



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Facultad de Arquitectura y Urbanismo

Carrera de Arquitectura

MEJORAMIENTO DE BLOQUES DE ADOBE CON FIBRAS DE CABUYA Y ACEITE DE LINAZA

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Arquitecto

Autores:

Victor Javier Zeas Solórzano

CI: 0105954093

Correo electrónico: victor.jzeas@gmail.com

Melanny Gabriel Benalcázar Soto

CI: 0604437608

Correo electrónico: benalcazar.soto@gmail.com

Directora:

Arq. Mariela Mónica Pesantes Rivera

CI: 0101797694

Cuenca, Ecuador

05-noviembre-2021



Resumen:

Hoy en día es evidente la preocupación por la contaminación del planeta y de la gigantesca huella de carbono que genera principalmente la industria vinculada con la construcción en el mundo; estos dos factores constituyen una creciente preocupación que cotidianamente va generando conciencia que toma asidero en estudios para mitigar y disminuir tanto la contaminación como la huella de carbono.

El adobe, utilizado a lo largo de la historia de la humanidad, ha demostrado ser un elemento de construcción tradicional que cuenta con propiedades químicas y térmicas, que otorgan confortabilidad a las viviendas, adaptabilidad al medio y que, además, utiliza materiales accesibles para las personas principalmente de las zonas rurales por su bajo costo. En el Ecuador es una técnica constructiva que aún se utiliza principalmente en la zona norte del país.

Sin embargo, estos elementos, por utilizar el suelo como materia prima, presentan debilidades, tanto en su capacidad mecánica y resistencia al agua, que se reflejan en limitaciones en el diseño arquitectónico. Esta condición obliga a buscar alternativas y procesos para superar las debilidades evidentes de este material constructivo y conseguir un acrecentamiento de las características y un enriquecimiento de los beneficios del adobe.

El nuevo adobe planteado reemplaza la paja típica por fibra de cabuya, material que mejora la cohesión, otorga mayor resistencia a la

compresión y flexión y reduce la retracción del adobe. Adicionalmente, se plantea el uso del aceite de linaza, material natural, amigable con el ambiente que contribuye a reducir la porosidad del adobe mejorando la resistencia al agua y la resistencia mecánica.

Palabras claves: Adobe. Cabuya. Aceite de linaza. Sostenibilidad. Desarrollo sostenible. Construcción en tierra. Estabilizantes.



Abstract:

Nowadays, people's concern about the planet's contamination and the vast carbon footprint that the construction business generates every day is evident. These factors create a growing concern that day after day generates conscientiousness supported on different studies to mitigate global contamination with the carbon footprint.

Human has used adobe throughout the history. It is an ancient construction element that counts with chemical and thermal properties that give the constructions adaptability to the environment and comfort to the people who live there. It also uses accessible materials mainly for the people living in the rural sectors due to their low cost. In Ecuador is a construction technique that remains mainly in the north of the country.

However, by using soil as raw material, these elements present some weaknesses, such as low mechanical capacity and low water resistance. All of these defects reflect a limited architectural design capacity. This condition forces to seek alternative process to overcome those weaknesses in the construction material and get a growth of the properties and benefits of the adobe.

The proposed adobe replaces the typical straw with Cabuya fiber. This material improves cohesion, provides more compression and flexibility resistance and reduces adobe retraction.

Additionally, the use of linseed oil is proposed, a natural material, friendly to

the environment that contributes to reducing the porosity of adobe, improving water resistance and mechanical resistance.

Keywords: Adobe. Cabuya. Linseed oil. Sustainability Sustainable development. Construction in mud. Stabilizers





Índice del Trabajo

Índice de Ilustraciones	15	2.4. La Construcción en tierra mitiga las necesidades de la zona rural	23
Índice de Tablas	18	2.4.1. Necesidad del uso de la tierra en la vivienda en la zona rural del Ecuador	23
Índice de Gráficas	19	2.4.2. Aporte de la arquitectura en tierra para el desarrollo sostenible	24
Capítulo 1. Introducción	4	2.4.3. La construcción en tierra como solución para la zona rural	24
1.1. Introducción	4	Capítulo 3. El adobe y sus componentes	30
1.2. La necesidad y vigencia del tema a investigar	5	3.1. El adobe como sistema de construcción tradicional	30
1.3. Metodología	6	3.1.1. Contextualización y breve historia de la evolución del sistema constructivo	30
1.4. Hipótesis	6	3.2. El adobe como materia estructural	34
1.5. Objetivos del trabajo de titulación	7	3.2.1. Propiedades del material	34
1.5.1. Objetivo	7	a. Propiedad mecánica	34
1.5.2. Objetivos Específicos	7	La flexibilidad	34
Capítulo 2. Construcción en tierra para un Desarrollo Sostenible	9	La tenacidad	34
2.1. Sostenibilidad y Desarrollo Sostenible	12	La elasticidad	34
2.1.1. Surgimiento de la Sostenibilidad y el Desarrollo Sostenible	12	La dureza	34
2.1.2. Conceptualización del Desarrollo Sostenible	12	b. Propiedad física	35
2.1.3. Importancia del Desarrollo Sostenible	14	La absorción	36
2.1.4. ¿Cómo se Logra un Desarrollo Sostenible?	14	La composición granulométrica	36
2.2. Surgimiento de la Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible	14	El peso específico	36
2.2.1. ¿Qué es la Agenda 2030 y qué países participan?	15	El contenido de materia orgánica	36
2.2.2. ¿Qué factores consideran los Objetivos de Desarrollo Sostenible?	15	El contenido de humedad	36
2.2.3. ¿Cuáles son los Objetivos de la Agenda 2030?	15	El límite de consistencia,	36
2.3. Cumplimiento de los ODS a través de la construcción sostenible	16	c. Propiedad térmica	36
2.3.1. ¿La vivienda puede aportar al cumplimiento de los ODS?	16	Propiedades térmicas referidas al material.	36
2.3.2. Aporte de la investigación para el cumplimiento de los ODS	18	Densidad (kg/m ³)	36
2.3.3. El desarrollo sostenible en la construcción	22	Conductividad térmica (W/mK)	36
2.3.4. Cómo un material se define como sostenible	22	Propiedades térmicas referidas al elemento	37
2.3.5. La tierra como material sostenible	22	Transmitancia térmica (W/m ² K)	37
		Inercia térmica (W/mK)	37
		d. Propiedad química	37
		3.2.2. Componentes del Adobe: Características y Funciones	38
		a. Suelo o Tierra.	38
		a. Agua	40
		3.2.3. Debilidades del material y sistema constructivo	40
		3.2.4. Normativa técnica en el Ecuador	41
		3.2.5. Conclusiones	42
		3.3. Elaboración de adobe tradicional	42
		3.3.1. Lugares de producción en la actualidad	42
		3.3.2. Necesidades frente a exigencias urgentes	43



3.4. Hacia la optimización del adobe	44	4.3. Proceso de estabilización de la tierra	89
3.4.1. Selección de la tierra	44	4.3.1. Ensayos y resultados	89
a. Ensayos rápidos táctico- visuales.	45	4.3.1.1. Cal.	89
Test visual	46	Seleccionar la cal adecuada	89
Test Color.	47	Ensayo cantidad de cal	91
Test tacto	48	4.3.1.2. Tamaño de fibras de cabuya	93
Test de Cantidad de Arcilla.	49	4.3.1.3. Ensayo cantidad la fibra de cabuya.	94
Test brillo.	50	4.3.2. Cantidades de los componentes	94
Momento 1. Ensayos Rápidos – Resultados Generales.	51	4.3.2.1. Cantidad de cal	94
b. Ensayos de campo de la tierra	51	4.3.2.2. Cantidad de agua	94
Test de contenido de arcilla	52	4.3.2.3. Cantidad de fibra de cabuya	94
Resistencia seca	53	4.3.2.4. Cantidad de aceite de linaza	95
Test de caída de esfera.	54	4.3.3. Tipos de adobe para ensayos	95
Test de Vidrio	55	4.3.4. Conclusiones	95
Test Rollo.	57	4.4. Elaboración de adobes	96
Exudación	58	4.4.1. Condicionantes de los materiales	96
Momento 2. Ensayos de Campo – Resultados Generales.	60	4.4.2. Proceso de fabricación	96
c. Ensayos de laboratorio de la tierra.	60	4.4.2.1. Cuidados importantes e indispensables	96
Granulometría.	60	4.4.2.2. Preparación del barro	98
Límite de liquidez y límite plástico	63	Colocación de estabilizantes y mezclado	99
Rotura Mínima Compresión- Tierra.	67	4.4.2.3. Elaboración de los adobes y secado	99
Rotura mínima a tracción indirecta - tierra.	71	Moldeo	99
Momento 3. Ensayos de Laboratorio – Selección Final.	74	Proceso de secado y apilado	101
3.4.2. Estabilización y mejoramiento	75	4.4.3. Observaciones	102
a. Estabilización	75	Capítulo 5. Caracterización mecánica del adobe	106
Conceptualización	75	5.1. Resistencia a la compresión	107
Tipos de estabilización	75	5.2. Resistencia a la flexión	115
b. Mejoramiento	76	5.3. Absorción	122
Conceptualización.	76	5.4. Conclusiones	127
3.4.3. Propuesta para mejorar el adobe	76	5.5. Recomendaciones	127
a. Objetivos	76	Capítulo 6. Conclusiones	132
b. Metodología	76	Bibliografía	137
c. Selección de componentes	77		
Estabilizantes	77		
La Cal	78		
Fibras de cabuya	80		
Materiales de mejoramiento	82		
Grasas de origen vegetal – aceite de linaza	82		
Capítulo 4. Propuesta de un adobe mejorado	88		
4.1. Consideraciones iniciales	88		
4.2. Condicionantes técnicas, económicas y sociales	88		





Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Yo, Victor Javier Zeas Solórzano en calidad de autor/a y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "MEJORAMIENTO DE BLOQUE SE ADOBE CON FIBRAS DE CABUYA Y ACEITE DE LINAZA", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 5 de noviembre de 2021

Victor Javier Zeas Solórzano

C.I: 0105954093



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Yo, Melanny Gabriela Benalcázar Soto en calidad de autor/a y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "MEJORAMIENTO DE BLOQUE SE ADOBE CON FIBRAS DE CABUYA Y ACEITE DE LINAZA", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 5 de noviembre de 2021

Melanny Gabriela Benalcázar Soto

C.I: 0604437608





Cláusula de Propiedad Intelectual

Yo, Victor Javier Zeas Solórzano, autor/a del trabajo de titulación MEJORAMIENTO DE BLOQUE SE ADOBE CON FIBRAS DE CABUYA Y ACEITE DE LINAZA", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

Cuenca, 5 de noviembre de 2021

Victor Javier Zeas Solórzano

C.I: 0105954093



Cláusula de Propiedad Intelectual

Yo, Melanny Gabriela Benalcázar Soto autor/a del trabajo de titulación MEJORAMIENTO DE BLOQUE SE ADOBE CON FIBRAS DE CABUYA Y ACEITE DE LINAZA", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

Cuenca, 5 de noviembre de 2021

Melanny Gabriela Benalcázar Soto

C.I: 0604437608





AL
K
S
B
A
C

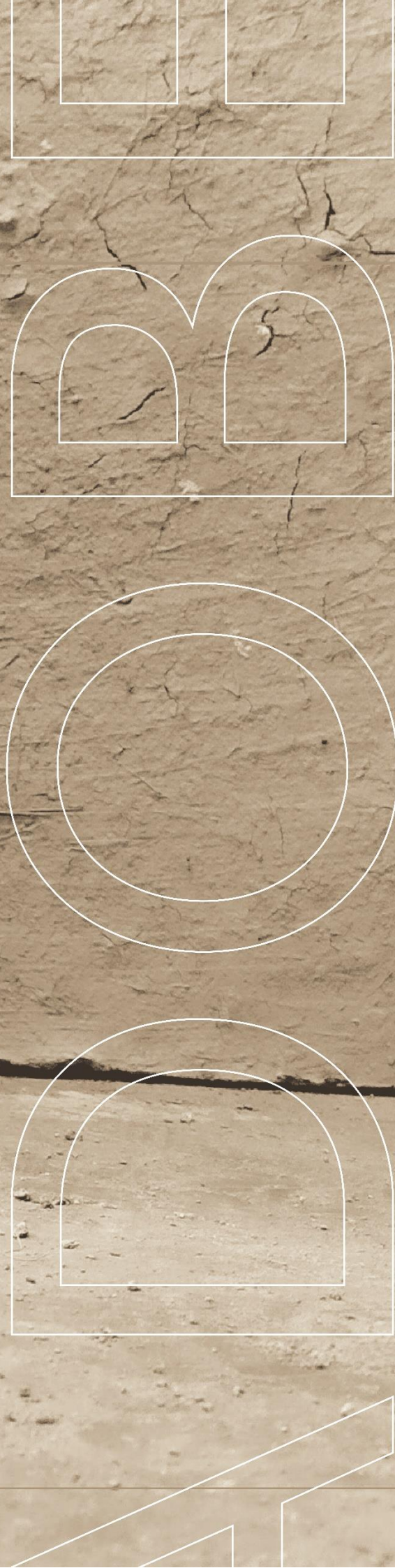


UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE ARQUITECTURA Y URBANISMO
CARRERA DE ARQUITECTURA

MEJORAMIENTO
de bloques de
ADOBES
con fibras de
CABUYA
Y
ACEITE DE LINAZA

2021

DIRECTORA: ARQ. MARIELA MÓNICA PESANTES RIVERA
AUTORES: VICTOR JAVIER ZEAS SOLÓRZANO
MELANNY GABRIELA BENALCÁZAR SOTO





Abstract

Adobe Blocks Improvement with Cabuya Fibers and Linseed Oil

Nowadays, people's concern about the planet's contamination and the vast carbon footprint that the construction business generates every day is evident. These factors create a growing concern that day after day generates conscientiousness supported on different studies to mitigate global contamination with the carbon footprint.

The ancient construction techniques used soil as their primary element. These techniques require less energy charge and, at the same time are recyclable, and can have a long lifespan. In the same manner, it contributes to maintaining a well-supported economic, physical, social, and natural environment.

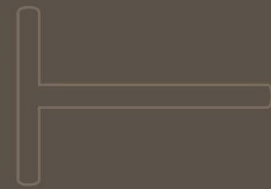
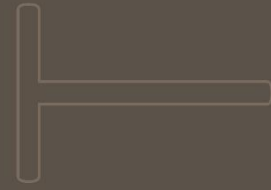
Human has used adobe throughout the history. It is an ancient construction element that counts with chemical and thermal properties that give the constructions adaptability to the environment and comfort to the people who live there. It also uses accessible materials mainly for the people living in the rural sectors due to their low cost. In Ecuador is a construction technique that remains mainly in the north of the country.

