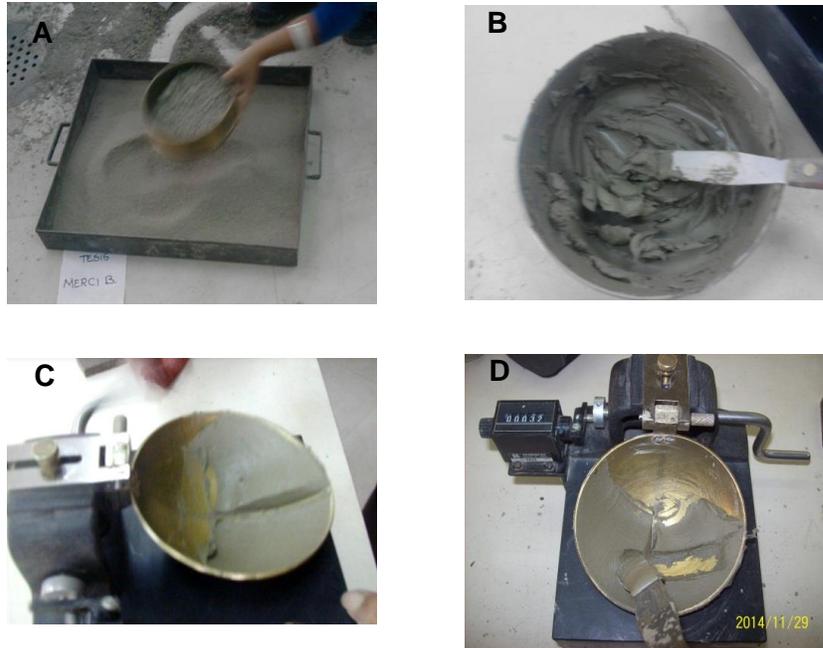


Figura 4.4: A, B, C, D: Procedimiento para determinar el ll del suelo.

Fuente: Autor

- j) Se toma una rodaja de la muestra ed aproximadamente la anchura de la espátula y se coloca en el recipiente, pesa y registra.
- k) Colocar el suelo en el horno durante 12 horas a 100 °C.

Se registra los datos y finalmente hacer los cálculos según la norma AASHTO T 265, para determinar el límite líquido. (**Tabla 4.6**)

LL= 38 %

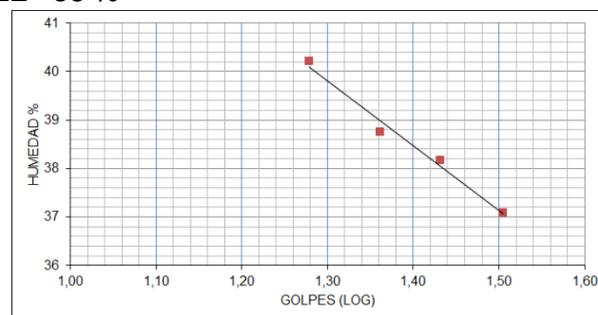


Figura 4.6: Curva de límite líquido del suelo.

Fuente: Autor

Límite plástico.

Se sigue el siguiente proceso:

- Tomar una porción de la muestra de 15 a 20 g y colocar sobre el vidrio.
- Moldear con la palma de la mano una tira larga y delgada de arcilla de aproximadamente 10cm de largo y diámetro uniforme aproximadamente 3 mm.
- Se continúa enrollando hasta que empiecen a aparecer fisuras en el hilo y se fracciona en tres partes iguales.
- Tomamos la parte central para determinar su contenido de humedad de acuerdo a la norma
- Calcular y promediar de todos los ensayos de este tipo para obtener el límite plástico.

LP= 21 %

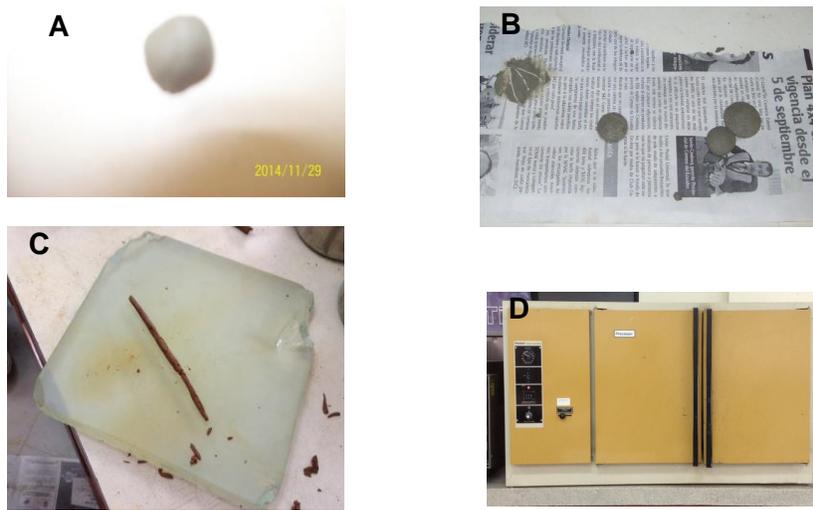


Figura 4.5: A, B, C, D: Procedimiento para determinar el límite plástico del suelo.

Fuente: Autor

Identificación del suelo.

Para poder hacer correctamente la clasificación se hace necesario obtener el análisis granulométrico del suelo mediante tamizado.

Los datos de los análisis hechos al suelo se muestran en la **Tabla N° 4.1**.

El suelo empleado corresponde a un limo arcilloso; sin contenido de materia orgánica, según la clasificación de suelos para la construcción y los ensayos hechos.

Tabla 4.1: Cálculos de los ensayos realizados al suelo: contenido de humedad, límite líquido, límite plástico, índice de plasticidad y análisis granulométrico. Clasificación.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA UNIDAD DE INGENIERÍA CIVIL Y GEO-MINERA LABORATORIOS UCG						
ENSAYO DE CLASIFICACIÓN						
INF-LAB-UCG						
PROYECTO: Elaboración de un panel para exteriores a base de tierra y fibra de cabuya.			NORMA: ASTM D 4318, AASHTO T-27			
LOCALIZ: Km 3.5 vía antigua a Zamora			CANTERA: LOS PINOS			
FECHA: 2014/11/05			PROFUNDIDAD: Superficial			
SOLICITADO:			MUESTRA: Tierra arcillosa			
			REALIZADO: Merci Becerra Granda			
	P	PESO HUM.	PESO SECO	W.CÁPSULA	w %	RESULTADO
1.- CONTENIDO DE AGUA		344,70	300,61	64,28	18,66	18,46
		336,82	293,92	58,97	18,26	
2.- LÍM. LÍQUIDO		19	66,91	65,37	61,54	38,45
		23	69,45	67,16	61,20	
		27	74,92	72,55	66,36	
		32	71,30	69,19	63,50	
3.- LÍMITE PLÁSTICO		53,27	53,20	52,87	21,21	21,02
		57,67	57,62	57,38	20,83	

4.- GRANULOMETRÍA				5.- CLASIFICACIÓN	
PESO INI= 111,48 (H/S)		S		GRAVA = 1,55	
PESO INICIAL DE CÁLCULO:		111,48		ARENA = 20,36	
				FINOS = 78,09	
TAMIZ	PESO RT.	% RET	% PASA	LL = 38,00	
1"	0,00	0,00	100,00	LP = 21,00	
3/4"	0,00	0,00	100,00	IP = 17,00	
1/2"	5,28	4,74	95,26	CLASIFICACIÓN SUCS : CL AASHTO: A-6 IG(86): 13 IG(45): 11	
3/8"	1,73	1,55	98,45		
No. 4	1,73	1,55	98,45		
No. 10	5,00	4,49	95,51		
No. 40	17,15	15,38	84,62		
No. 200	24,43	21,91	78,09		

Fuente: Autor

Las pruebas se realizaron previo la elaboración de las mezclas para emplear el método adecuado de estabilización y conocer ante qué tipo de material trabajaría.

Análisis granulométrico.

Para determinar el análisis granulométrico se procedió de la siguiente manera:

- a) Tomar una porción aproximada de 400 g. y colocar en el horno a temperatura de 100 °C durante 24 horas.
- b) Registrar su peso y disgregar en agua para efectuar el lavado.
- c) Colocar en el tamiz como indica la norma AASHTO T 88 00 para proceder a tamizar durante 15 min.
- d) Separar los contenidos almacenados en cada uno de los tamices.
- e) Pesar y registrar los valores obtenidos.

La tierra se tritura y tamiza en un tamiz N° 20, con el propósito de facilitar su trabajabilidad y asegurar el mezclado homogéneo.

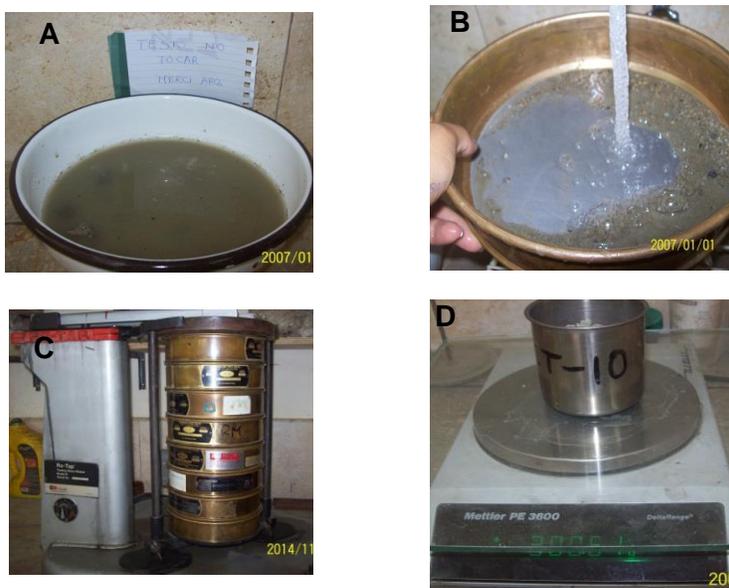


Figura 4.7: A, B, C, D: Procedimiento para determinar la granulometría del suelo.

Fuente: Autor

4.4.2. Fibras de cabuya.

La fibra empleada en esta investigación es de la variedad de cabuya llamada Andina, procedente de cantón Calvas (provincia de Loja), aquí y en el resto de los cantones de la provincia se encuentra la cabuya de manera silvestre. La fibra de cabuya es extraída de las hojas de la planta del mismo nombre. El proceso de separarlas se hizo con cuidadosamente, a mano y con la ayuda de un mazo de madera y un cepillo de acero para separar los otros

componentes de la hoja, una vez obtenidas las fibras se las lava dejándolas sumergidas durante un período de 24 horas, finalmente son secadas al aire libre por una semana.

Las fibras de cabuya se las corta en fragmentos de 0.5 a 1 cm para emplearse en las probetas.

Existen estudios realizados a las fibras de cabuya de la variedad (Andina) que en esta investigación se emplea, se muestran los valores promedio según Morales, N; “Guía del textil en el acabado II”; Segunda edición; Ibarra – Ecuador; 1998.

Composición química: En la **Tabla 4.2** se presenta los datos obtenidos de la variedad Andina.



Figura 4.8: A: Fibras lavadas B: Fibras secas
Fuente: Autor

Para controlar el contenido de humedad, la fibra de cabuya empleada se ha sometido a un proceso de secado bajo el sol, durante una semana.

Propiedades mecánicas:

Tabla 4.2: Composición química de la fibra de cabuya.

COMPOSICIÓN QUÍMICA	
Cenizas:	01.58 %
Fibras:	01.58 %
Pentosas:	17.65 %
Lignina:	15.47 %
Celulosa:	62.70 %

Fuente: Elaboración propia. Según Morales, N.

Tabla 4.3: Características mecánicas de la fibra de cabuya.

CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS	
Densidad (g/c3)	1.3
Resistencia a la tracción (MPa)	305.15
Módulo de elasticidad (GPa)	7,5
Elongación a la fractura (%)	4.96
Absorción de la humedad (%)	10

Fuente: Elaboración propia. Según Morales, N.

Tabla 4.4: Características físicas de la fibra de cabuya. Según Morales, N.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	
Longitud:	80 a 120 cm
Color:	Habano
Brillo:	Opaco
Textura:	Dura
Absorción color:	Superficial
Absorción humedad:	Mala
Punto de fusión:	No se funde
Efecto ante los álcalis:	Resistente
Efectos ante los ácidos:	Mala
Resistencia a la luz solar:	Regular
Efecto de los oxidantes:	Variable
Elongación:	3,5%
Resistencia (100 g de fibras) :	26 kg

Fuente: Elaboración propia. Según Morales, N.



Figura 4.9: Producción de fibra de cabuya

Fuente: Disponible en:
<https://www.youtube.com/watch?v=SvkbxyLQnFs>



Figura 4.10: Planta de cabuya

Fuente: Autor

4.4.2.1. Cal aérea hidratada.

La cal que se emplea en el presente estudio corresponde a cal aérea hidratada y posee las consideraciones de la siguiente norma:

Norma NTE INEN 2071 (1999)⁵.



Figura 4.11: Cal hidratada
Fuente: Elaboración propia

La cal hidratada que se utiliza es producida por la empresa ecuatoriana Calmosarcop y comercialmente se la conoce con el nombre de Supercal 200, es una cal hidratada o hidróxido de calcio, que se obtiene como resultado del proceso de hidratación de la cal viva (se añade exactamente la cantidad necesaria de agua para que se realice la reacción de hidratación hasta el final). Es un polvo de color blanco que puede tener una ligera tonalidad crema, de alta finura y muy liviana.

Según la empresa fabricante las propiedades de la cal empleada en este trabajo son las siguientes:

Densidad: 3,35 g/cm³

Punto de fusión: 2 572 °C

Soluble en: Agua, Glicerol

Esta cal se puede adquirir con facilidad en el mercado local en presentación de 10 kg o 25 kg.

Fraguado. Se admite que la cal solidifica por la cristalización del hidróxido cálcico o cal apagada, al carbonatarse con el anhídrido carbónico del aire o el disuelto en el agua de amasado, y los silicatos forman con el agua de amasado y con la cal del medio ambiente

⁵ Norma Técnica Ecuatoriana en la que consta la definición, disposiciones generales, requisitos químicos y físicos de la cal hidratada.

hidrosilicatos e hidroaluminatos de cal, insolubles, que cristalizan, pudiendo el agua disolver más productos anhídridos y volviendo a cristalizar, formando disoluciones sobresaturadas, cuyos cristales se entrecruzan y sueldan, constituyendo la solidificación y el posterior endurecimiento.

El color es tanto más oscuro cuanto mayor es el índice hidráulico.

4.4.2.2. Sábila.

El gel de esta planta será empleado como aditivo para la mezcla de suelo-cal y fibras de cabuya. Se obtuvo, después de un proceso sencillo de extracción de gel de las hojas, básicamente lo que se hizo es partir las hojas y luego de rasparlas.

La adición de este gel de sábila en la mezcla es con el fin de observar cambios físicos y mecánicos en las probetas. La iniciativa de emplear esta planta es porque según Cárdenas, A., Arguelles, W. M., and Goycoolea. F. M. (2002), en México hay una larga historia del uso del mucílago de nopal y gel de sábila que en combinación con cal: aumenta sus propiedades adhesivas y mejora su repelencia al agua. Tradicionalmente, se ha empleado de modo similar al yeso en paredes de adobe y de ladrillo; y también como una barrera al agua en el estuco.



Figura 4.12: A,B,C,D: Extracción del gel de sábila.
Fuente: Autor.

Figura 4.13: planta de Aloe Vera o sábila.
Fuente: disponible en:
<https://arbolesyfloresmarilin.wordpress.co>

4.5. Equipos

4.5.1. Equipos utilizados en la Universidad Técnica Particular de Loja.

El lugar donde se lleva a cabo este experimento es en el laboratorio de la Universidad Técnica Particular de Loja

4.5.2. Mezcladora

Para dar un mejor mezclado al material, se utilizó una mezcladora eléctrica con las siguientes características:

Mezcladora de tipo turbina de cuba circular con palas y acorazamiento interiores intercambiables, de acero magnesio para larga duración, con un motor de 5 H. P. de 220/60 eléctrico, la producción de la mezcladora es de 5.5 a 6.5 m³/hora, con un tiempo por ciclo de 60 segundos.