However, by using soil as raw material, these elements present some weaknesses, such as low mechanical capacity and low water resistance. All of these defects reflect a limited architectural design capacity. This condition forces to seek alternative process to overcome those weaknesses in the construction material and get a growth of the properties and benefits of the adobe.

In this context, this research aims to propose a variant in adobe construction components, primarily focused on filling the gaps in constructing these elements due to the lack of its most important material, the hill straw.

The proposed adobe replaces the typical straw with Cabuya fiber. This material improves cohesion, provides more compression and flexibility resistance and reduces adobe retraction.

Finally, a lateral study is carried out by adding samples for the test, to which lime is included as a chemical stabilizer since it provides a high level of impermeability, but its contribution to the mechanical properties of the mud are not checked.





Resumen

Mejoramiento de Bloques de Adobe con Fibras de Cabuya y Aceite de Linaza

Hoy en día es evidente la preocupación por la contaminación del planeta y de la gigantesca huella de carbono que genera principalmente la industria vinculada con la construcción en el mundo; estos dos factores constituyen una creciente preocupación que cotidianamente va generando conciencia que toma asidero en estudios para mitigar y disminuir tanto la contaminación como la huella de carbono.

Técnicas constructivas tradicionales de tierra mantienen procesos de producción que utilizan menor carga de energía y que a la par son reciclables y con una vida larga. De igual forma contribuyen con el mantenimiento del medio económico, físico, social y ambiental.

El adobe, utilizado a lo largo de la historia de la humanidad, ha demostrado ser un elemento de construcción tradicional que cuenta con propiedades químicas y térmicas, que otorgan confortabilidad a las viviendas, adaptabilidad al medio y que, además, utiliza materiales accesibles para las personas principalmente de las zonas rurales por su bajo costo. En el Ecuador es una técnica constructiva que aún se utiliza principalmente en la zona norte del país.

Sin embargo, estos elementos, por utilizar el suelo como materia prima, presentan debilidades, tanto en su capacidad mecánica y resistencia al agua, que se reflejan en limitaciones en el diseño arquitectónico. Esta condición obliga a buscar alternativas y procesos para superar las debilidades evidentes de este material constructivo y conseguir un acrecentamiento de las características y un enriquecimiento de los beneficios del adobe.

Bajo esta realidad, la investigación se encamina a generar una propuesta de una variante en los componentes en la fabricación del adobe normal. Adicionalmente, se ha buscado cubrir los vacíos que hoy existe en la construcción de estos elementos frente a la falta de uno de sus materiales más importantes, la paja de cerro.

El nuevo adobe planteado reemplaza la paja típica por fibra de cabuya, material que mejora la cohesión, otorga mayor resistencia a la compresión y flexión y reduce la retracción del adobe. Adicionalmente, se plantea el uso del aceite de linaza, material natural, amigable con el ambiente que contribuye a reducir la porosidad del adobe mejorando la resistencia al agua y la resistencia mecánica.

Finalmente, para complementar, se realiza un estudio lateral adicionando especímenes para los ensayos, a los que se les incluye cal como estabilizante químico, pues otorga un nivel elevado de impermeabilidad, pero no se verifica su aporte en las propiedades mecánicas del barro.





Agradecimientos

Completamente agradecidos con nuestras familias, maestros y amigos que nos han apoyado en el trayecto y que nos han impulsado a cumplir nuestros objetivos.

Y sobretodo agradecidos con Dios que colmó de amor nuestros corazones para que permanezcan fuertes en cada obstáculo enfrentado en la realización de la presente tesis.

AGRADECIMIENTO





Índice de Ilustraciones

Ilustración 1. Capilla de reconciliación de Martín Rauhs, Alemania. bauhandwerk.de, s.f.	23
Ilustración 2. Le Domaine de terre - Isle d'Abeau. CRATerre - ENSAG/ Architecte Jourda & Perraudin, 2014.	23
Ilustración 3. Catal huyuk. Guillermo Cso de los Cobos, 30 de junio 2019.	30
Ilustración 4. Graneros de Ramsés II. Foro Egipto, 2007.	30
Ilustración 5. Formación del suelo. Neves et al., 2011.	38
Ilustración 6. Formación del suelo. Neves et al., 2011.	39
Ilustración 7. Expansión y Retracción del agua, Aguilar, E.D., Quezada, 2017	40
Ilustración 8. Lugar de producción 1. MUESTRA 1. Benalcázar, M., Zeas, V., 2020.	42
Ilustración 9. Lugar de producción 2. MUESTRA 1. Benalcázar, M., Zeas, V., 2020.	43
Ilustración 10. Test- Color de la tierra.	43
Ilustración 11. Test visual de la tierra,	46
Ilustración 12. Test visual de la tierra.	46
Ilustración 13. Test visual de la tierra.	46
Ilustración 14. Test visual de la tierra.	46
Ilustración 15. Test- Color de la tierra.	47
Ilustración 16. Test- Color de la tierra.	47
Ilustración 17. Test- Color de la tierra.	47
Ilustración 18. Test- Color de la tierra.	47
Ilustración 19. Test - Tacto de la tierra.	48
Ilustración 20. Test - Tacto de la tierra.	48
Ilustración 21. Test - Tacto de la tierra.	48
Ilustración 22. Test - Tacto de la tierra.	48
Ilustración 23. Test cantidad de arcilla.	49
Ilustración 24. Test cantidad de arcilla.	49
Ilustración 25. Test cantidad de arcilla.	49
Ilustración 26. Test cantidad de arcilla.	49
Ilustración 27. Test de brillo de la tierra. MUESTRA 1. Benalcázar, M., Zeas, V., 2020	50
Ilustración 28. Test de brillo de la tierra. MUESTRA 1. Benalcázar, M., Zeas, V., 2020	50
Ilustración 29. Test de brillo de la tierra. MUESTRA 2. Benalcázar, M., Zeas, V., 2020.	50
Ilustración 30. Test de brillo de la tierra. MUESTRA 2. Benalcázar, M., Zeas, V., 2020.	50
Ilustración 31. Test de brillo de la tierra. MUESTRA 3. Benalcázar, M., Zeas, V., 2020.	50
Ilustración 32. Test de brillo de la tierra. MUESTRA 3. Benalcázar, M., Zeas, 2020.	50
Ilustración 33. Test de brillo de la tierra. MUESTRA 3. Benalcázar, M., Zeas, V., 2020.	50
Ilustración 34. Test de brillo de la tierra. MUESTRA 4. Benalcázar, M., Zeas, V., 2020.	50
Ilustración 35. Test contenido de arcilla.	52
Ilustración 36. Test contenido de arcilla.	52
Ilustración 37. Test contenido de arcilla.	52
Ilustración 38. Test contenido de arcilla.	52
Ilustración 39. Test de resistencia Seca.	53
Ilustración 40. Test de resistencia Seca.	53
Ilustración 41. Test de resistencia Seca.	53
Ilustración 42. Test de resistencia Seca.	53
Ilustración 43. Test de caída de esfera.	54
Ilustración 44. Test de caída de esfera.	54
Ilustración 45. Test de caída de esfera.	54
Ilustración 46. Test de caída de esfera.	54
Ilustración 47. Test del vidrio. MUESTRA 1. Benalcázar, M., Zeas, V., 2020.	56
Ilustración 48. Test del vidrio. MUESTRA 1. Benalcázar, M., Zeas, V., 2020.	56
Ilustración 49. Test del vidrio. MUESTRA 1. Benalcázar, M., Zeas, V., 2020.	56
Ilustración 50. Test del vidrio. MUESTRA 1. Benalcázar, M., Zeas, V., 2020.	56
Ilustración 51. Test del vidrio. MUESTRA 2. Benalcázar, M., Zeas, V., 2020.	56
Ilustración 52. Test del vidrio. MUESTRA 2. Benalcázar, M., Zeas, V., 2020.	56
Ilustración 53. Test del vidrio. MUESTRA 2. Benalcázar, M., Zeas, V., 2020.	56
Ilustración 54. Test del vidrio. MUESTRA 2. Benalcázar, M., Zeas, V., 2020.	56
Ilustración 55. Test del vidrio. MUESTRA 3. Benalcázar, M., Zeas, V., 2020.	56
Ilustración 56. Test del vidrio. MUESTRA 3. Benalcázar, M., Zeas, V., 2020.	56
Ilustración 57. Test del vidrio. MUESTRA 3. Benalcázar, M., Zeas, V., 2020.	56
Ilustración 58. Test del vidrio. MUESTRA 3. Benalcázar, M., Zeas, V., 2020.	56
Ilustración 59. Test del vidrio. MUESTRA 4. Benalcázar, M., Zeas, V., 2020.	56
Ilustración 60. Test del vidrio. MUESTRA 4. Benalcázar, M., Zeas, V., 2020.	56
Ilustración 61. Test del vidrio. MUESTRA 4. Benalcázar, M., Zeas, V., 2020.	56
Ilustración 62. Test del vidrio. MUESTRA 4. Benalcázar, M., Zeas, V., 2020.	56
Ilustración 63. Test del rollo.	57
Ilustración 64. Test del rollo.	57
Ilustración 65. Test del rollo.	57
Ilustración 66. Test del rollo.	57
Ilustración 67. Test del rollo.	57
Ilustración 68. Test del rollo.	57
Ilustración 69. Test del rollo.	57



Ilustración 70. Test del rollo.	57	Ilustración 93. Ensayo de límite plástico. MUESTRA	
Ilustración 71. Test exudación de la tierra.		4. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.	66
MUESTRA 1. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.	58	Ilustración 94. Ensayo de límite plástico. MUESTRA	
Ilustración 72. Test exudación de la tierra.		3. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.	66
MUESTRA 1. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.	58	Ilustración 95. Fabricación de cubos de 10cm de	
Ilustración 73. Test exudación de la tierra.		arista. Benalcázar, M., Zeas, V.,2001	68
MUESTRA 2. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.	58	Ilustración 96. Rectificación de dados.	68
Ilustración 74. Test exudación de la tierra.		Ilustración 97. Cofres cilíndricos.	71
MUESTRA 2. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.	58	Ilustración 98 Cilindros de tierra.	71
Ilustración 75. Test exudación de la tierra.		Ilustración 99. Selección del estabilizante químico	
MUESTRA 3. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.	58	según el índice de plasticidad y granulometría de la	
Ilustración 76. Test exudación de la tierra.		tierra. Neves et al.,2009	78
MUESTRA 3. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.	58	Ilustración 100. Muestras para ensayo para	
Ilustración 77. Test exudación de la tierra.		seleccionar la cal adecuada.	90
MUESTRA 4. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.	58	Ilustración 101. Ensayo para seleccionar la cal	
Ilustración 78. Test exudación de la tierra.		adecuada. MUESTRA 1.	90
MUESTRA 4. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.	58	Ilustración 102. Ensayo para seleccionar la cal	
Ilustración 79. Ensayo de granulometría, proceso		adecuada. MUESTRA 2.	90
de Secado. MUESTRA 3. Benalcázar, M., Zeas,		Ilustración 103. Ensayo para seleccionar la cal	
V.,2020.	61	adecuada. MUESTRA 3.	90
Ilustración 80. Ensayo de granulometría. Pesaje de		Ilustración 104. Proceso de ensayo de Dosificación	
masa retenida en cada tamiz. MUESTRA 4.		de la Cal. Paso 1. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.	92
Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.	61	<i>Ilustración 105. Proceso de ensayo de Dosificación</i>	
Ilustración 81. Ensayo de granulometría. Pesaje de		<i>de la Cal. Paso 2. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.</i>	92
masa retenida en cada tamiz. MUESTRA 3.		Ilustración 106. Ensayo de Dosificación de Cal.	
Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.	61	Resultados. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.	92
Ilustración 82. Ensayo de granulometría. Pesaje de		<i>Ilustración 107. Ensayo de Dosificación de Cal.</i>	
masa retenida en cada tamiz. MUESTRA 4.		<i>Resultado 8 y 12%. Benalcázar, M., Zeas,</i>	
Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.	61	<i>V.,2020.</i>	92
Ilustración 83. Ensayo de granulometría. Limpieza		Ilustración 108. Paja comercial para construcción.	
de tamices. MUESTRA 3. Benalcázar, M., Zeas,		Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.	93
V.,2020.	61	<i>Ilustración 109. Tamaño de cabuya. Cabuya 10 a</i>	
Ilustración 84. Ensayo de granulometría. Limpieza		<i>15cm. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.</i>	93
de tamices. MUESTRA 4. Benalcázar, M., Zeas,		Ilustración 110. Tamaño de cabuya. Adobe con	
V.,2020.	61	cabuya 10 a 15cm ensayo de flexión. Benalcázar,	
Ilustración 85. Ensayo de granulometría. MUESTRA		M., Zeas, V.,2020.	93
3. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.	61	Ilustración 111. Muestras de cabuya cortada 4cm.	
Ilustración 86. Ensayo de granulometría. MUESTRA		Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.	93
4. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.	61	<i>Ilustración 112. Ensayo de cantidad de cabuya.</i>	94
Ilustración 87. Ensayo de límite líquido. MUESTRA		Ilustración 113. Cuidados importantes.	96
4. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.	66	<i>Ilustración 114. Cuidados importantes. Ejemplo de</i>	
Ilustración 88. Ensayo de límite líquido. MUESTRA		<i>cubierta y piletón. Benalcázar, M., Zeas,</i>	
3. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.	66	<i>V.,2020.</i>	96
Ilustración 89. Ensayo de límite líquido. MUESTRA 4.		Ilustración 115. Modelo de cofre.	97
Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.	66	Ilustración 116. Modelo de cofre.	97
Ilustración 90. Ensayo de límite líquido. MUESTRA 3.		Ilustración 117. Cepillo para peinar la cabuya.	97
Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.	66	Ilustración 118. Proceso de peinado de la cabuya.	
Ilustración 91. Ensayo de límite plástico. MUESTRA		Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.	97
4. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.	66	Ilustración 119. Dormido del barro.	98
Ilustración 92. Ensayo de límite plástico. MUESTRA		Ilustración 120. Dormido del barro.	98
3. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.	66	Ilustración 121. Dormido del barro.	98
		Ilustración 122. Dormido del barro.	98