Figura 4.14: Mezcladora

Fuente: Autor.

4.5.3. Balanza de precisión

Para pesar la fibra y el resto de materiales se usó una balanza electrónica de precisión que se muestra



Figura 4.15: Balanza

Fuente: Autor.

4.5.4. Moldes probetas prismáticas

Los moldes empleados en la elaboración de las probetas tienen dimensiones que están determinadas por las normas correspondientes en cada caso, para las pruebas de flexión se usa moldes de 4 cm X 4 cm X 16 cm.



Figura 4.16: Molde prismático.
Fuente: Autor.

4.5.5. Moldes de probetas cúbicas

Los moldes cúbicos se emplean para fabricar los especímenes que se someterán a pruebas de resistencia a la compresión, las dimensiones corresponde a moldes para cubos de 0.05x0.05x0.05 m.

Los ya citados moldes son estables y garantizan la elaboración correcta de los especímenes.

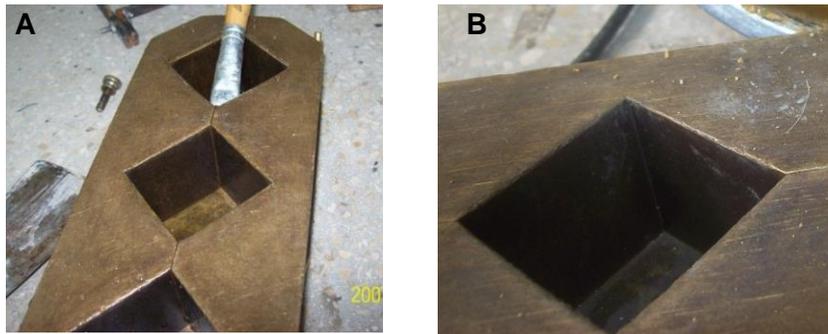


Figura 4.17: A,B: Moldes cúbico.
Fuente: Autor.

4.5.6. Máquina de ensayo de resistencia a compresión y a flexión.

Este es el equipo estándar utilizado para realizar las pruebas en elementos de este tipo, el equipo de compresión utilizado es Versa Tester verificado con Celda Eirl, el equipo se encuentra en el laboratorio de la UCG de la UTPL.



Figura 4.18: Máquina de ensayos.

Fuente: Autor.

4.6. Métodos de experimentación.

4.6.1. Diseño de mezclas y dosificaciones.

Para probar el material compuesto con que se hace el panel, se realizó un diseño de muestras, basado en el modelo, utilizado por Bojórquez (2005), en su trabajo con materiales de construcción.

Tabla: 4.5: Pprobetas para determinar la cantidad de cal en la estabilización.

Nomenclatura	Tierra %	Cal %	Agua %	Resistencia flexión
C1	78	4	18	12.1
C2	74	8	18	14.6
C3	70	12	18	14

Fuente: Autor.

Así pues, para el diseño de las mezclas, las variables que se manejaron fueron: suelo como base, adición de cal, fibra de cabuya, sábila, y agua.

En el inicio del diseño, se probó la capacidad de las mezclas de formar una masa homogénea; tomando porcentajes aleatorios, obteniendo buenos resultados.

También, se añade secuencialmente la cantidad de fibra en cada una de las dosificaciones. Las proporciones para el diseño y elaboración de las dosificaciones, se hicieron en peso y se expresan en porcentaje, como se describe en la **Tabla 4.5**.

Primera fase de mezclas se hace con el objetivo de determinar la cantidad necesaria de cal para la estabilización. Se probó elaborando probetas con la cantidad de cal recomendada en la bibliografía de 5 a 10% de cal para suelos de este tipo.

Estas probetas se someten a ensayos de compresión y flexión después de 28 días de elaboradas. Como resultado de las pruebas se obtiene que los especímenes estabilizados con 8 % de cal (nomenclatura C2) trabajan mejor, resistiendo al esfuerzo a flexión 14.6 kg/cm².

Entonces, teniendo definido el porcentaje de cal (8%), se la toma como un constante sobre la que se trabaja, se procede a aumentar varios porcentajes de fibra, seguido se adiciona sábila y cola resultando las siguientes dosificaciones:

Tabla: 4.6: Dosificaciones en porcentaje para conformación de probetas.

Nomenclatur a	Tierra %	Cal %	Fibra %	Agua %	Sábila %	Cola blanca %
C A1	71	8	3	18	0	0
CA2	68	8	6	18	0	0
CA3	65	8	9	18	0	0
CA4	62	8	12	18	0	0
CA5	69	8	3	18	2	0
CA6	64	8	6	18	4	0
CA7	59	8	9	18	6	0
CA8	54	8	12	18	8	0
S1	68	8	6	18	0	2
S2	61	8	9	18	2	2
S3	57	8	9	18	4	4

Fuente: Autor.

4.7. Proceso de elaboración de probetas.

La conformación de las probetas se hace mediante el proceso de fraguado.

Ítem	Proceso	Imagen
1	Pesar los materiales en la balanza de precisión.	
2	Mezclar en seco los materiales. Suelo pasado en tamiz N° 20. Fibras cortadas de 0.5 a 1 cm.	
3	Agregar agua Mezclar durante 10 min.	
4	Colocar en los moldes. Apisonar.	
5	Desmoldar Secar durante 28 días.	

Las muestras o unidades de análisis con las que se trabaja se producen de acuerdo a cada uno de los modelos que se definió en el diseño de mezclas.

El diseño de las probetas está basado en las diferentes normas que regulan cada una de las pruebas, pero se requirió hacer adaptaciones a su geometría y proceso de manufactura, debido a las características del material a analizar y por la disponibilidad de equipo. A continuación se describe el proceso que se siguió para hacer las probetas.

El primer paso es pesar los componentes en una báscula de precisión, suelo - cal hidratada, fibra, agua, sábila, de acuerdo a las proporciones definidas.

Estos materiales inicialmente se mezclaron en seco con el fin de lograr un correcto combinado, posterior se aplica el agua hasta lograr una pasta homogénea, se revuelve con la mezcladora durante 10 min.

Se prepara y llena los moldes compactando con el pisón para conseguir eliminar porosidades.

Después de 24 horas se desmolda teniendo cuidado de no dañar los filos para secar durante 28 días.

4.8. Ensayos aplicados

Para conocer las características mecánicas del material es necesario hacer algunas pruebas de laboratorio. Principalmente se comprueba la resistencia a flexión, a compresión y de humedad, de ese modo se conocerá el comportamiento del material.

4.8.1. Resistencia a la compresión.

Basado en la norma NBR 10834/1994

La práctica que se explica a continuación permite encontrar el módulo de elasticidad en compresión del material en estudio, además de su deformación después de la fluencia. Datos que permiten conocer el comportamiento del material ante sollicitaciones de compresión cercana a la arquitectura del ensayo.

La prueba de resistencia a la compresión se llevó a cabo conforme a la norma RNE2006_E_080⁶, sobre la resistencia a la compresión de cubos, considerado como adobe por el material que lo conforma. Se utilizó una máquina de pruebas universal mecánica, de la serie Digital Versa Tester, sistema de medición de la fuerza por medio de anillo, velocidad controlada electrónicamente.

⁶Norma para en adobe de tierra.

Resistencia a la Compresión de la Unidad

La resistencia a la compresión de la unidad se determinará ensayando cubos labrados cuya arista será igual a la menor dimensión de la unidad de adobe.

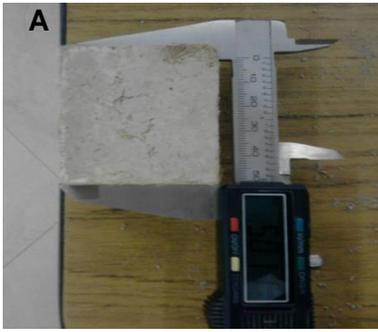


Figura 4.19: A: medición de probetas

Fuente: Autor.