Ilustración 123. Colocación de cal en el barro. 99	Ilustración 150. Ensayo de Absorción 24H (ADOBE TRADIONAL). 127
<i>Ilustración 124.. Colocación de agua en el barro. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020. 99</i>	
Ilustración 125. Colocación de cabuya en el barro. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020. 99	
<i>Ilustración 126.. Colocación de aceite en el barro. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020. 99</i>	
Ilustración 127. Moldeo del Adobe. 100	
Ilustración 128. Moldeo del Adobe. 100	
Ilustración 129.. Moldeo del Adobe. 100	
Ilustración 130. Moldeo del Adobe. 100	
Ilustración 131. Moldeo del Adobe. 100	
Ilustración 132. Moldeo del Adobe. 100	
Ilustración 133. Proceso de secado de los adobes. Secado bajo sombra. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020. 101	
Ilustración 134. Proceso de secado de los adobes. Volteado. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020. 101	
Ilustración 135. Proceso de secado de los adobes. Alisado. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020. 101	
Ilustración 136.Adobes mejorados después del ensayo de Compresión. Tipo 1 y 2. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020. 113	
Ilustración 137. Adobes mejorados después del ensayo de Compresión. Tipo 4. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020. 113	
Ilustración 138. Adobes mejorados después del ensayo de Compresión. Tipo 5 y 6. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020. 113	
Ilustración 139.Adobes mejorados después del ensayo de Compresión. Tipo 7 y 8.. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020. 113	
Ilustración 140. Adobe tradicional sometido a Compresión. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020. 113	
Ilustración 141.Adobe tradicional sometido a Compresión. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020. 113	
Ilustración 142. Adobe tradicional sometido a flexión. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020. 115	
Ilustración 143. Adobe tradicional sometido a flexión. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020. 115	
Ilustración 144. Adobe tradicional sometido a flexión. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020. 115	
Ilustración 145. Soga en Adobe Tradicional de prueba. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020. 117	
Ilustración 146. Material orgánico en Adobe Tradicional de prueba. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020. 117	
Ilustración 147.Ensayo de Absorción a los 20 min. Adobe 1A1. Benalcázar, M., Zeas, V.,2021. 127	
Ilustración 148.Ensayo de Absorción a los 20 min. Adobe 5A1. Benalcázar, M., Zeas, V.,2021. 127	
<i>Ilustración 149. Ensayo de Absorción 20min (ADOBE TRADIONAL) 127</i>	



Índice de Tablas

Tabla 1. Características relevantes para la fabricación de Adobes. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.	39
Tabla 2. Clasificación de suelos por textura y apariencia (Red Iberoamericana «PROTERRA», 2009).	51
Tabla 3. Clasificación e interpretación de suelos por efecto de exudación . Red Iberoamericana «PROTERRA», 2009.	58
Tabla 4. Identificación de tipo de tierra, técnica recomendada y estabilizante masa apropiado Red Iberoamericana «PROTERRA», 2009.....	59
Tabla 5. Análisis granulométrico de la MUESTRA 3. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.	62
Tabla 6. Análisis granulométrico de la MUESTRA 4. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.	62
Tabla 7.Límite líquido, Límite plástico y Índice plástico de la muestra 3. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.	64
Tabla 8. Límite líquido, Límite plástico y Índice plástico de la muestra 4. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.	65
Tabla 9. <i>Esfuerzo máximo promedio. (Solo tierra. Benalcázar, M., Zeas, V.,2021.</i>	68
Tabla 10. Esfuerzo máximo promedio. (cal 8%). Benalcázar, M., Zeas, V.,2021.	68
Tabla 11. Esfuerzo máximo promedio. (cal 12%). Benalcázar, M., Zeas, V.,2021.	68
Tabla 12. Esfuerzo máximo promedio. (Solo tierra). Benalcázar, M., Zeas, V.,2021.	72
Tabla 13. Esfuerzo máximo promedio. (cal 12%).	72
Tabla 14. Esfuerzo máximo promedio. (cal 8%)...	72
Tabla 15. Conformación ideal de la granulometría de la tierra según distintas fuentes. Benites,2017.	75
Tabla 16.Selección de estabilizante químico.	77
Tabla 17. Ventajas y desventajas de las fibras naturales como refuerzos a materiales compuestos. Tamayo,2012.....	80
Tabla 18. Características mecánicas de las diferentes fibras naturales. Tamayo,2012.	81
Tabla 19.Composición química de diferentes fibras naturales. Tamayo, 2012.....	81
Tabla 20.Características físicas de la cabuya. Tamayo 2012.....	81
Tabla 21.Tipo de adobes para ensayos. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.....	95
Tabla 22. Esfuerzo máximo promedio. (ADOBE TIPO 1). Benalcázar, M., Zeas, V.,2021.	108
Tabla 23. Esfuerzo máximo promedio. (ADOBE TIPO 2). Benalcázar, M., Zeas, V.,2021.....	108
Tabla 24. Esfuerzo máximo promedio. (ADOBE TIPO 3). Benalcázar, M., Zeas, V.,2021.....	108
Tabla 25. Esfuerzo máximo promedio. (ADOBE TIPO 4). Benalcázar, M., Zeas, V.,2021.....	108
Tabla 26. Esfuerzo máximo promedio. (ADOBE TIPO 5). Benalcázar, M., Zeas, V.,2021.....	108
Tabla 27. Esfuerzo máximo promedio. (ADOBE TIPO 6).Benalcázar, M., Zeas, V.,2021.....	108
Tabla 28. Esfuerzo máximo promedio. (ADOBE TIPO 7).Benalcázar, M., Zeas, V.,2021.....	108
Tabla 29. Esfuerzo máximo promedio. (ADOBE TIPO 8).Benalcázar, M., Zeas, V.,2021.....	108
Tabla 30. Esfuerzo máximo promedio. (ADOBE TRADICIONAL).Benalcázar, M., Zeas, V.,2021....	108
Tabla 31. Esfuerzo máximo promedio. (ADOBE TIPO 1).Benalcázar, M., Zeas, V.,2021.....	116
Tabla 32. Esfuerzo máximo promedio. (ADOBE TIPO 2). Benalcázar, M., Zeas, V.,2021.....	116
Tabla 33. Esfuerzo máximo promedio. (ADOBE TIPO 3). Benalcázar, M., Zeas, V.,2021.....	116
Tabla 34. Esfuerzo máximo promedio. (ADOBE TIPO 4). Benalcázar, M., Zeas, V.,2021.	116
Tabla 35. Esfuerzo máximo promedio. (ADOBE TIPO 5). Benalcázar, M., Zeas, V.,2021.....	116
Tabla 36. Esfuerzo máximo promedio. (ADOBE TIPO 6). Benalcázar, M., Zeas, V.,2021.....	116
Tabla 37. Esfuerzo máximo promedio. (ADOBE TIPO 7). Benalcázar, M., Zeas, V.,2021.....	116
Tabla 38. Esfuerzo máximo promedio. (ADOBE TIPO 8).Benalcázar, M., Zeas, V.,2021.....	116
Tabla 39. Esfuerzo máximo promedio. (ADOBE TRADICIONAL).Benalcázar, M., Zeas, V.,2021....	116
Tabla 40. Aporte de la construcción en tierra al Desarrollo Sostenible. Benalcázar, M., Zeas, V.,2021	132
Tabla 41. Comparación de resultados finales entre adobe tradicional y la mejor dosificación. Benalcázar, M., Zeas, V.,2021.....	135





Índice de Gráficas

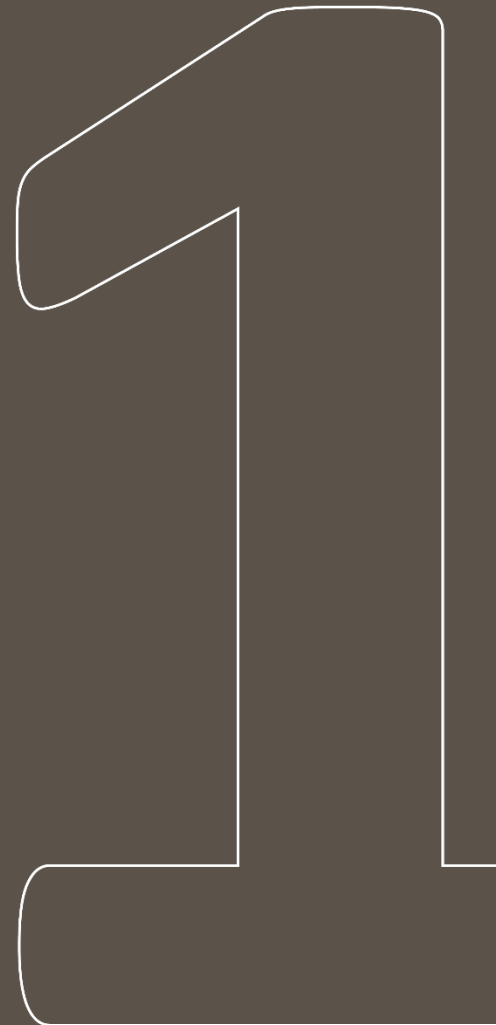
Gráfica 1. Análisis granulométrico de la MUESTRA 3. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.	62
Gráfica 2. Análisis granulométrico de la MUESTRA 4. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020	62
Gráfica 3. Límite líquido de la muestra 3.	65
Gráfica 4. Límite líquido de la muestra 4.	65
Gráfica 5. Comparación de resultados. (MPa). Benalcázar, M., Zeas, V.,2021	68
Gráfica 6. Diagrama Esfuerzo/Deformación Unitaria. (Solo tierra). Benalcázar, M., Zeas, V.,2021.	70
Gráfica 7. Diagrama Esfuerzo/Deformación Unitaria. (cal 8%). Benalcázar, M., Zeas, V.,2021.	70
Gráfica 8. Diagrama Esfuerzo/Deformación Unitaria. (cal 12%). Benalcázar, M., Zeas, V.,2021	70
Gráfica 9. Comparación de resultados. (MPa).	72
Gráfica 10. Diagrama Esfuerzo/Deformación Unitaria. (Solo tierra). Benalcázar, M., Zeas, V.,2021.	73
Gráfica 11. Diagrama Esfuerzo/Deformación Unitaria. (cal 8%). Benalcázar, M., Zeas, V.,2021.	73
Gráfica 12. Diagrama Esfuerzo/Deformación Unitaria. (cal 12%). Benalcázar, M., Zeas, V.,2021.	73
Gráfica 13. Comparación de resultados. Ensayo de Compresión. (MPa). Benalcázar, M., Zeas, V.,2021.	109
Gráfica 14. Diagrama Esfuerzo/Deformación Unitaria. Ensayo de Compresión. (ADOBE TIPO 1). Benalcázar, M., Zeas, V.,2021.	109
Gráfica 15. Diagrama Esfuerzo/Deformación Unitaria. Ensayo de Compresión. (ADOBE TIPO 2). Benalcázar, M., Zeas, V.,2021.	109
Gráfica 16. Diagrama Esfuerzo/Deformación Unitaria. Ensayo de Compresión. (ADOBE TIPO 3). Benalcázar, M., Zeas, V.,2021.	110
Gráfica 17. Diagrama Esfuerzo/Deformación Unitaria. Ensayo de Compresión. (ADOBE TIPO 4). Benalcázar, M., Zeas, V.,2021.	110
Gráfica 18. Diagrama Esfuerzo/Deformación Unitaria. Ensayo de Compresión. (ADOBE TIPO 5). Benalcázar, M., Zeas, V.,2021.	110
Gráfica 19. Diagrama Esfuerzo/Deformación Unitaria. Ensayo de Compresión. (ADOBE TIPO 6). Benalcázar, M., Zeas, V.,2021.	111
Gráfica 20. Diagrama Esfuerzo/Deformación Unitaria. Ensayo de Compresión. (ADOBE TIPO 7). Benalcázar, M., Zeas, V.,2021.	111
Gráfica 21. Diagrama Esfuerzo/Deformación Unitaria. Ensayo de Compresión. (ADOBE TIPO 8). Benalcázar, M., Zeas, V.,2021.	111
Gráfica 22. Diagrama Esfuerzo/Deformación Unitaria. Ensayo de Compresión. (ADOBE TRADICIONAL). Benalcázar, M., Zeas, V.,2021	112
Gráfica 23. Comparación de resultados. Ensayo de Flexión. (MPa). Benalcázar, M., Zeas, V.,2021.	117
Gráfica 24. Diagrama Esfuerzo/Deformación Unitaria. Ensayo de Flexión. (ADOBE TIPO 1). Benalcázar, M., Zeas, V.,2021	118
Gráfica 25. Diagrama Esfuerzo/Deformación Unitaria. Ensayo de Flexión. (ADOBE TIPO 2). Benalcázar, M., Zeas, V.,2021	118
Gráfica 26. Diagrama Esfuerzo/Deformación Unitaria. Ensayo de Flexión. (ADOBE TIPO 3). Benalcázar, M., Zeas, V.,2021	118
Gráfica 27. Diagrama Esfuerzo/Deformación Unitaria. Ensayo de Flexión. (ADOBE TIPO 4). Benalcázar, M., Zeas, V.,2021	119
Gráfica 28. Diagrama Esfuerzo/Deformación Unitaria. Ensayo de Flexión. (ADOBE TIPO 5). Benalcázar, M., Zeas, V.,2021	119
Gráfica 29. Diagrama Esfuerzo/Deformación Unitaria. Ensayo de Flexión. (ADOBE TIPO 6). Benalcázar, M., Zeas, V.,2021	119
Gráfica 30. Diagrama Esfuerzo/Deformación Unitaria. Ensayo de Flexión. (ADOBE TIPO 7). Benalcázar, M., Zeas, V.,2021	120
Gráfica 31. Diagrama Esfuerzo/Deformación Unitaria. Ensayo de Flexión. (ADOBE TIPO 8). Benalcázar, M., Zeas, V.,2021	120
Gráfica 32. Diagrama Esfuerzo/Deformación Unitaria. Ensayo de Flexión. (ADOBE TRADICIONAL). Benalcázar, M., Zeas, V.,2021	120
Gráfica 33. Porcentaje de Absorción de agua. (ADOBE TIPO 1). Benalcázar, M., Zeas, V.,2021	123
Gráfica 34. Porcentaje de Absorción de agua. (ADOBE TIPO 2). Benalcázar, M., Zeas, V.,2021	123
Gráfica 35. Porcentaje de Absorción de agua. (ADOBE TIPO 3). Benalcázar, M., Zeas, V.,2021	123
Gráfica 36. Porcentaje de Absorción de agua. (ADOBE TIPO 4). Benalcázar, M., Zeas, V.,2021	124
Gráfica 37. Porcentaje de Absorción de agua. (ADOBE TIPO 5). Benalcázar, M., Zeas, V.,2021.	124
Gráfica 38. Porcentaje de Absorción de agua. (ADOBE TIPO 6)	124
Gráfica 39. Porcentaje de Absorción de agua. (ADOBE TIPO 7). Benalcázar, M., Zeas, V.,2021	125
Gráfica 40. Porcentaje de Absorción de agua. (ADOBE TIPO 8). Benalcázar, M., Zeas, V.,2021	125
Gráfica 41. Porcentaje de Absorción de agua. (ADOBE TRADICIONAL). Benalcázar, M., Zeas, V.,2021	125
Gráfica 42. Porcentaje de Absorción de agua. (ADOBE TRADICIONAL). Benalcázar, M., Zeas, V.,2021.	126



-
- 1.1 Introducción
 - 1.2 La necesidad y vigencia del tema
 - 1.3 Metodología
 - 1.4 Hipótesis
 - 1.5 Objetivos del Trabajo de Titulación

CAPÍTULO

Introducción







Capítulo 1. Introducción

1.1. Introducción

La sociedad en su conjunto vive un cambio de época, una era donde ya no es viable mantener los mismos patrones de producción, energía y consumo. Esto obliga a transformar este modo de desarrollo dominante por uno que lleve a la humanidad por la vía del desarrollo sostenible. Mas ¿qué significa sostenible?, la RAE lo define así: «Especialmente en ecología y economía, que se puede mantener durante largo tiempo sin agotar los recursos o causar grave daño al medio ambiente». Por este y otros antecedentes, la ONU conjuntamente con 193 estados miembros, en unión con representantes del mundo académico y del sector privado, proponen en septiembre del año 2015 la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible incluyendo 17 objetivos. (Naciones Unidas, 2018)

Estos objetivos van enfocados hacia un desarrollo sostenible e integran la dimensión social y ambiental colocando como punto central la igualdad y dignidad de las personas. Para llegar al cumplimiento de los objetivos se deben desarrollar soluciones desde diferentes áreas de estudio y puesto que el presente tema de investigación se desarrolla en el campo de arquitectura, se toman en consideración temas de «Cuidad y comunidad», «productos y consumo sostenibles» y «Acción por el clima» tratados en los objetivos 11, 12 y 13 respectivamente.

En la arquitectura, la construcción sostenible es aquella que tiene respeto y compromiso con el medio ambiente, es decir no atenta contra la naturaleza, por tanto no se va en desmedro de la salud del ser humano; esto se logra mediante el uso eficiente de la energía, al reducir los

impactos ambientales logrando construcciones confortables (Quezada, 2015).

Debido a las bondades, beneficios y a su respeto por el medio ambiente la construcción en tierra y más concretamente la construcción en adobe ha adquirido una mayor importancia para la comunidad científica (Jokhio, Saad, Gul, Syed Mohsin, & Ramli, 2018). Jokhio et al (2018), mencionan que a diferencia de los materiales convencionales utilizados en la mayoría de construcciones actuales, cemento y acero, los bloques de adobe logran un ahorro significativo en el uso de energía para la construcción, donde también se incluye la no requerida en transporte, pues su producción es local.

Por el contrario, la desmedida explotación de los recursos naturales y de los sistemas de producción se han vuelto intensivos en capital y energía generando no solo desperdicios sino una contaminación del medio ambiente. En países como el nuestro, la tierra resurge como un alternativo material de construcción. «*La tierra es el material de construcción natural más importante y abundante en la mayoría de las regiones del mundo*» (Minke, 2005). Uno de los sistemas de construcción en tierra más utilizados en las zonas rurales del cantón Cuenca es el adobe y para su elaboración se generan bloques terrosos con agua, mezcla lanzada con fuerza en moldes, a la que usualmente se añade paja de cerro como ligante y se deja secar mínimo por 21 días (Minke, 2005). Este sistema constructivo tiene desventaja en relación a los materiales industrializados en sus propiedades mecánicas pues su resistencia es menor y además su propiedad de permeabilidad lo hace indefenso al agua, provocando que los primeros sean más utilizados.

En cuanto a las ventajas del adobe dígase que es un material local, que genera menor



cantidad de emisiones de CO₂ en su proceso de elaboración ante cualquier material industrializado. El adobe también aporta en la climatización de los ambientes interiores. Es decir, un manejo adecuado de la energía solar pasiva y de las propiedades de los materiales (Quezada, 2015). Por estos motivos se plantea contribuir a superar las desventajas antes mencionadas, generando un adobe que contribuya con la construcción sostenible que exige la conservación del planeta.

La investigación rigurosa y científica en el tema de construcción en suelo (tierra) no es un tema nuevo; existe literatura científica conocida desde hace cincuenta años, la misma que se ha desarrollado en sus diferentes sistemas constructivos, uno de ellos la construcción con adobe (Maldonado & Vela-Cossío, 2011) que aborda el mejoramiento de su sistema constructivo, materiales modificados y productos nuevos.

Este tema también ha sido abordado en la Universidad ecuatoriana y, por supuesto, en la Universidad de Cuenca también se han venido desarrollando estudios no solo en los últimos años; se conocen tesis de pregrado que han abordado el tema desde hace más de treinta años, donde el uso de aditivos y formas de mejoramiento ya fueron desarrollados. Hoy en día se evidencia que las investigaciones sobre el tema han sido constantes, llegando a generar eventos, investigaciones y un sin número de publicaciones que abordan el tema de la construcción en tierra tratando al adobe como material para la construcción. Algunos ejemplos son: la compilación de artículos científicos del SIACOT XV realizada por la Facultad de Arquitectura y Urbanismo en el 2015; la tesis de pregrado «*Caracterización física y mecánica del adobe en el cantón Cuenca*», de Aguilar-Quezada en 2017; entre

otras publicaciones que permitieron enfocar el tema actual de esta investigación.

1.2. La necesidad y vigencia del tema a investigar

La región interandina es la zona donde se encuentran asentadas las principales comunidades indígenas del Ecuador; se caracteriza por sus zonas de gran altitud como los páramos, que llegan a tener temperaturas muy bajas, un alto nivel de precipitaciones, lloviznas, viento, neblina y nubosidad (Quezada, 2015). En las zonas rurales de Cuenca más del 61 % del territorio está a los 2800 m.s.n.m. con un promedio de temperatura de 14,9°C (Ilustre Municipalidad de Cuenca, 2005). Sin embargo, existe un notable desaprovechamiento de la radiación solar y un inadecuado confort térmico en las construcciones actuales que se unen al déficit de vivienda existente.

El Ecuador tiene una notable deficiencia en la calidad de vivienda, generada principalmente por la falta de entendimiento de las condiciones geográficas y culturales que deberían ser consideradas en la construcción de unidades habitacionales, concretamente en la vivienda social. Esto se genera principalmente por el uso de materiales de construcción inadecuados con las realidades climáticas y territoriales de sus comunidades. Los programas de vivienda gubernamentales en el territorio interandino, evidencian esta falencia que derivan incluso en el abandono o usos distintos de estas construcciones.

Identificando estas condicionantes, se ha planteado el desarrollo de la presente investigación considerando su aplicación para la realidad de las zonas rurales de Cuenca, que en relación a la zona urbana, son las zonas más vulnerables, con los índices más altos de pobreza, una accesibilidad dificultosa y



abandono; a esto se suma la falta de planificación constructiva, social y ambiental (Quezada, 2015) y, sin lugar a dudas, la necesidad de materiales alternativos que no agredan al medio ambiente y que respondan a esas nuevas realidades que genera el cambio climático en el mundo.

La investigación parte del uso de dos materiales, la cabuya y el aceite de linaza, que hoy en día están siendo utilizados de manera aislada y empírica en construcción en tierra, pero que frente a sus efectos visibles, tanto positivos como negativos, se hace necesario investigar técnicamente sobre su uso y efectos.

1.3. Metodología

En la presente investigación se evalúa el uso de las fibras de cabuya (*Furcraea andina*) y el aceite de linaza (grasa natural) como estabilizadores para los bloques de adobe; así como su impacto en la resistencia mecánica y al agua.

La investigación se ha desarrollado en base a los siguientes procesos:

- Investigación documental sobre la validez y vinculación de su uso. Primero se desarrolla un análisis de la agenda 2030 donde se evidencia la pertinencia, el valor y la necesidad que tiene la sostenibilidad de ser considerada en el desarrollo de los pueblos, donde la construcción tradicional en adobe responde adecuadamente a esas exigencias.
- Investigación técnica y de laboratorio. Se propone un adobe estabilizado, con nuevos componentes, para finalmente, como última instancia, realizar ensayos de laboratorio al adobe propuesto,

obteniendo datos importantes para corroborar la hipótesis de la investigación.

Para poder desarrollar la investigación, se han tomado en cuenta datos de varios documentos, así como de distintas normativas según la necesidad. Principalmente se intentó basar la investigación en las normas establecidas en la Normativa Ecuatoriana de Construcción, la cual para el presente tema remite a la normativa peruana E.080. Finalmente, los ensayos que no fueron encontrados en la normativa peruana se basaron en la normativa Estadounidense Standard ASTM.

Esta metodología posibilitaría definir si con el uso de estos nuevos materiales, las propiedades físicas y mecánicas del adobe se verían mejoradas por la acción de estos elementos planteados; se debe tener presente que este estudio pretende definir la validez de estos dos materiales como alternativas locales y prácticas para promover el uso mejorado de este sistema constructivo especialmente para las zonas rurales, ya sea del cantón o de los territorios que así lo requieran; abriendo de esta manera un camino que mediante el incremento del uso de este nuevo elemento mejorado, se contribuya de manera directa en el desarrollo sostenible de la construcción del país y se ayude a cumplir los objetivos antes mencionados de la Agenda 2030.

1.4. Hipótesis

La cabuya y el aceite de linaza mejoran la resistencia física y mecánica del adobe tradicional y pueden contribuir directamente a la construcción de un hábitat sostenible dentro de los objetivos de la Agenda 2030.



1.5.Objetivos del trabajo de titulación

1.5.1. Objetivo

Aumentar la resistencia física y mecánica del adobe tradicional con cabuya y aceite de linaza, para contribuir con la construcción de una arquitectura y hábitat sostenible.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Estudiar las ventajas y desventajas de la construcción en tierra y su vinculación con la arquitectura sostenible.
- Establecer las características físicas y mecánicas del adobe y sus componentes.
- Definir nuevas alternativas de materiales componentes del adobe tradicional para mejorar sus características.
- Comparar y analizar las propiedades técnicas y mecánicas de los bloques tradicionales con los resultados de los adobes con adición de cabuya y aceite de linaza.
- Reflexionar los resultados obtenidos frente a los objetivos de sostenibilidad de la Agenda 2030.





- 2.1 Sostenibilidad y Desarrollo Sostenible
- 2.2 Surgimiento de la Agencia 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible
- 2.3 Cumplimiento de los ODS a través de la construcción sostenible

CAPÍTULO

Construcción tradicional para un desarrollo Sostenible







Capítulo 2. Construcción en tierra para un Desarrollo Sostenible

2.1. Sostenibilidad y Desarrollo Sostenible

El dar respuesta a la necesidad de vivienda hoy en día debe necesariamente considerar la sostenibilidad, donde los sistemas constructivos son decisivos el momento de su selección y, por lo tanto, es imprescindible comprender las implicaciones que tiene tanto la sostenibilidad como su desarrollo.

2.1.1. Surgimiento de la Sostenibilidad y el Desarrollo Sostenible

El término sostenibilidad fue mencionado en Estocolmo, en 1972, en una de las Conferencias de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente dentro de un contexto de crecimiento económico y desarrollo.

En 1980 fue de gran influencia el documento: «Estrategia Mundial para la Conservación: La conservación de los recursos vivos para el logro de un desarrollo sostenible», pues contribuyó a la promoción del desarrollo sostenible a través de la conservación de los recursos vivos. (Sachs & Vilà, 2015).

A partir de esto, la Asamblea General de las Naciones Unidas, en resolución 38/161 de diciembre de 1983, estableció por primera vez una comisión especial que, posteriormente, tomaría el nombre de Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y Desarrollo. La comisión realizó un informe sobre el medio ambiente y la problemática para lograr un desarrollo duradero, emitido el 4 de agosto de 1987, para ser examinado, transmitido, utilizado y

finalmente aprobado por la Asamblea General como material básico en la preparación para la perspectiva ambiental al año 2000. El informe fue titulado «*Nuestro futuro común*». En este informe se relaciona la dimensión económica y social con la dimensión ambiental. En este informe surge el concepto de Desarrollo Sostenible que, posteriormente, es incorporado en todos los programas de la ONU, llegando a ser el eje de futuras publicaciones lanzadas. (Brundtland, 1987).

En 1992, se reunieron la comunidad internacional, en la llamada: «Cumbre de la Tierra», en Río de Janeiro - Brasil para encontrar formas de poner en práctica el desarrollo sostenible y con planes específicos a nivel nacional, regional e internacional surge el llamado: «Programa 21».

Diez años después, en el 2002, se aprobó el Plan de Aplicación de Johannesburgo, el cual se basó en los resultados de la «Cumbre de la Tierra», creando enfoques más específicos, concretos, con plazos y metas cuantificables.

En el 2012, como continuidad de la Cumbre de la Tierra, se reunieron nuevamente en Río de Janeiro para evaluar el progreso y abordar nuevos desafíos.

Finalmente, en el 2015, los Estados miembros de las Naciones Unidas aprobaron 17 objetivos como parte de la agenda 2030, el cual es un plan para 15 años que se encuentra vigente.

2.1.2. Conceptualización del Desarrollo Sostenible

En 1987, en el informe de las Naciones Unidas «Nuestro Futuro común» realizado por la Comisión Brundtland, liderado por la ex-primer ministra noruega Gro Harlem Brundtland, oficialmente se presenta al nuevo concepto de desarrollo, el llamado «Desarrollo sostenible». Este concepto inicia con el entendimiento de la obligación que tiene el ser



humano para con el planeta y la necesidad de una lucha común contra el fuerte impacto al medio ambiente, el cual produce daños irreversibles que amenazan el progreso y sobrevivencia del ser humano. Esto ha orientado a las Naciones Unidas a buscar un desarrollo que no genere impactos negativos o pérdida en los recursos naturales, pues también son necesarios para las generaciones futuras. (Brundtland, 1987).