Figura 4.20: selección de probeta.

Fuente: Autor.



Figura 4.21: calibrado de máquina.

Fuente: Autor.



Figura 4.22: probeta previo la prueba.

Fuente: Autor.



Figura 4.23: probeta probada.

Fuente: Autor.

Según las características de la máquina de ensayos, la prueba de resistencia a compresión consiste en someter a la probeta una carga en sus extremos, carga que provocará el efecto aplastante, se hace la lectura hasta la falla del material.

El ensayo tiene como procedimiento lo siguiente:

- Se selecciona el material por dosificaciones.
- Se marca el material, se toman las dimensiones: largo, ancho, alto con un calibrador.
- Luego se emplean placas para poner las probetas en la maquina universal. Las placas deben estar debidamente centradas con la probeta en medio.
- Se da inicio al ensayo y se aplica la fuerza hasta que ocurre la falla.
- Los datos se registran manualmente (deformación y carga), con estos datos se hace el cálculo.

En el ensayo, en la etapa final, la probeta siempre se fisura pero conserva la forma inicial.

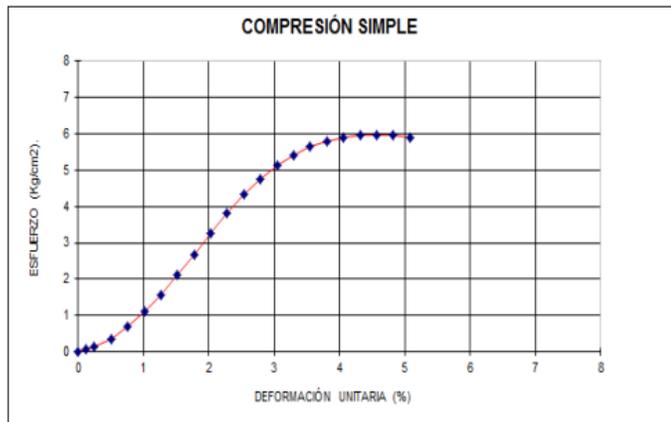


Figura: 4.24: Gráfica del trabajo a compresión.

Fuente: Autor.

Tabla: 4.7: Resultados de cálculos de resistencia a compresión.

Nomenclatura	Peso (g)	Alto (cm)	Largo (cm)	Ancho (cm)	Carga máx. (Kg)	Resistencia a compresión (Kg/ cm ²)
C A1	267.14	5	5	5	592.3	23.69
CA2	260.0	5	5	5	575.2	23
CA3	264.34	5	5	5	479,9	19.19
CA4	282.1	5	5	5	505,1	20.20
CA5	278.43	5	5	5	548,4	21.93
CA6	286.93	5	5	5	437.4	17.49
CA7	264.74	5	5	5	512,0	20.48
CA8	284.76	5	5	5	476.5	19.06
S1	248.45	5	5	5	447.4	17.89
S2	257,54	5	5	5	445.6	17.82
S2	246.87	5	5	5	443.6	17.167

Fuente: Autor.

4.8.1.1. Cálculo de resistencia a compresión y resumen.

Al momento de hacer el ensayo la constante de la máquina es de 4.5987 Kg/ cm².

La fórmula que se aplica para el cálculo se muestra a continuación:

$$\sigma = \frac{P}{AC}$$

Dónde:

σ = Esfuerzo a compresión (Kg/ cm²)

P= carga máxima (Kg)

AC = área de la cara del cubo

En la **Tabla: 4.7** se anota los valores de las diferentes dosificaciones y los resultados de la prueba.

En la tabla anterior se muestra las probetas que en resistencia compresión cumplieron con la normativa ecuatoriana (20 Kg/ cm²), las mismas que están denominadas con la siguiente nomenclatura: CA1; CA2, CA4, CA5; CA7

4.8.2. Resistencia a la flexión.

La prueba de resistencia a flexión se llevó a cabo conforme a la norma ASTM C 293 (ASTM, 1995), sobre el método de prueba estándar para resistencia a la flexión de concretos, y ASTM C 1185 (ASTM, 1995).

Según las características de la máquina de ensayos, las medidas de resistencia a flexión se hacen mediante el ensayo de rotura a tres puntos: dos de apoyo y uno de carga centrada.

Los útiles de apoyo son móviles, y no es posible fijarlos durante el ensayo por ello ocurren pequeños desplazamientos laterales de alguno de los apoyos, especialmente en la fase final del ensayo.

Como la máquina de ensayos sólo permite medida del recorrido vertical de la placa de la base, y de la fuerza ejercida sobre el anillo calibrado, tanto la tensión máxima a tracción en la cara inferior de la probeta, como la deformación unitaria en esa misma superficie, sólo se pueden calcular utilizando las fórmulas de la elasticidad lineal.

En los ensayos de laboratorio se mide la carga o fuerza aplicada F, en cada instante y simultáneamente se anota el valor de la flecha. Estos datos se registran manualmente, el comparador de deformaciones y el anillo dinamométrico calibrado.



Figura 4.25: **A:** Medir y trazar los puntos de apoyo en probetas; **B; C; D:** Situar la probeta y calibrado de máquina. **E:** falla del material.
Fuente: Autor.

El proceso que se siguió para el ensayo es el siguiente:
 En el ensayo, los datos registrados manualmente se muestran así:

Tabla: 4.8: Lectura del comparador.

Lectura del comparador de desplazamientos (u. a.) FLECHA	Carga registrada en la escala del anillo calibrado (u. a.) FUERZA
5	2
10	4

Fuente: Autor.

Tabla: 4.9: Procedimiento para ensayos de flexión.

Ítem	Proceso	Imagen
1	Pesar las probetas.	
2	Medir y marcar los puntos de apoyo en extremos y centro de las probetas.	
3	Ubicar la probeta en la máquina Versa Tester, considerando las marcas para distribuir la fuerza de manera centrada.	
4	Aplicar la fuerza (constante 0.8527 Kg/ cm ²) Registrar los datos manualmente para cálculos posteriores.	
5	Parar con la lectura al momento de la falla del elemento.	

Fuente: Autor.

Tabla: 4.10: Resun de cálculos de resistencia a flexión.

Nomenclatura	Peso g	Largo cm	Ancho cm	Alto cm	Carga Máx. Kg	Resistencia a flexión.
C A1	267.14	16	4	4	37.3	13.9
CA2	257	16	4	4	41.7	15.6
CA3	264.34	16	4	4	45.6	17.1
CA4	282.1	16	4	4	39.2	14.7
CA5	278.43	16	4	4	42	15.75
CA6	268,93	16	4	4	37.4	14.02
CA7	265.76	16	4	4	40	15
CA8	257.45	16	4	4	35.5	13.31
S1	232.2	16	4	4	39.2	14.7
S2	276.91	16	4	4	33.5	12.56
S3	248.6	16	4	4	43.8	16.42

Fuente: Autor.

4.8.2.1. Cálculo de resistencia a flexión y resumen.

Para determinar la resistencia a flexión se usa la siguiente fórmula:

$$R = \frac{3PL}{2bd^2}$$

Donde:

R = Módulo de ruptura (MPa)

L = Longitud del espécimen

P = Carga aplicada (Kg)

b= Espesor de probeta

d = Grosor promedio

La presentación de los resultados de cada ensayo se puede realizar en diagramas carga-flecha o en tablas donde se indican las unidades (**Tabla: 4.10**).

4.8.3. Densidad, prueba de humedad, absorción.

Las pruebas de densidad, contenido de humedad y absorción se hacen en base a la norma ASTM C 1185 (ASTM, 1995). Para la prueba se utiliza las probetas prismáticas de 4 x 4 x 16 cm. Las mismas se pesaron en la balanza de precisión marca Mettler, serie PE 3600, precisión ± 0.1 g, lectura digital; las medidas se hicieron con un calibrador en sus tres dimensiones por triplicado para determinar sus dimensiones promedio.