En el informe Brundtland se destaca la responsabilidad de la humanidad de los cambios climáticos que está sufriendo el planeta, pues se encuentra:

- Insostenible el ritmo de la utilización de los recursos esenciales, en el que los productos se consumen más rápido del tiempo en que tardan en regenerarse.
- Insostenible la producción brutal de residuos contaminantes, la cual es superior a la capacidad del planeta para digerirlos.
- Insostenible el acelerado incremento de la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera producidos por el ser humano, con riesgos irreversibles, que aumentan la frecuencia e intensidad de fenómenos atmosféricos extremos.
- Insostenible el proceso de urbanización acelerada y desordenada que genera agotamiento de recursos.
- Insostenible el crecimiento poblacional acaparando al planeta, superando su biocapacidad y generando una acelerada pérdida de biodiversidad.
- Insostenible la pérdida de diversidad cultural, la cual se ha minimizado a riqueza únicamente del pueblo que la ha creado y no como un patrimonio de toda la humanidad.
- Insostenible la incansable búsqueda de un crecimiento económico a corto plazo, sin

atender a las consecuencias ambientales y sociales futuras.

(Brundtland, 1987)

Frente a tantos agravios insostenibles para el planeta, la ONU, en este informe propone el llamado «Desarrollo Sostenible», definiéndolo como: **«El desarrollo que satisface las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer las propias necesidades»**. (Brundtland, 1987).

Esta idea de un desarrollo sostenible, parte de la suposición de que puede y debe haber desarrollo, pero éste debe ser cualitativo, sin crecimiento o incremento cuantitativo de la cantidad de energía sucia o materiales contaminantes. Es decir, un desarrollo diseñado y orientado adecuadamente para que, sin crecimiento, mejore la calidad y forma de vida de las personas que aún viven en precariedad o condiciones menos confortables.

A partir del concepto original de desarrollo sostenible se ha creado uno nuevo, el cual además de pensar en la solidaridad dentro de una misma generación (intrageneracional); considera el respeto entre las generaciones distintas, (intergeneracional); expresándose así como *«El desarrollo sostenible requiere la satisfacción de las necesidades básicas de todos y extiende a todos la oportunidad de satisfacer sus aspiraciones a una vida mejor»*.(Macedo, 2005).

Como Ramón Folch (1998) menciona: *«El desarrollo sostenible no es ninguna teoría y mucho menos una verdad revelada (...), sino la expresión de un deseo razonable, de una necesidad imperiosa; la de avanzar progresando, no la de moverse derrapando»*. (Macedo, 2005).

En el último documento emitido y aceptado por las Naciones Unidas, en la agenda 2030



(analizada en el punto 2.2), se define al desarrollo sostenible, con la definición del informe de Brundtland (1987), más, una nueva relación con conceptos como resiliencia, inclusión, equidad y sobre todo la erradicación de la pobreza.

Lograr un desarrollo sostenible es un proceso lento. Mientras el ser humano busca cómo mejorar su nivel de vida y satisfacer sus necesidades es indiferente a las consecuencias ambientales que provoca. Incluso el planeta ha mostrado señales de alerta; sin embargo, aún no se logra concientizar a todos los dirigentes, educadores o planificadores sobre la importancia del desarrollo sostenible.

2.1.3. Importancia del Desarrollo Sostenible

El planeta contiene más de 7.200 millones de personas que buscan un progreso económico a diario; por tal motivo, la economía mundial es gigantesca y crece a gran velocidad acarreado problemas de sobreproducción y explotación a los recursos, mas un exceso de producción no equivale a la erradicación de la pobreza. Al contrario, simboliza la gigantesca crisis ambiental, capaz de amenazar la vida y el bienestar de miles de millones de personas y otras especies de nuestro planeta. (Sachs & Vilà, 2015).

El desarrollo sostenible es un enfoque normativo que recomienda una serie de objetivos a los que el mundo debería aspirar, los cuales son una guía para el desarrollo futuro de la economía y la sociedad, donde la vivienda y sus sistemas construcción son decisivos el momento de buscar su aplicación.

Es importante pues promueve un crecimiento económico socialmente inclusivo y ambientalmente sostenible, busca crear mayores oportunidades para todos, reducir las desigualdades, mejorar los niveles de vida

básicos, fomentar el desarrollo social equitativo e inclusivo y promover la ordenación integrada y sostenible de los recursos naturales y los ecosistemas, que contribuye al desarrollo económico social, y humano. Al mismo tiempo facilita la conservación, regeneración, restablecimiento y resiliencia de los ecosistemas frente a los problemas nuevos y en ciernes. (Organización de las Naciones Unidas, s. f.)

2.1.4. ¿Cómo se Logra un Desarrollo Sostenible?

Como sugerencia encontrada en la agenda 2030, para lograr un desarrollo sostenible se debe centrar esfuerzos en: el crecimiento económico, la inclusión social, **la protección del medio ambiente** y una buena gobernanza, pilares interdependientes que se refuerzan mutuamente. Cada uno esencialmente importante para aportar al bienestar de las personas y las sociedades. (Sachs & Vilà, 2015)

También se debe referir al desarrollo sostenible como: un enfoque normativo; es decir, una visión normativa o ética del mundo para crear una sociedad bien ordenada **que se preocupe por el bienestar de sus ciudadanos actuales como por el de las generaciones futuras;** es decir, adoptar una visión holística de aquello en que consiste una buena sociedad. (Sachs & Vilà, 2015).

2.2. Surgimiento de la Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible

La Declaración del Milenio, aprobada en septiembre del 2000, tenía como meta principal la reducción de la tasa de pobreza extrema a la mitad, meta que fue cumplida en 2010, conjuntamente con los avances en la escolaridad infantil, el servicio a la deuda externa, la vacunación del sarampión y la prevención del paludismo. Posteriormente, la agenda 2030 nace el 25 de septiembre de 2015,



luego de un extenso proceso de 2 años en «La Cumbre del Desarrollo Sostenible», celebrada en New York, (EEUU); con el fin de generar un programa que remplace a la «Declaración del Milenio», cuya vigencia de 15 años llegaba a su fin. (Asamblea General de las Naciones Unidas, 2015)

En esta Cumbre se establecen los 17 Objetivos del Desarrollo Sostenible, ODS, que son creados en la Agenda 2030 por las Naciones Unidas. La Asamblea General de las Naciones Unidas, al aprobar los Objetivos de Desarrollo Sostenible, acuerdo firmado el 27 de septiembre en Nueva York, refuerza los logros de la Declaración del Milenio y retoma aquellos que no se cumplieron. Se definieron 17 objetivos con 169 metas que tienen como enfoque lograr un desarrollo sostenible económico, social y ambiental, los mismos que entraron en vigor desde el 1 de enero del 2016 con una vigencia de 15 años. (Organización Internacional del Trabajo, 2017).

2.2.1. ¿Qué es la Agenda 2030 y qué países participan?

Siguiendo con esta visión, la agenda 2030 es un plan de acción global, cuya función es velar por la protección de las personas, el planeta y la prosperidad de cada nación integrante; su propósito también es fortalecer la paz universal y la erradicación de la pobreza en todas sus formas y dimensiones. (Organización Internacional del Trabajo, 2017)

2.2.2. ¿Qué factores consideran los Objetivos de Desarrollo Sostenible?

Los objetivos se enfocan en los siguientes factores:

- Las personas: Poner fin a la pobreza y lograr que los seres humanos desarrollen

todo su potencial con dignidad, igualdad y en un medio ambiente saludable.

- El planeta: Proteger la degradación del planeta mediante la gestión sostenible de los recursos naturales de tal manera que las futuras generaciones gocen de los mismos privilegios que la generación presente.
- La prosperidad: Velar que el progreso económico, social y tecnológico de los seres humanos se produzca de manera armónica con la naturaleza.
- La paz: «*Propiciar sociedades pacíficas, justas e inclusivas que estén libres del temor y la violencia*».
- Las alianzas: Fomentar el espíritu de solidaridad entre todos los países hacia los más pobres y vulnerables, formando una alianza mundial que ayude a implementar esta agenda.

(Asamblea General de las Naciones Unidas, 2015)

2.2.3. ¿Cuáles son los Objetivos de la Agenda 2030?

Los ODS (Objetivos de Desarrollo Sostenible) disponen de distintos enfoques para su aplicación y para que cada nación logre su desarrollo sostenible en función de sus circunstancias y prioridades. Los ODS son: (Asamblea General de las Naciones Unidas, 2015)

- **Objetivo 1.** Poner fin a la pobreza en todas sus formas y en todo el mundo.
- **Objetivo 2.** Poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria y la mejora de la nutrición y promover la agricultura.
- **Objetivo 3.** Garantizar una vida sana y promover el bienestar de todos a todas edades.
- **Objetivo 4.** Garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos.



- **Objetivo 5.** Lograr la igualdad de género y empoderar a todas las mujeres y las niñas.
- **Objetivo 6.** Garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos.
- **Objetivo 7.** Garantizar el acceso a una energía asequible, fiable, sostenible y moderna para todos.
- **Objetivo 8.** Promover el crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, el empleo pleno y productivo y el trabajo decente para todos.
- **Objetivo 9.** Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible y fomentar la innovación.
- **Objetivo 10.** Reducir la desigualdad en los países y entre ellos.
- **Objetivo 11.** Lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles.
- **Objetivo 12.** Garantizar modalidades de consumo y producción sostenible
- **Objetivo 13.** Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos.
- **Objetivo 14.** Conservar y utilizar sosteniblemente los océanos, los mares y los recursos marinos para el desarrollo sostenible.
- **Objetivo 15.** Proteger, restablecer y promover el uso sostenible de los ecosistemas terrestres, gestionar sosteniblemente los bosques, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras y detener la pérdida de biodiversidad.
- **Objetivo 16.** Promover sociedades pacíficas e inclusivas para el desarrollo sostenible, facilitar el acceso a la justicia para todos y construir a todos los niveles instituciones eficaces e inclusivas que rindan cuentas.

- **Objetivo 17.** Fortalecer los medios de implementación y revitalizar la Alianza Mundial para el Desarrollo Sostenible. (Asamblea General de las Naciones Unidas, 2015)

Los ODS (Objetivos de Desarrollo Sostenible) y sus metas son de alcance mundial y su aplicación es universal, toman en cuenta la realidad y las capacidades que tiene cada nación para lograr las aspiraciones que expresa cada meta. Si bien estas aspiraciones son a nivel mundial, cada nación es libre de resolverlas e incorporarlas en sus procesos de planificación, sus políticas y estrategias nacionales. (Organización Internacional del Trabajo, 2017)

2.3. Cumplimiento de los ODS a través de la construcción sostenible

2.3.1. ¿La vivienda puede aportar al cumplimiento de los ODS?

La construcción de una vivienda sostenible tiene oportunidades de aportar al cumplimiento de todos los objetivos de la Agenda 2030, ya sea de manera colateral o directa. A continuación, se muestran los vínculos generales encontrados: (ONU-Habitat, 2018)

- **Objetivo 1. Poner fin a la pobreza:** El acceso a una vivienda garantiza que todas las personas tengan el mismo derecho a los recursos económicos y el acceso a los servicios básicos, reduciendo la vulnerabilidad a fenómenos climáticos.
- **Objetivo 2. Hambre cero:** La vivienda, al estar bien localizada, colabora con el acceso a una alimentación sana; además, si está dotada de los elementos suficientes para tener una buena salubridad alimentaria y de cocción contribuye de manera indirecta a la reducción de malnutrición.



- **Objetivo 3. Salud y Bienestar:** Si la vivienda cuenta con las instalaciones adecuadas como calefacción, ventilación, espacio suficiente, etc. contribuye a la reducción de muertes y enfermedades y bienestar mental y físico de sus ocupantes.
- **Objetivo 4. Educación de calidad:** La vivienda bien localizada favorece a la formación estudiantil con su cercanía a los centros educativos seguros, inclusivos y eficaces para todos.
- **Objetivo 5. Igualdad de género:** La vivienda sostenible revierte las desventajas históricas de la mujer en el acceso a la propiedad del suelo y de la vivienda. Al igual que nuevas acciones para que las mujeres puedan acceder al control de la tierra y otros bienes.
- **Objetivo 6. Agua limpia y saneamiento:** Una vivienda con buena localización e instalaciones adecuadas provisiona de agua y mejores servicios de saneamiento.
- **Objetivo 7. Energía asequible y no contaminante:** Una vivienda sostenible puede ayudar al uso eficiente de los recursos, al acceso universal de servicios energéticos asequibles, al aumento de energía renovable y a la mejora de la eficiencia energética.
- **Objetivo 8. Trabajo decente y crecimiento económico:** De manera indirecta la construcción de vivienda genera empleo, al igual que erradica el trabajo forzoso e infantil e impulsa la economía.
- **Objetivo 9. Industria, innovación e infraestructural:** Si se construye la vivienda de manera innovadora, sostenible y segura o con productos locales, se puede contribuir a la industria del sector. Al igual que al apoyo a la investigación, el uso de tecnología más limpia, la modernización y reconversión de las industrias hacia procesos más sostenibles.
- **Objetivo 10. Reducción de desigualdades:** La vivienda determina la igualdad y calidad de vida de las personas. El acceso a una vivienda puede contribuir a mejorar el ingreso de la población más pobre, promover la inclusión social, económica y política de las personas.
- **Objetivo 11. ciudades y comunidades sostenibles:** Una buena política de desarrollo urbano y ordenamiento territorial genera ciudades con espacios para la plena realización de los derechos humanos y el ejercicio de la ciudadanía, donde una vivienda sostenible es el motor de las ciudades y comunidades eficientes que contribuye indirectamente a garantizar el acceso a los servicios de transporte público, a las urbanizaciones inclusivas y a garantizar la preservación del patrimonio.
- **Objetivo 12. Producción y consumo responsable:** Las edificaciones sostenibles usan principios circulares, donde los recursos son aprovechados, Además, la construcción sostenible con productos locales favorece al uso eficiente de recursos naturales. También se aporta a la gestión de desechos derivados de esta actividad.
- **Objetivo 13. Acción por el clima:** La vivienda puede coadyuvar y reducir riesgos derivados del cambio climático, reducir la vulnerabilidad de comunidades y el uso eficiente de recursos.
- **Objetivo 14. Vida submarina:** Una vivienda localizada fuera de una zona de riesgo o de alto valor ecológico y con infraestructura hídrica y saneamiento adecuados reduce la contaminación de todo tipo.
- **Objetivo 15. Vida de ecosistemas terrestres:** La ubicación de viviendas dentro de zonas permitidas favorece la conservación de ecosistemas terrestres, agua dulce y gestión sostenible de bosques.
- **Objetivo 17. Alianzas para lograr los objetivos:** Una efectiva implementación de



las políticas de vivienda favorece indirectamente a la movilización de recursos internos con el fin de mejorar la capacidad nacional para recaudar ingresos fiscales y el desarrollo de tecnologías, logrando el aumento del apoyo internacional para respaldar todos los ODS. (ONU-Habitat, 2018)

2.3.2. Aporte de la investigación para el cumplimiento de los ODS

De los 17 ODS donde se demuestra su vinculación con la construcción en tierra se han definido tres objetivos que evidencian una vinculación directa con la vivienda construida en ese material sostenible: (Asamblea General de las Naciones Unidas, 2015).

- Objetivo 11: Lograr que las ciudades sean más inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles.
- Objetivo 12: Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles.
- Objetivo 13: Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos.

A continuación, se enuncia los indicadores y la metas a cumplir de cada objetivo escogido, información recopilada de la ONU (2019), con el fin de plantear soluciones relacionadas con la investigación para su cumplimiento. (ONU, 2019)

Objetivo 11.

Lograr que las ciudades sean más inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles.

Las ciudades ocupan solo el 3% de la tierra y representan aproximadamente el 60% de la PIB mundial. Sin embargo, también representan alrededor del 75 % de las emisiones de carbono mundiales y más del 60 % del uso de recursos. (ONU, 2019)

Metas Relacionadas.

“META 11.1 De aquí a 2030, asegurar el acceso de todas las personas a viviendas y servicios básicos adecuados, seguros y asequibles y mejorar los barrios marginales.” (ONU, 2019)

“META 11.5 De aquí a 2030, reducir significativamente el número de muertes causadas por los desastres, incluidos los relacionados con el agua, y de personas afectadas por ellos, y reducir considerablemente las pérdidas económicas directas provocadas por los desastres en comparación con el producto interno bruto mundial, haciendo especial hincapié en la protección de los pobres y las personas en situaciones de vulnerabilidad.” (ONU, 2019)

“META 11.6 De aquí a 2030, reducir el impacto ambiental negativo per cápita de las ciudades, incluso prestando especial atención a la calidad del aire y la gestión de los desechos municipales y de otro tipo.” (ONU, 2019)

“META 11.b De aquí a 2020, aumentar considerablemente el número de ciudades y asentamientos humanos que adoptan e implementan políticas y planes integrados para promover la inclusión, el uso eficiente de los recursos, la mitigación del cambio climático y la adaptación a él y la resiliencia ante los desastres, y desarrollar y poner en práctica, en consonancia con el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030, la gestión integral de los riesgos de desastre a todos los niveles.” (ONU, 2019)

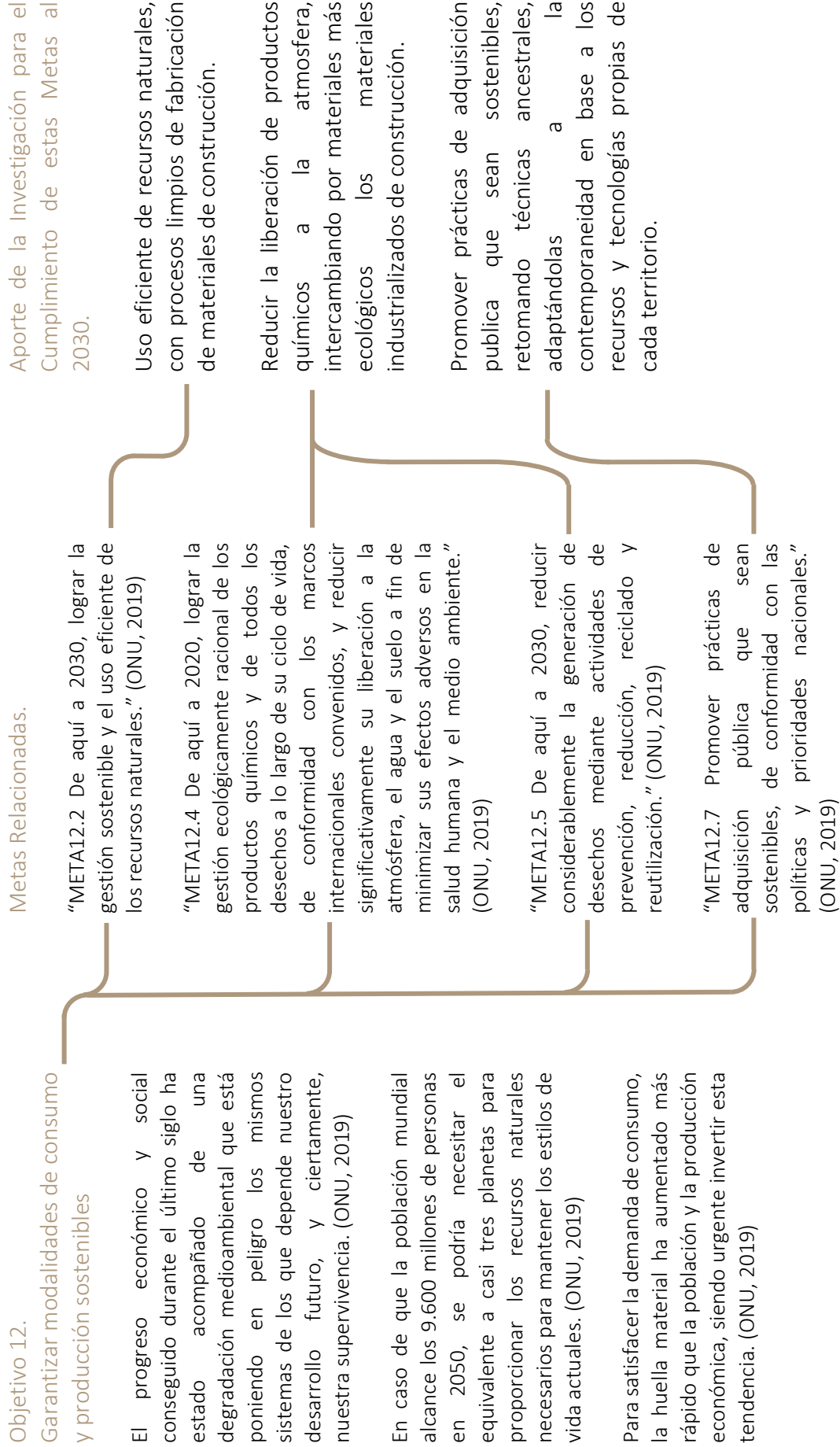
Aporte de la Investigación para el Cumplimiento de estas Metas al 2030.

Asegurar el acceso a una vivienda en los barrios marginales al otorgar la oportunidad de que la parte interesada genere sus propios materiales constructivos con sus propios recursos del lugar.

Reducir las pérdidas humanas y económicas provocadas por desastres naturales como inundaciones o terremotos, mediante el acceso libre a la información sobre cómo mejorar la resistencia mecánica y la disminución de absorción de humedad en el elemento constructivo Adobe.

Reducir el impacto ambiental negativo per cápita de los ciudadanos, con la reducción de desechos al ser reutilizables los escombros del sistema constructivo con adobe.

Promover el uso eficiente de recursos y mitigación del cambio climático con el uso del Adobe, material amigable con medio ambiente que ha demostrado ayudar al manejo de recursos, gracias a sus componentes naturales reciclables con poco o nulo impacto ambiental y que además es de fácil acceso tanto en zonas urbanas como rurales del país.





Aporte de la Investigación para el cumplimiento de estas metas al 2030.

Mejorar y sensibilizar sobre la mitigación del cambio climático, reduciendo sus efectos con el uso de materiales sostenibles, reutilizables y de mínima huella de carbono como es el adobe.

Metas Relacionadas.

META 13.3 Mejorar la educación, la sensibilización y la capacidad humana e institucional respecto de la mitigación del cambio climático, la adaptación a él, la reducción de sus efectos y la alerta temprana . (ONU, 2019)

Objetivo 13. Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos.

El cambio climático está afectando a todos los países de todos los continentes.

Está alterando las economías nacionales y afectando a distintas vidas. Los sistemas meteorológicos están cambiando, los niveles del mar están subiendo y los fenómenos meteorológicos son cada vez más extremos. El 2019 fue el segundo año más caluroso de todos los tiempos y marcó el final de la década más calurosa (2010-2019) que se haya registrado jamás. En este mismo año los niveles de dióxido de carbono (CO2) y de otros gases de efecto invernadero en la atmósfera aumentaron hasta niveles récord. (ONU, 2019)



2.3.3. El desarrollo sostenible en la construcción

En los últimos años, el desarrollo sostenible ha pasado de ser un tema de preocupación para unos pocos, a ser una necesidad que debe ser asumida de forma responsable en cualquier proceso donde el valor del medio ambiente se vea afectado. Sin embargo, como se mencionó anteriormente, la sostenibilidad va más allá de reducir los impactos visuales, las emisiones o la sobreexplotación de los recursos naturales, puesto que nada de esto tiene ningún valor si no se hace algo para reducir la pobreza, el hambre y reducir la marginación social de los colectivos más débiles. (Mata Cabrera, 2010)

La construcción como actividad es de gran relevancia social y económica; sin embargo, genera un sin número de impactos y contaminación del medio ambiente. Con el fin de cambiar este enfoque nace el concepto de arquitectura sostenible, la cual indaga en la búsqueda de materiales de mínimo impacto ambiental, de origen natural o procedente de residuos; esto con el fin de dar un uso eficiente de dichos materiales manteniendo un equilibrio entre lo ecológico, lo económico y lo social. (Mata Cabrera, 2010)

2.3.4. Cómo un material se define como sostenible

La arquitectura sostenible hace especial referencia a la elección acertada de los materiales para la construcción; es decir, materiales que para su producción tengan la menor carga de energía que a la par sean reciclables y con una vida larga. Para esto Mata Cabrera (2010) recomienda tomar en cuenta lo siguiente: (Mata Cabrera, 2010)

- Usar materiales naturales, ya sea de forma directa o incorporándolos en los morteros o conformando compuestos diversos.

- La reutilización de materiales y subproductos de otros sectores.
 - Reciclar de residuos de demoliciones.
 - Utilizar recursos de la zona donde se va a construir
 - Usar materiales de fácil regeneración.
- (Mata Cabrera, 2010)

2.3.5. La tierra como material sostenible

En este caso la tierra, a menos que sea mezclada con otros materiales que afecten sus características, es totalmente reciclable y al no ser un combustible no se descompone, no tiene daños por insectos y es perfecta para trabajar con otros materiales de origen natural como la madera. (Carazas, 2020).

La construcción en tierra se caracteriza por ser un material que va ligado a los saberes ancestrales, la cultura y las tradiciones; esto permite que el estudio de la construcción en tierra sea más relevante para los pueblos que lo consideran aún un material relevante. (Carazas, 2020).

Si bien la construcción en tierra está relacionada con el desarrollo social y los saberes ancestrales, ésta puede tener también propuestas de uso para la arquitectura contemporánea. Carazas, menciona ejemplos en su artículo titulado: «¿Por qué construir con tierra? Una arquitectura sostenible con un material de bajo impacto ambiental para mitigar el cambio climático global» publicado en el 2020, tales como: la capilla de la reconciliación en Alemania de Martín Rauhs, en EEUU; proyectos del estudio de Rick Joy, en Francia; las casas de isle d'abeau de Jourda & Perraudin, en México; y las propuestas de Mauricio da Rocha.



Ilustración 1. Capilla de reconciliación de Martín Rauhs, Alemania. bauhandwerk.de, s.f.



Ilustración 2. Le Domaine de terre - Isle d'Abeau. CRATerre - ENSAG/ Architecte Jourda & Perraudin, 2014.

Lamentablemente, la tierra como material de construcción abundante hoy cada vez es más desconocido, los saberes ancestrales que eran transmitidos de generación en generación han sufrido una ruptura en esa transmisión generando paulatinamente la pérdida de su memoria y con ello su olvido. Este proceso generado por la inserción de nuevos materiales industrializados como el acero, aluminio, cemento, ladrillo, entre otros, ha desvalorizado el uso de la tierra, provocando que actualmente sea mínima la transmisión de conocimientos sobre su uso. (Carazas, 2020)

2.4. La Construcción en tierra mitiga las necesidades de la zona rural

2.4.1. Necesidad del uso de la tierra en la vivienda en la zona rural del Ecuador

El Ecuador define a la zona urbana o rural de acuerdo a consideraciones demográficas, donde se conoce como zona rural a la distribución espacial de la población que cuenta con una densidad baja y dispersa, que reside en centros de menor tamaño ubicadas en la periferia de las capitales provinciales y cabeceras cantonales, mientras que la zona urbana es el área dentro del perímetro de la ciudad capital o cabecera cantonal o que pertenece al territorio jurisdiccional de las parroquias urbanas.

De acuerdo al último censo poblacional del 2010 (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2015), el Ecuador cuenta con una población total de 14'483.449 habitantes, de los cuales alrededor del 62,7% viven en zonas urbanas y un 37,3% en la zona rural.

Datos estadísticos del mismo censo evidencian la diferencia social entre la zona urbana y rural, incluyendo datos como: (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2015)

- De los 5'392.713 habitantes de zonas rurales el 30.3% vive en pobreza y el 42,4% en extrema pobreza, siendo niños y jóvenes el 41% de los pobres y el 48,5% de los extremadamente pobres
- El Ecuador confirma en el censo del 2010 que aproximadamente 2,8 millones de ciudadanos, alrededor de 729.291 hogares, están localizados en asentamientos precarios e irregulares. De estos 224.988 se encuentran en zonas rurales amanzanadas. (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2015)



En ciertas provincias del Ecuador, en el período 2015- 2018, se ha mostrado una involución en el cumplimiento de los ODs., específicamente en la reducción de la tasa de pobreza, siendo Chimborazo, Esmeraldas y Orellana las provincias que muestran un regazo importante.