Después, se colocó en el horno de secado, control electrónico, cámara doble y puerta aislada, durante 24 horas a una temperatura de 90° C (**Figura 4.17**), transcurrido el tiempo de secado se quitó del horno y se pesó, se dejó enfriar a temperatura ambiente, y se sumergió en un recipiente con agua durante 24 horas. Pasado el tiempo de inmersión y saturación de las muestras se sacaron del recipiente, se retiró cuidadosamente el exceso de agua superficial de cada muestra con un paño húmedo y se volvieron a pesar.

En este proceso se recabaron los

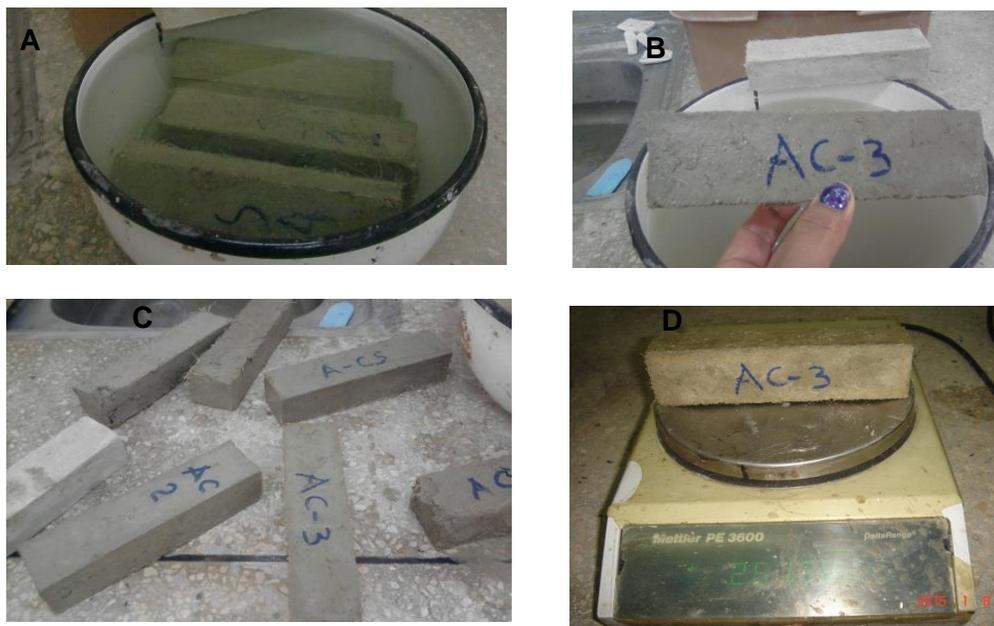


Figura 4.26 Proceso para determinar la densidad de un material.

Fuente: Autor

siguientes datos: dimensiones de la muestra, peso inicial en condiciones ambientales, peso después de secado por 24h, peso saturado de agua después de 24h. Con estos se determinaron: densidad, porcentaje de humedad, porcentaje de absorción.

La densidad fue calculada con la siguiente fórmula:

$$\rho = \frac{Wd}{V}$$

Donde:

ρ = Densidad.

Wd = Peso seco del espécimen.

V = Volumen del espécimen.

Los datos para el cálculo de la densidad se obtuvieron de las muestra que presentaron mejores sollicitaciones tanto en esfuerzos a flexión como a compresión.

$$\rho = 0.99 \text{ g/cm}^3$$



Figura 4.27 Proceso realizar la prueba de absorción.

Fuente: Autor

El contenido de humedad fue calculado con la siguiente fórmula:

$$\text{Hum} = 100 \frac{Wi - Wd}{Wd}$$

Hum = Contenido de humedad.

Wi = Peso inicial del espécimen.

Wd = Peso seco del espécimen.

$$\text{Hum} = 100 \frac{457g - 450g}{450g}$$

$$\text{Hum} = 1.5 \%$$

La absorción fue calculada con la siguiente fórmula:

$$\text{Abs} = 100 \frac{W_s - W_d}{W_d}$$

$$\text{Abs} = 25 \%$$

Los cálculos correspondientes a densidad, contenido de humedad y absorción se presentan en **Tabla 4.11**.

Tabla 4.11: Datos de la prueba la prueba de absorción.

Nomenclatura	ρ g/cm³	Hum %	Abs %
C A1	0.76	1.6	25
CA2	0.86	1.7	23
CA3	1.05	1.85	25
CA4	0.83	1.4	31
CA5	1.3	1.7	24
CA6	0.99	1.4	27
CA7	0.87	1.1	25
CA8	0.81	1.2	24
S1	1.3	1.8	21
S2	0.84	1.7	27
S3	0.92	1.7	28

Fuente: Autor

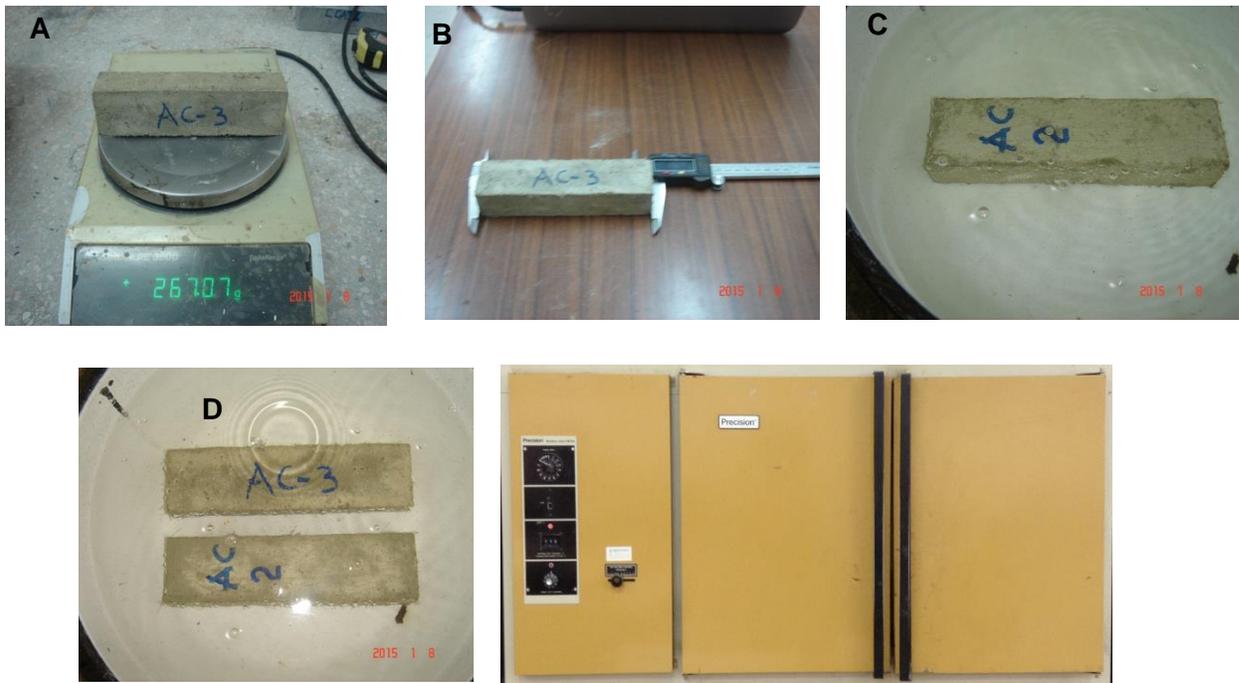


Figura 4.28: A: Pesar las probetas; B: Medir las probetas; C; D: sumergir y saturar las probetas E: Horno de secado.

Fuente: Autor

4.9. Análisis de datos obtenidos.

En este apartado se describe el análisis de la información obtenida en las diferentes pruebas realizadas a las muestras elaboradas, las cuales fueron descritas anticipadamente. Los resultados son presentados por tipo de prueba realizada, donde se muestran los datos obtenidos y la información generada a partir de los mismos.

4.9.1. Análisis del resultado de resistencia a la compresión.

La prueba de compresión ya descrita, se hizo a cada tipo de muestra por quintuplicado, con lo cual el cálculo real final por tipo es el promedio de los cinco.