Ya específicamente en la provincia del Azuay, en el cantón Cuenca, existen 505.585 habitantes, de los cuales un 65,6 % vive en la zona urbana y un 34,4% en la zona rural. En los estudios realizados en la tesis titulada «*Análisis económico de la industria de la construcción residencial y su impacto en la generación de empleo en el cantón Cuenca, periodo: 2001 - 2012*» realizada por Pablo Andrés Reyes (2015), a partir del censo poblacional del 2010, determina el déficit cualitativo en las viviendas según el tipo de material utilizado para la fabricación de la mismas, donde se realiza un análisis tanto en materiales de paredes exteriores, como materiales de pisos y techos o cubiertas. En los resultados de materiales de paredes exteriores de tierra, se calcula en la zona urbana un 10,73% y en la zona rural un 37,81%, mostrando que las técnicas de construcción con tierra siguen siendo utilizadas en la actualidad. (Reyes, 2015)

2.4.2. Aporte de la arquitectura en tierra para el desarrollo sostenible

Como se conoce, el desarrollo sostenible se logra con el equilibrio entre el medio social, económico y ambiental. Si este equilibrio es alcanzado habrá un desarrollo humano, desarrollo económico y disponibilidad de recursos. (Aguirre, Avila, & Pesántez, 2017)

En el estudio «Arquitectura Tradicional de Cuenca, Recuperación y Alternativa Sustentable en la Contemporaneidad, 2017» se presenta cómo la arquitectura en tierra aporta al desarrollo sostenible desde las tres perspectivas: (Aguirre et al., 2017)

Medio económico:

- Utilizar materiales de la región.
- Contrata mano de obra local.
- Uso correcto de metros cuadrados.
- Mantenimiento sencillo de los materiales.
- Material con poca o nula envoltura que produce contaminación.
- Promover la colocación de materiales en seco para que en una posible demolición sea posible la reutilización.
- Lograr eficiencia energética. (Aguirre et al., 2017)

Medio Social:

- Respeto de uso de costumbres locales.
- Conservación de identidad arquitectónica.
- Preferir materiales locales para favorecer el desarrollo de la industria local. (Aguirre et al., 2017)

Medio Ambiental:

- Reduce la contaminación generada por transporte y empaque de insumos proveniente de distancias lejanas.
- Interrelacionar con la naturaleza
- Material fácilmente reciclable y reutilizable.
- Materiales locales que permiten evitar la producción de CO2.
- Menor cantidad de desechos y residuos. (Aguirre et al., 2017)

Como consecuencia de lo expuesto se evidencia el aporte de la construcción en tierra en el desarrollo sostenible de cada territorio.

2.4.3. La construcción en tierra como solución para la zona rural

La construcción con técnicas de tierra puede ser la solución para los problemas actuales de vivienda en las zonas rurales del Ecuador, debido a:

- La necesidad de vivienda es en zonas de acceso dificultoso y alejado de la zona comercial. La tierra, al ser un material que se puede encontrar en cualquier lugar, es el material más adecuado para construir en



zonas rurales; sin descartar la posibilidad de su uso en zonas urbanas.

- Al ser un material de fácil construcción y mantenimiento sencillo, las alternativas constructivas con tierra son propicias para la vivienda rural o para pequeñas comunas, pues se puede capacitar a vecinos en la construcción de viviendas o fabricación de los materiales.
- Al estar las zonas rurales ubicadas en áreas dispersas o espacios abiertos más ecológicos, la construcción con tierra permite mitigar el impacto ambiental interrelacionándose mejor con la naturaleza del contexto, con eficiencia energética y emisiones de carbono mínimas.
- Debido a las características térmicas del adobe, confiere confort a las viviendas, lo cual, apoya al cuidado de adulto mayor en la zona rural.
- Técnicas como el tapial y el adobe utilizan muros portantes, por lo que no se necesita transportar materiales industrializados al lugar de la construcción.
- La posibilidad de reutilización de los materiales permite construir viviendas con la capacidad de ampliación según las necesidades de sus ocupantes, sin generar grandes gastos.
- La construcción con materiales estéticamente agradables, propios del lugar, contribuye a otorgar características formales y estéticas que se vinculan con su identidad, contribuyendo a mejorar la calidad ambiental y de vida de sus ocupantes.
- Sobre todo, si la materia prima es extraída del propio terreno (cuando existe movimientos de tierra y se dispone de grandes cantidades) o del entorno de donde se realiza la construcción, la reducción de costos de transporte y materiales de construcción es significativa.





-
- 3.1 El adobe como sistema de construcción tradicional
 - 3.2 El Adobe como material estructural
 - 3.3 Elaboración de adobe tradicional
 - 3.4 Hacia la optimización del adobe

CAPÍTULO

Adobe y sus componentes





Capítulo 3. El adobe y sus componentes

La Real Academia de la Lengua (Asociación de Academias de la Lengua Española, 2014) define al elemento constructivo ADOBE, como una «masa de barro mezclado a veces con paja, moldeada en forma de ladrillos y secada al aire, que se emplea en la construcción de paredes o muros».

El adobe forma parte de los sistemas constructivos que utilizan la tierra como su material principal, el mismo que, al ser un elemento básico de construcción puede formar componentes elementales como muros y cubiertas. (C. Neves, Borges Faria, & Proterra, 2011)

Tradicionalmente, en este sistema constructivo solíanse hacer muros de carga, pero su baja difusión y la incorporación de materiales de fácil industrialización con mejores capacidades portantes ocasionaron que el adobe cambie su uso a muro de relleno.

3.1. El adobe como sistema de construcción tradicional

3.1.1. Contextualización y breve historia de la evolución del sistema constructivo

La evidencia arqueológica muestra que el hombre nómada se refugia en las cavernas hasta llegar a establecer la primera vivienda construida por sí mismo. Parte del proceso evolutivo del hombre es la creación de la vivienda, espacio donde habita el núcleo familiar, satisface sus necesidades básicas y se protege de su mundo exterior. En busca de adaptarse al medio y solucionar los climas peculiares de cada lugar, el hombre ancestral aprovecha los recursos que tiene al alcance y

edifica viviendas vernáculas para sí mismo y para su comunidad.(Garcés Basantes, 2017)

El hombre encuentra a la tierra como material útil para la construcción de viviendas y la toma como materia prima; inicia el proceso de fabricación de elementos constructivos con sus propias manos, con diferentes formas como: esferas, conos, cilindros y paralelepípedos. (C. Neves et al., 2011)

La forma de fabricación de las viviendas cambia con el descubrimiento de moldes de madera, técnica que data de alrededor de 8 mil años, dando como resultado nuevos materiales como el adobe, bloques con formas rectangulares los cuales resultaron un avance tecnológico para la construcción. (C. Neves et al., 2011)

Ejemplos del uso del adobe en el mundo se puede evidenciar en ciudades enteras y asentamientos grandes como: Mesopotamia, Cretas, Egipto, Medio Oriente y el Suroeste Asiático. En diferentes partes existen grandes



Ilustración 3. Catal huyuk. Gillermo Cso de los Cobos, 30 de junio 2019.



Ilustración 4. Graneros de Ramsés II. Foro Egipto, 2007.



vestigios tales como: Catal Huyuk de Turquía con ocho mil años de edad; Ganj- Dareh de Irán, de siete mil años antes de Cristo; Uruck (ciudad de los sumerios) con cuatro mil ochocientos años, o Egipto en los graneros de Ramses II de cuatro mil quinientos años. (C. Neves et al., 2011)

Dirigiendo la mirada hacia Latinoamérica, la construcción en tierra se ha utilizado en edificaciones muy antiguas como son: la Huaca del sol y la luna en Trujillo- Perú, pertenecientes a la Época Mochica. Construcción realizada con bloques de adobe que contenía una pirámide de una dimensión de 228 x 136m en la base y 41m de altura. También se encuentra Chan – Chan, la ciudad más importante para la historia del continente, una de las más extensas de Perú, que con sus 20km² está conformada por viviendas construidas en adobe combinado con el bahareque y bajorrelieves de tierra. (Guzman & Iñiguez, 2015).

Asimismo, en la ciudad de Caral, ubicada a doscientos kilómetros de Lima, se dio una compleja sociedad que se desarrolló entre los años 3000 y 1800 A.C, que presenta arquitectura variada, dominada por siete pirámides, cada una con sus edificaciones de vivienda o rituales que utilizaba la técnica constructiva en tierra denominada «Shicra», tecnología de más de 5.000 años que demostró soportar movimientos sísmicos. Se trata de una especie de malla rellena de piedras, grandes y pequeñas, que se colocan como base de las viviendas. (García, 2004).

Ecuador - Provincia De Azuay.

En el Ecuador, el proceso de desarrollo de la vivienda se vincula con la espiritualidad y las costumbres de sus habitantes. El hombre edifica de acuerdo a su forma de vida y a su cosmovisión andina, realizando viviendas con

bases de reciprocidad y equilibrio con la naturaleza. (Garcés Basantes, 2017).

Al contar con distintas regiones se genera una diversidad de sistemas constructivos en el territorio ecuatoriano, tales como viviendas de tierra, caña guadúa, piedra, paja, hojas, etc., creando una abrupta cantidad de conocimiento y habilidades concebidas a través de la experiencia. Gracias al continuo intercambio de productos entre las regiones del Ecuador se manipulan los distintos materiales, útiles para el mejoramiento tecnológico e innovación permitiendo la evolución de la vivienda vernácula y encontrando respuesta a problemas de adaptación y necesidades. (Garcés Basantes, 2017)

La tecnología tradicional está compuesta de siete procesos constructivos relacionados con la cosmovisión andina que son: cimentación, sobre cimienta, estructura, paredes, cubierta, revoques, puertas y ventanas. Todos realizados con los recursos encontrados en el propio sitio donde se implanta la vivienda. (Garcés Basantes, 2017)

En la zona que actualmente se encuentra Azuay y Cañar, en el período final del Formativo, las sociedades agro-alfareras se ubicaban en las colinas a lo largo de las rutas comerciales, como en el: Cerro Narrío, Pirincay, Putushio y Chaulabamba. Ya en la fase del Desarrollo Regional (500 a.C – 500 d.C) pasaron a denominarse Tacalshapa. Se conoce poco de su arquitectura, solo se sabe que se enterraba en tumbas de pozo y cámara. (Pesántes & González, 2010).

Posterior a esto inicia la cultura cañari, alrededor del 500 d.C. Se destaca un escaso desarrollo de la arquitectura monumental por su descentralización política. (Pesántes & González, 2010).



Para edificar los cañaris utilizaban piedras rústicas retiradas del río, unidas por medio de una masa de tierra o lobo preparado sin ningún artificio. En la zona interandina las paredes eran de adobe, al que sabían darle consistencia, mezclado y amasado el barro con paja. Las viviendas eran policromadas, dado por la existencia de tierras color en toda la zona. (Pesántes & González, 2010)

La forma de la casa variaba en los distintos pueblos, unas circulares, otras cuadrangulares y los cañaris hacíanlas de forma elíptica o al menos así eran las de sus jefes. Los techos eran de palos amarrados con sogas de cabuya, dándole forma cónica o piramidal, recubierto de paja. Contaban con chimeneas, pero sin ventanas y con maderas muy delgadas como puertas, unidas por cuerdas o bejucos de ciertas plantas. En otros, las puertas eran una manta o un cuero. También se encuentra una acertada orientación de las casas para evitar vientos fuertes, incluso construían parte la casa dentro de la tierra para que estuviese abrigada en zonas muy frías. (Pesántes & González, 2010)

Con la búsqueda de la expansión del territorio inca del Perú, Topa Inca Yupanqui, a mediados del siglo XV, se traslada al norte y conquista a los cañaris, anexándolos a la actual sierra ecuatoriana. Se ejerce un poder administrativo y de control mediante una red vial, llamada Qhapac Ñan, bien comunicada y organizada para mantener el dominio y crear alianzas. (Pesántes & González, 2010).

El pueblo inca utilizaba como principales materiales de construcción la piedra y la tierra, materiales que se adaptan y responden de manera adecuada al clima y a las condiciones del terreno. En ciertas ocasiones se ocupaban ambos sistemas, la piedra para el primer piso y bloques de tierra para el segundo. Las piedras se utilizaban para la construcción de edificios

públicos, las cuales eran trabajadas de manera individual, de manera tal que cada piedra se encaje perfectamente con la contigua, mientras que, para las viviendas, las piedras eran de canto rodado que se superponían o se sujetaban por otras con respecto a las trabadas. (Pesántes & González, 2010)

La tierra es uno de los materiales de mayor difusión por las culturas aborígenes. La cultura inca utilizó la tierra entre las piedras como mortero, incluso la utilizó para la fabricación de adobes, usado por su fácil accesibilidad y su cualidad térmica. (Pesántes & González, 2010)

Luego de la llegada española, en 1532, se reforma todo el sistema económico, político, social y espiritual del pueblo. Se produce una imposición y superposición de tradiciones, costumbres, forma de construir y habitar. Ya en 1557 se fundó oficialmente Cuenca, por Gil Ramírez Dávalos, ocupando los espacios donde fue Guapdondelig (ciudad cañari) y Tomebamba (ciudad Inca) para construir las nuevas edificaciones españolas.

Entre los muchos cambios generados por la llegada de los españoles, se encuentra la congregación de los habitantes de las zonas rurales en poblados diseñados y fundados por los españoles, la creación de la ciudad de Cuenca en damero, tipología española, con viviendas construidas con materiales, estructura y diseño de los indígenas. (Pesántes & González, 2010)

El bahareque, el adobe, la madera y la piedra, fueron los materiales con los que se encontraron los conquistadores españoles, siendo técnicas familiares a las de Europa. Sin embargo, la cultura europea mejoró los métodos constructivos del nuevo mundo, con la incorporación de novedosos instrumentos y herramientas de trabajo. Se agregó técnicas como el tapial en cantones como Gualaceo y



Paute. El material más utilizado fue el adobe en la zona de Cañar, con mortero de killucaca, que posibilitaba un mejor secado y la variación del volumen del bloque. (Pesántes & González, 2010).