En esta prueba se observa que la resistencia a compresión más alta es la de la probeta con nomenclatura CA-1 con un valor de 23.69 Kg/cm², que es la probeta con el 3% de fibra y la resistencia a compresión va disminuyendo paulatinamente con el aumento del porcentaje de fibra. Sin embargo el aumento gradual de la fibra hasta del 12% presenta una disminución cercana 20 Kg/cm² que está dentro de lo que establece la norma RNE2006_E_080⁷.

⁷ Resistencia a compresión de 12 Kg/cm²

Las muestras trabajadas con adiciones de sábila, en los distintos porcentajes, se puede evidenciar que los valores se asemejan a los de las probetas que no la tienen.

El efecto causado por la adición de cola más sábila sí muestra una disminución más significativa de la resistencia a compresión.

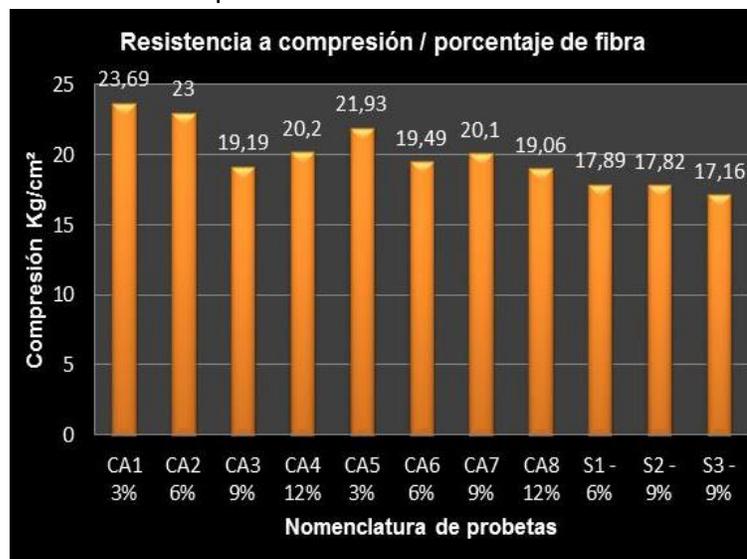


Figura 4.29: Relación % fibra – resistencia a compresión .

Fuente: Autor

4.9.2. Análisis del resultado de resistencia a la flexión.

De igual manera se hizo esta prueba a cada tipo de muestra por triplicado, con lo cual el cálculo real final adoptado por tipo es el promedio de los tres.

En la prueba de resistencia a flexión se nota grandes cambios puesto que el material suelo por sí solo no trabaja bien a flexión.

Al contrario de lo que ocurre a compresión, los valores obtenidos muestran que las cantidades mayores de fibra en la mezcla aumenta la resistencia a flexión del material, claramente se nota que hasta el 9% de fibra mejora resistencia a flexión y baja con el 12%.

Estos comportamientos pueden deberse al esfuerzo de tenso-compresión, donde la mitad de la muestra, a partir del centroide de su sección hacia el lado de aplicación de la fuerza, tiene un trabajo a compresión. Entonces, parece existir un punto en la relación de la cantidad de fibra.

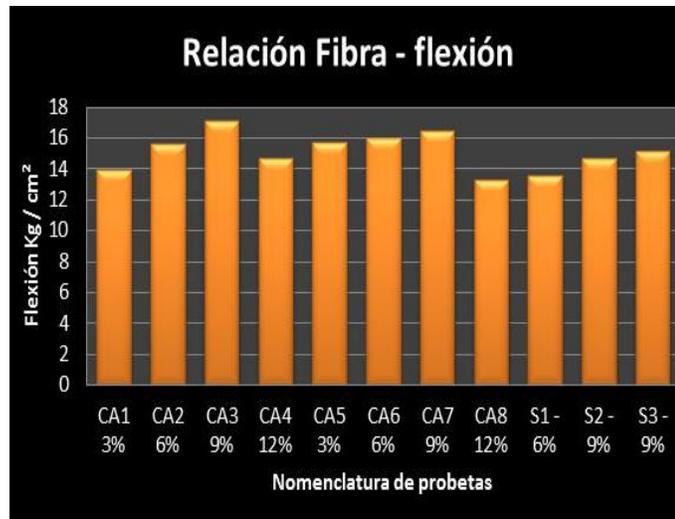


Figura 4.20: Relación % fibra – resistencia flexión.

Fuente: Autor

4.9.3. Análisis del resultado de densidad, prueba de humedad, absorción.

La densidad más alta obtenida corresponde a las probetas AC3 y S1, con un valor de 1.05 y 1.3 g/cm² respectivamente. La composición de las mezclas se detalla en la tabla 4.6.

Así mismo se observó el comportamiento de estas probetas en contacto con el agua, con lo que se determina mientras mayor densidad tenga la probeta mayor será la impermeabilidad. De acuerdo a los datos queda determinado que, tanto en la prueba de absorción las probetas AC3 y S1.

En cuanto al aspecto físico que presentaron las muestras al entrar en contacto con agua, en general no presentan cambios importantes en su volumen ni coloración, tampoco se disgrega al presionarlo entre los dedos.

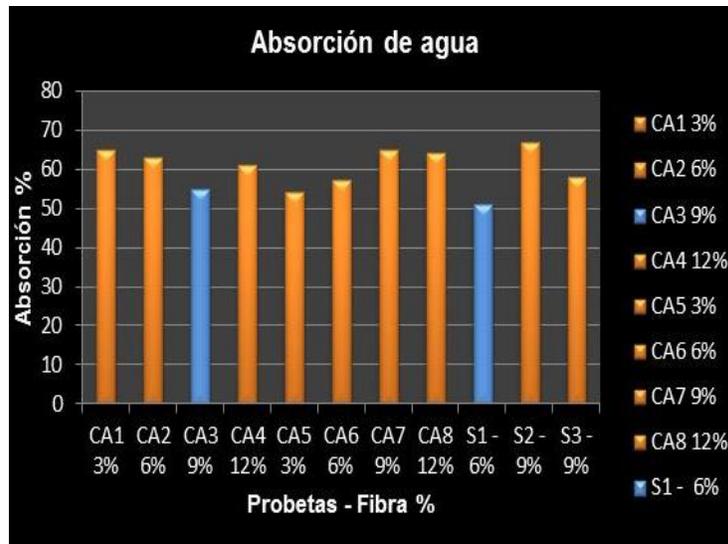


Figura 4.21: Relación % fibra – % de absorción.

Fuente: Autor



Figura 4.22: Muestra luego de 24 horas inmersa en agua.

Fuente: Autor

4.10. Selección de probeta

En base a las pruebas hechas y los análisis respectivos se ha determinado la dosificación idónea para la elaboración de un material que se enmarca dentro de lo que establecen las normas.

Aunque existen más de dos dosificaciones que cumplen todas las pruebas exigidas, se hace necesaria la selección de una para desarrollarla.

Como se describe en párrafos anteriores, la probeta AC3 cumple con las exigencias en todas las pruebas hechas, se toma como ventaja la resistencia a flexión, para seleccionar la mezcla. Según la norma NRE2006_E_080 el valor de f_c mínimo aceptable de 12 kg/cm² en unidades (bloques de tierra) y en Morteros de tierra. La norma brasileña NBR 10834 de bloque de suelo-cemento f_c aceptable es de 1,7 MPa equivalente a 17.3 kg/cm².

Por consiguiente la composición de la mezcla queda determinado como se indica en la **Tabla: 4.13.**



Figura 4.23: Muestra luego de 24 horas inmersa en agua.

Fuente: Autor

Tabla 4.12: características mecánicas de las probetas

Nomenclatura	resistencia a compresión Kg/ cm ²	resistencia a flexión Kg/ cm ²	absorción %
AC1 3%	23,69	13,9	25
AC2 6%	23	15,6	23
AC3 9%	19,19	17,1	25
AC4 12%	20,2	14,7	21
AC5 3%	21,93	15,75	24
AC6 6%	17,49	14,02	27
AC7 9%	20,48	15	25
AC8 12%	19,06	13,31	24
S1 - 6%	17,89	14,7	21
S2 - 9%	17,82	12,56	27
S3 - 9%	17,16	16,42	28

Fuente: Autor

Tabla 4.13: Composición de la mezcla final.

Nomenclatura	Suelo %	cal %	fibra %	agua %
AC3	65	8	9	18

Fuente: Autor.

4.11. Aplicaciones del material propuesto.

4.11.1. Sustento teórico de posibles aplicaciones.

En párrafos anteriores se anota la idoneidad del material al enmarcarse con las exigencias de las normativas para materiales que usan la tierra como materia prima base, de ello se concluye que puede estar conformando bloques, o morteros de revoque o unión.

4.11.2. Elaboración y mezcla del material

4.11.2.1. Recomendaciones para su elaboración.

Para conseguir un material de calidad se debe cumplir los siguientes requisitos:

- Adecuada selección de materia prima:

El suelo a usarse debe estar libre de partículas orgánicas y con las características antes especificadas. El material empleado procede de la cantera Los Pinos.

Las características de la cal están especificadas en la sección de materias primas.

La fibra estará previamente cortada en dimensiones de 3 a 10 cm.

- Correcto peso en laboratorio de la dosificación de los materiales según los porcentajes determinados.
- Cantidad y calidad de agua

Es necesario respetar el contenido de agua presenta gran importancia a la hora de dosificar un material, tanto por su influencia en la resistencia como en la fabricación. Las relaciones agua – resto de materiales debe ser el valor establecido en la probeta definitiva con características demandadas para el agua potable.

- Mezclado suficiente

La fase de mezclado constituye uno de los principales factores que influirá directamente en la calidad del producto final.

Para conseguir un correcto mezclado y por ende uniformidad en la mezcla se la hace usando una concretera, primero se mezclan los materiales en seco para luego agregar el agua y mezclar durante 15 minutos más, en el transcurso del mezclado húmedo se le va agregando paulatinamente porciones de fibra.

- Correcto moldeado

En esta etapa hay que tener cuidado y obtener un producto final bien definido, al verter la mezcla en el molde se toma en cuenta que esté previamente colocado el líquido desmoldante; otro factor a considerar es el vigor de vaciado que se le aplica para impedir que queden vacíos o no llegue a consolidarse.

- Correcto desmoldado

El desmolde se hace transcurrido las 24 horas. Aquí lo más importante es cuidar las esquinas para tener un buen acabado.

- Secado y curado

Una vez desmoldados los elementos se deben secar al sol durante un período de 1 semana para proseguir su secado en sombra por 21 días más hasta alcanzar el secado final y la resistencia necesaria para montarse.



Figura 4.24: A; B: Triturado y tamizado de suelo; C: corte de fibra.

Fuente: Autor



Figura 4.25: A: fibra cortada; B: Cal; C: molde; D: moldeado.

Fuente: Autor

COMPROBACIÓN DE HIPÓTESIS

Partiendo de la hipótesis planteada: “Si se aplica cal y fibra de cabuya a un tipo de tierra conocido, en el porcentaje correcto, se obtendrá un material de construcción que cumpla con los requerimientos técnicos” puedo decir que lo enunciado al inicio de la investigación ha sido verificado y validado durante su desarrollo, especialmente con los resultados alcanzados.

La hipótesis se acepta ya que se ha agregado fibra de cabuya y cal al suelo, obteniendo como resultado un material apto para emplearlo en proyectos arquitectónicos.

En la sección de resultados de ensayos hechos en laboratorio, se comprueba que se consiguió un material que cumple con los requerimientos establecidos en la normativa Brasileña NBR 10834 17,3 Kg/cm² así como en la normativa peruana NRE2006_E_080 de 12 Kg/cm².

CONCLUSIONES

Se concluye lo siguiente:

La combinación de materias primas en la elaboración de un material obedeció a criterios teóricos y prácticos planteados en las investigaciones análogas a lo largo del presente. Entre otras, la “La cal en el diseño y conservación de arquitectura de tierra”⁸, Selección de suelos y métodos de control en la construcción con tierra – prácticas de campo⁹.

La tierra no es un material de construcción estandarizado por lo cual su composición depende del lugar de donde se extrae y para caracterizar correctamente a qué tipo de suelo nos enfrentamos es necesario hacer los ensayos respectivos. Por eso sus características pueden variar de acuerdo al lugar. La tierra es resistente a compresión no así a tracción para mejorar este comportamiento en este trabajo se emplea cal y fibra de cabuya alcanzando 17.1 kg/ cm²

El porcentaje de cal aplicado en la dosificación final es del 8%, determinado porque fue el que mostró el mayor incremento en la resistencia a flexión. Determinando mediante ensayos de laboratorio.

La utilización de la fibra de cabuya impide la fisuración en el secado y reparte las tensiones debidas a la retracción de la arcilla en toda la masa del material, acelera el secado al drenar la humedad al exterior a través de los canales de las fibras, aligera el material disminuyendo su masa volumétrica mejorando sus propiedades aislantes, aumenta la resistencia a la tracción, es su contribución más importante.

El mejor tratamiento considerando todas las pruebas de resistencia a tracción, compresión, permeabilidad, absorción, fue AC3 (suelo 65%, cal 8%, fibra 9%, agua 18%), este presenta mayor resistencia en esfuerzos de flexión (17,1 kg/ cm²), la absorción de agua es de 25%.

El proceso de modelado, es muy importante e influye en su resistencia, debido a que tiene la cantidad de agua justa la mezcla es poco fluida y por ello es necesario apisonar correctamente evitando grumos y porosidades.

⁸ GUERRERO BACA, Luis Fernando; SORIA, Javier; GARCÍA, Beatriz. “La cal en el diseño y conservación de arquitectura de tierra”. En: Arquitectura construida en tierra, Tradición e Innovación. Congresos de Arquitectura de Tierra en Cuenca de Campos 2004/2009. [online]. Valladolid: Cátedra Juan de Villanueva. Universidad de Valladolid. 2010. P. 177-186. Disponible en internet:

http://www5.uva.es/grupotierra/publicaciones/digital/libro2010/2010_9788469345542_p177186_guerrero.pdf

⁹ NEVES, Célia; FARIA, Obede Borges; ROTONDARO, Rodolfo; CEVALLOS, Patrício Salas; HOFFMANN, Márcio Vieira (2010). Seleção de solos e métodos de controle na construção com terra – práticas de campo. PROTERRA. Disponível em <http://www.redproterra.org>. Consultado el 19/02/2015

RECOMENDACIONES

La fibra de cabuya debe estar libre de residuos, ya sea pulpa o restos de la planta, también hay que verificar que esté bien seca (6 – 9 % contenido de humedad) porque ello influirá en la resistencia final del material.

Para hacer las dosificaciones correctas se debe emplear de preferencia el método por peso, ya que con ello se evita cambiar las cantidades de materiales.

Estar atentos en el secado de los elementos, se deben cuidar los bordes y filos, se deben usar después de 28 días.

Se debería hacer un seguimiento de la durabilidad durante períodos largos para ver cómo responde.

Se podría utilizar la tierra con cal y cabuya en acabados ya que en esta investigación no se profundiza en ello.

BIBLIOGRAFÍA

Adobe Association of the Southwest (2007). Proceedings Fourth Internacional Adobe Conference of the Adobe Association of the Southwest, Adobe, Estados Unidos.

American Society for Testing and Materials. (1995). Annual book off ASTM standards, Estates Unite.

Azconegui, F. (1998). *Guía práctica de la cal y el estuco*, León, Editorial de los Oficios.

Bojórquez, I. (2005). Desarrollo de un Nuevo material a base de fibras orgánicas del sureste mexicano en matriz de cemento Portland para producir paneles ligeros. Tesis doctoral no publicada. Cuba: Centro de estudios de construcción y arquitectura tropical, instituto superior Politécnico "José Antonio Echeverría"

Boyle, F. (1989). "Estudios de la influencia del género de las arcillas en la elaboración de productos de 'barro' estabilizado por mortero hidráulico, vol. I, ponencia 11" (pp. 207-216), Tercer Simposium C113/121LEM MÉXICO'89, sobre materiales y tecnología para la construcción de vivienda de bajo costo, México, Infonavit.

Bwyer, J. y Stockman, V. (2001). Agricultural Residues. *Forest Products Journal*, Vol.51, N° 1. Obtenido en la red mundial el 5 de octubre de 2015: Disponible en <http://www.ebscohost.com>.

Brostow, W. (1981). *Introducción a la ciencia de los materiales*. México: Editorial Limusa S.A.

Cordero A. (1996). Obtención de un concentrado proteico a partir de los desperdicios del desfibrado de cabuya. Proyecto de investigación científico técnica y desarrollo social.

Cárdenas, A. Arguelles, W. Goycoolea, F. (1998). "On the Possible Role of Opuntia ficus-indica Mucilage in Lime Mortar Performance in the Protection of Historical Buildings", *Journal of the Professional Association for Cactus Development*. Consultado el 29 de noviembre de 2014, disponible en: <http://www.jpacd.org/contents1998.htm>

Centro de Investigación Navapalos (1998). *Arquitectura de tierra*, Serie Monografías, Madrid, Centro de Publicaciones, Secretaría General Técnica, Ministerio de Fomento.

Conescal, A. (1982). *Tecnología de tierra y su aplicación en la construcción de espacios educativos*, México.

Córdova M. (2012). *Fibras*. Bogotá

Delvasto, S. (1997) Investigación de los Mecanismos de Adherencia en la Interface del Material Compuesto Hormigón-Fibra Natural de Fique y de la Optimización de su Comportamiento a la Tenacidad en Servicio. U.P.V., Tesis Doctoral. España.

Díaz A. (2011). Elaboración de elementos constructivos a partir de la cáscara de arroz. Tesis para optar por el título de Master en Agroecología y Agricultura Sostenible, Facultad Agroforestal. Universidad de Pinar del Río. Cuba Enciclopedia de la ciencia y la técnica. Tomo 1. (s.a). Barcelona: Ediciones Danae, S.A.

FAO. (2009). Año internacional de las fibras naturales. (en línea): Consultado el 24 de julio de 2013 disponible en: <http://www.naturalfibres2009.org/fibras/index/html>.

Fernández, C. (1992). *Mejoramiento y estabilización de suelos*, México, Limusa.

González, G. (1965). La cabuya cultivo e industrialización; Ministerio de Agricultura y Ganadería. Quito – Ecuador.

Gaggino, R. (2008). Ladrillos y placas prefabricados con fibras aptos para la autoconstrucción. Argentina.

MAGAP. (2004). La cabuya, cultivo e industrialización. Imabbura.

Mayorga E, Russel D, Ortiz H. (2003). Análisis Comparativo en la Calidad de Fibra de Agave Lechuguilla, Procesada Manual y Mecánicamente. Revista Agrociencia N° 38.

Hernández, Z. y G. Serrano (2003), "Use of Nopal in Construction Industry", en *Proceeding ixMexican and vii International Congress on Knowledge and Use of Nopal*, México.

INEC. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (2010). Décimo censo de Población y Noveno de Vivienda.

IAM. (1986). Manual Para Educación Agropecuaria, Cultivo De Fibras. Editorial Trillas. Cuarta edición. México.

Martirena, J. (2001) "Una alternativa ambientalmente compatible para disminuir el consumo de aglomerantes De clínker de cemento Pórtland: el aglomerante cal-puzolana como adición mineral activa", Tesis Doctoral, Universidad Central Marta Abreu de las Villas (UCLV).

Martínez, Wilfredo. (2007), "Propiedades físicas y mecánicas de materiales de arcilla dopados con cal y yeso para elementos estructurales verticales", *Anuario de Investigación de Construcción con Tierra y del Diseño Sustentable*, Tampico, UAT.

Miravete, A. Larrodé, E. Castejón, L. Clemente R. Lizaranzu, M. Cuartero, J. Revuelta, D. Millán, C. Gómez, V. Calvo, J. Tolosana N, Peralta, J. *Materiales Compuestos* (1ª edición).

Morales, N. (1998) “Guía del textil en el acabado II”. Segunda edición; Ibarra – Ecuador

Neves, Célia. Faria, O. Borges, A. Rotondaro, R. Cevallos. Salas P. Hoffmann, M. (2010). *Seleção de solos e métodos de controle na construção com terra – práticas de campo. PROTERRA*. Disponível em <http://www.redproterra.org>. Consultado el 19/02/2015.

Neves, C. (2007). Solo-cimento: Dosificación de técnicas constructivas. En: *V Seminario Arquitectura de Terra en Portugal*. Aveiro.

Oliveira, M. (2005) “O solo-cal: uma visão histórica e documental” en *Memorias del IV SIACOTIIIATP*, Escola Superior Gallaecia, Monsaraz.

Reilly, O. Diaz, V. (1990.) *Método para diseñar mezclas en construcción*. Editorial Científico Técnica. Barcelona.

Pérez, J. (1974). *El fique, su taxonomía, cultivo y tecnología*. Editorial Colina, segunda edición; Medellín – Colombia.

Perdomo, F (2001). *Avances experimentales de tesis Doctoral*. U.P.V.

Raymond, A. Young, A. Leao, C. Frollini, E. (1997). *Plastic Composites, Utilization of Natural Fibers: Characterization, Modification and Applications*. Estados Unidos

RNE (2006). Norma _E_80 Adobe. Perú.

Rodríguez, C. (2012). *Uso de fibras vegetales en la edificación sostenible*. Argentina.

Salas, J. (1997). “La industrialización posible de la vivienda latinoamericana. Tecnologías para la vivienda de interés social”, ESCALA.

Simbaña, A. (2009). *Fibras Naturales. Alternativa para el Desarrollo Nacional*, Publicación.

Simbaña, A. Mera, M. (2008) *Ensayos de Materiales Compuestos en la elaboración tableros mixtos para el aprovechamiento de residuos agroindustriales*. Ibarra.

Tudela, F. (1982). *Ecodiseño*, México: Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco.

UTN – FICA – EITEX; *cabuya una visión del futuro textil*; Ambato, 2012

Velandia, F. (2008). Estimación de módulo de elasticidad en materiales compuestos de matriz polimérica y fibras naturales cortas. Tesis para Maestría, Universidad de los Andes.

Vergara, N. "Estado del arte sobre materiales y tecnologías constructivas no convencionales para la vivienda de bajo coste". Tesis de grado.

Segurado, J. (2004), Micromecánica computacional de materiales compuestos reforzados con partículas. Tesis de PhD, Universidad Politécnica de Madrid, España.

PAGINAS DE INTERNET CONSULTADAS

<http://www.ecosur.org/index.php/ediciones-antiores/86-edicion-23-diciembre-2006/359-bloques-prensados-de-tierra-iresistentes-a-la-humedad>. Consultado el 20 de septiembre de 2016

<http://www.cannabric.com/links> Consultado el 08 de enero de 2016

http://www.COGTc.com/bioconstruccion/construir_con_tierra Consultado el 04 de junio de 2015

www.sica.gov.ec/agronegocios/productos%20para%20invertir/fibras/fibras_naturales_alternativa.pdf. Consultado Agosto 2002.

<http://puertomontt.blogspot.com/2010/11/con-exposicion-de-fibras-vegetales>. Consultado el 11 de septiembre de 2015

<http://interioresymas.wordpress.com/2011/12/16/las-fibras-vegetales>. Consultado el 20 de septiembre de 2016

<http://artesaniasfiquesanbernardo.blogspot.com/> Consultado el 10 de mayo de 2016

<http://estoslugares.blogspot.com/2012/07/colalao-del-valle-y-el-pichao-tucuman.html> Consultado el 10 de mayo de 2016

<http://tectonicablog.com/?p=34866>

<http://www.ecointeligencia.com/2012/08/tapia-y-la-construccion-sostenible/#lightbox/2/>

<https://arqadobe.wordpress.com/>

http://www.joseluisluna.com/index.php?option=com_content&view=article&id=199&Itemid=269

<https://gatsicerinza.wordpress.com/>

<http://factoresedaficos.ampliacionbiologia.site11.com/>

<http://ecocosas.com/wp-content/uploads/2014/11/Fibra-de-coco>

<http://calsuelo.com>.