Además, la arquitectura española agregó materiales nuevos en la construcción, tales como la cal, el ladrillo y la teja. Se generaron nuevas soluciones estructurales y nuevas tradiciones, las cuales se fundieron con las ya existentes y se enriquecieron o reforzaron los saberes populares y técnicas vernáculas preexistentes. (Pesántes & González, 2010)

A medida que la ciudad avanzaba, los pobladores buscaban una mayor similitud a las viviendas europeas, abandonando la forma ovalada y pasando a ser cuadradas. También se incorporó el portal, el arco y la bóveda. Dado que en un inicio el diseño, la estructura y los materiales de las viviendas eran establecidos por los indígenas, la mayoría de construcciones eran de bahareque, pero a medida que se avanzaba se fue reemplazando esta técnica por adobe; esto se debe a que era más fácil conseguir los materiales y se requería menor exigencia en la técnica. El tapial fue poco usado pues se carecía del material adecuado. En cuanto a los pisos, para la parte baja de la vivienda se usaba la tierra apisonada, en edificaciones más importantes se podía utilizar amorillado de piedra, baldosa, huesos, ladrillo y en planta alta la madera. (Pesántes & González, 2010)

Ya para la época republicana, la construcción en tierra no tuvo mayores cambios a lo largo del siglo XIX y a principios del XX; pues si bien existía el ladrillo, éste aún no cobraba fuerza frente a las otras técnicas. Producto de la nueva economía y las necesidades, los cambios de estilos de vida derivaron la generación de espacios específicos para estos; el surgimiento de nuevas tipologías. Así se inicia la

arquitectura sin arquitectos, cuyos espacios responden a los hábitos de sus habitantes. Estos cambios se ven reflejados en las ciudades, mientras que en la zona rural se mantiene la forma de construir, únicamente incorporándose divisiones interiores en la vivienda. (Pesántes & González, 2010)

Con la llegada de la ola económica en la región, por la exportación de la quinina y la paja toquilla a Europa, se recibe influencia francesa generando transformaciones externas en las viviendas. El ladrillo toma fuerza, al ser utilizado para la fachada de las viviendas, sobrepuesto en las paredes de adobe o bahareque. Las técnicas constructivas en tierra van siendo desplazadas por la construcción en ladrillo, que es asociado con el progreso y la modernidad. Mientras las viviendas del centro aumentan la incorporación de elementos decorativos como latón, papel tapiz, balcones importados para demostrar su estatus social; en las zonas periféricas se mantienen las viviendas de origen humilde, sencillas y simples. (Pesántes & González, 2010)

La evolución del lugar generó una mixtura de saberes mediterráneos, africanos y andinos que se convierten en una tradición de origen milenario, el cual ha dependido de su adaptación en el tiempo para permanecer hasta la actualidad. Su largo camino acumuló aciertos y desaciertos en las técnicas de construcción con tierra, especialmente el adobe, al ser la más difundida por su disponibilidad y por sus propiedades térmicas. (Pesántes & González, 2010)

Actualmente, el ladrillo y el bloque de concreto han desplazado el uso del adobe, viéndose únicamente utilizado en la conservación del patrimonio, lo cual ha permitido que perdure una cantidad significativa de obras del patrimonio oficial y vernáculo que están construidas con adobe, desde grandes



monumentos hasta viviendas menores, incentivando la investigación para conocer mejor al material, sus formas de construcción y la manera de mejorarlo a que cumpla con las necesidades de esta nueva generación, a fin de retomar su uso. (Pesántes & González, 2010)

3.2. El adobe como materia estructural

Los muros de adobe trabajan como un muro estructural; es decir, *«son paredes construidas a todo lo alto de la estructura, diseñadas para resistir fuerzas sísmicas en su propio plano, cuyo diseño proporcionará un comportamiento dúctil ante las cargas sísmicas»* (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda & Cámara de la Industria de la Construcción, 2015).

Por este motivo, es de cumplimiento obligatorio los requerimientos mínimos para un diseño sismo resistente de las estructuras que estén sujetos a efectos de terremotos. presentes en la *«Normativa Ecuatoriana de la Construcción, (2015)»*; donde se requiere que todos los muros absorban al menos el 75% de corte basal en cada dirección. El objetivo es evitar la pérdida de vidas a través de impedir el colapso de la estructura. (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda & Cámara de la Industria de la Construcción, 2015).

3.2.1. Propiedades del material

El adobe es considerado un material compósito, reforzado con fibra vegetal discontinua y orientada aleatoriamente.

Se define como material compósito a aquellos compuestos con al menos dos componentes o dos fases, con propiedades físicas claramente diferenciadas en su composición. Por separado, los compuestos conservan sus características, pero mezclados, forman un conjunto con propiedades imposibles de obtener en su unicidad.

Las propiedades de los materiales se pueden clasificar en cinco grupos: mecánicas, físicas, químicas, tecnológicas (especial para metales) y térmicas.

a. Propiedad mecánica

Se refiere a la propiedad más importante de los materiales de construcción. Fundamentalmente, las propiedades mecánicas de los elementos constructivos pueden ser de tres tipos: flexibilidad, tenacidad, elasticidad y dureza.

La flexibilidad es la capacidad que tiene el elemento para resistir determinados esfuerzos sin romperse.

La tenacidad es la resistencia que presenta un material a romperse cuando se golpea.

La elasticidad es la propiedad que le permite al elemento variar su forma sin quebrarse o cambiar de estado.

La dureza indica la cohesión del cuerpo y su resistencia a ser rayado o cortado por otro.

«Los muros son los elementos más importantes en la resistencia, estabilidad y comportamiento sísmico de la estructura de una edificación reforzada»,(Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2017); por lo tanto, **se deben realizar usando los criterios basados en la resistencia, estabilidad y desempeño.**

Los muros de adobe deben ser diseñados basados en la resistencia frente a la fuerza sísmica horizontal en su plano; basados en la estabilidad, respetando los límites de grosor, esbeltez vertical y esbeltez horizontal, altura máxima, distancia entre arriostres verticales y aberturas; basados en el desempeño, se debe colocar refuerzos en las conexiones, viga collar superior, dintel flexible y refuerzos



ortogonales en los muros.(Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2017)

Para comprobar la capacidad mecánica del bloque de adobe, al material se lo somete a esfuerzos de: compresión, tracción indirecta y flexión determinando su resistencia.

Resistencia a la tracción (kgf/cm²).

Es la capacidad de los materiales para resistir cargas que tienden a traccionar antes de llegar a la rotura. Estos esfuerzos se producen al alargar o estirar un material.

La resistencia a tracción indirecta o compresión diagonal provoca que el elemento fracase a cortante, permitiendo entender el comportamiento del muro frente a un evento sísmico, en la Norma Peruana E.080 con un requerimiento de resistencia mínima de 0,025MPa.

Resistencia al corte (kgf/cm²).

Es la capacidad para resistir cargas de cizallamiento o corte.

Resistencia a la compresión (kgf/cm²).

Se refiere como compresión a la tensión normal que tiende a acortar el material, también nominado como presión. El ensayo consiste en encontrar la resistencia a la compresión de los bloques de adobe ensayados tras 28 días de su fabricación.

El adobe tiene baja resistencia a la compresión, incluso en relación al Tapial y al BTC, otros sistemas de construcción en tierra, pues de acuerdo con distintos autores su resistencia oscila entre 3 y 21Kgf/cm². La resistencia mínima requerida por la norma peruana E0.80 es de 1MPa. (Cuitiño Rosales, Rotondaro, & Esteves, 2020)

Resistencia a la flexión kgf/cm²

La flexión es la fuerza aplicada sobre un cuerpo en el cual hay una parte que se está estirando y la opuesta que se está acortando, de tal forma que en sus secciones transversales está sometida principalmente a tensiones normales, de tracción en una parte y compresión en otra. Se refiere a la resistencia a la flexión pura del material perpendicular a la tabla (plano horizontal).

El adobe es un material poco flexible, con una resistencia a la flexión mínima, con un requerimiento de resistencia mínima de 0,025MPa según la Norma Peruana E.080, que conforme lo establece el Código de Construcción ecuatoriano, en la norma «Vivienda de hasta 2 pisos con luces hasta 5m, 2014», es la que se aplica en el país.

b. Propiedad física

La propiedad física es una característica de la materia que se manifiesta sin alterar su composición química. Estas propiedades se pueden encontrar de forma experimental, sin generar modificaciones en la estructural del material.

El conocimiento detallado de las propiedades físicas del adobe permite realizar modelos estructurales en elementos finitos para diagnóstico del sistema constructivo, útil para el diseño estructural en una rehabilitación o construcción nueva.

Se pueden conocer las propiedades físicas del adobe, tanto de sus componentes, como del elemento compuesto. Las principales características físicas estudiadas son: absorción, composición granulométrica, peso específico, contenido de materia orgánica, contenido de humedad y límites de consistencia.



La absorción es el valor de la absorción de humedad determinada mediante la diferencia entre las masas de las muestras antes y después de ser sumergidas en agua.

La composición granulométrica es el conjunto de operaciones que busca determinar el tamaño de los elementos que componen la muestra.

El peso específico es la relación que existe entre el volumen y el peso de una sustancia, donde el peso es la fuerza que ejerce el planeta para atraer los cuerpos.

El contenido de materia orgánica es la cantidad de residuos de plantas y materiales animales presentes en la muestra.

El contenido de humedad es la cantidad de agua contenida en un material; es decir, la relación entre la muestra con agua presente y la muestra seca.

El límite de consistencia, también llamado límite de Atterberg, se utiliza para la identificación y clasificación del suelo, al conocerlos en sus distintos estados, naturaleza y la cantidad de agua que contengan, que permite la determinación del límite de retracción, límite líquido, límite plástico, índice plástico, índice de liquidez, y humedad natural.

A diferencia de materiales industrializados, las características físicas del adobe tienen una gran variación entre elementos de distinta procedencia; por ejemplo, la composición granulométrica del barro puede variar incluso entre elementos de la misma cantera.

Por este motivo, la normativa peruana E0.80 recomienda realizar ensayos empíricos al suelo, para identificar que el material tenga las propiedades físicas necesarias para la fabricación de adobes.

c. Propiedad térmica

El adobe es un material de uso como envoltura total; es decir, sus propiedades térmicas afectan a la capacidad térmica de toda la edificación.

Esta propiedad trata de definir las características térmicas (referentes al calor) de los distintos materiales; es decir la capacidad que tiene un material de acumular o transmitir calor. Dichas capacidades se pueden definir como: densidad, calor específico y conductividad térmica, que se refiere al material. También está la transmitancia térmica, capacidad calórica, la inercia térmica y el retardo, que se refieren al elemento constructivo. Estas propiedades térmicas se indican en los siguientes apartados. (Cuitiño Rosales et al., 2020)

Propiedades térmicas referidas al material.

Densidad (kg/m³), es la masa por unidad de volumen del cuerpo. A mayor densidad el material tiene mayor conductividad térmica, a menor densidad es mejor su capacidad aislante. Cabe destacar que la densidad también afecta a las propiedades mecánicas. (Cuitiño Rosales et al., 2020).

La densidad del adobe es relativamente constante con respecto a otros materiales de muro; según los distintos autores varía entre los 1200 a 1600kg/m³. (Cuitiño Rosales et al., 2020).

- La densidad del adobe permite al material almacenar calor, por lo que balancea el clima interior, siendo efectivo para temperaturas variables. (Minke, 2005).

Conductividad térmica (W/mK) es la capacidad de ciertos materiales de transmitir calor, producido gracias a que el material al



calentarse aumenta su energía cinética; es decir, incrementa su agitación. Se determina la cantidad de calor que se transmite en una dirección, por unidad de tiempo y de superficie, cuando el gradiente de temperatura en esa dirección es unitario. (Cuitiño Rosales et al., 2020).

La conductividad térmica del adobe, según los distintos autores, varía entre 0,45 y 0,81 W/mK. (Cuitiño Rosales et al., 2020).

- El adobe tiene una buena capacidad aislante pues su correcta densidad es similar a la del ladrillo cocido; además, la conductividad térmica es baja, menor que el ladrillo, hormigón y BTC. (Cuitiño Rosales et al., 2020).

Propiedades térmicas referidas al elemento

Transmitancia térmica (W/m² K) es la cantidad de calor que transmite un elemento en estado regular, por metro cuadrado de superficie, por unidad de tiempo y por gradiente unitario de temperatura entre el ambiente exterior e interior. (Cuitiño Rosales et al., 2020).

La transmitancia térmica según los distintos autores se encuentra entre 2,23 a 2,89W/m²K. (Cuitiño Rosales et al., 2020).

Inercia térmica (W/mK) es la cantidad que tiene un elemento para absorber y acumular calor en las horas de sol, para luego liberarlo a fin de acondicionar el ambiente interior. Este proceso ayuda al confort térmico y reducir las variaciones de temperatura en el interior en relación con el exterior. Se produce tras un retraso en el tiempo para que se transfiera el calor de un lado al otro de la cara del muro. (Cuitiño Rosales et al., 2020)

El adobe retiene calor por alrededor de 9h; es decir, al recibir calor al medio día liberará la energía entre las 21h, logrando confort. (Cuitiño Rosales et al., 2020).

d. Propiedad química

Una propiedad química altera la estructura interna y molecular de una sustancia al interactuar con otra sustancia creando una nueva, este cambio en la materia es permanente o irreversible.

El adobe al ser un material compuesto, ha sufrido cambios químicos en su proceso de fabricación, los cuales han mejorado las propiedades mecánicas del mismo.

No se han encontrado muchos estudios en los que se consideren todas las propiedades químicas para la fabricación y análisis de los sistemas constructivos en adobe. La norma E0.80 sugiere un análisis de contenido de humedad y cantidad de materia orgánica en pruebas empíricas, excepto la composición por elemento químico la cual no es considerada.

Gracias a su composición química el barro del adobe preserva la madera y otros materiales orgánicos en contacto, en virtud de su bajo equilibrio de humedad, que ahuyenta insectos y hongos.



**3.2.2. Componentes del Adobe:
Características y Funciones**

El adobe tradicional, también conocido como bloque de tierra, es elemento constructivo compuesto por barro; es decir, tierra y agua, al cual desde la antigüedad se lo ha estabilizado con diferentes materiales dependiendo de la accesibilidad de la zona.

A continuación, se presenta información adicional sobre los componentes comunes del adobe, la tierra y el agua, quedando irresuelto la información sobre los estabilizantes hasta el *Capítulo 3.4.3.*

a. Suelo o Tierra.

La tierra es el material principal en la fabricación de los adobes, es el producto resultante de la erosión de las rocas de la corteza terrestre. La desintegración de las rocas provoca cambios en la forma y tamaño de las mismas a las cuales se llama intemperismo físico, la descomposición química de las rocas se denomina intemperismo químico. Según la forma de intemperismo y la naturaleza de la roca madre existen los diferentes tipos de suelo con características diferentes. (C. Neves et al., 2011)

El suelo está compuesto por distintas capas, conociendo como regolito a la capa de roca alterada o superficial y como saprolita a la capa

de nivel medio o roca podrida, la cual durante el período colonial brasileño fue material de construcción. Neves, muestra de forma esquemática las capas antes mencionadas, dando como resultado la formación del suelo. (C. Neves et al., 2011)

Al suelo se lo puede clasificar a través de sus propiedades físicas, químicas y mineralógicas, de acuerdo con los fundamentos de la ciencia de los materiales, ya sea en el campo de la Geología, mecánica de suelos y cimientos, agronomía, entre otras. Dependiendo de para qué se estudie al suelo, recibe diversas designaciones como: (C. M. M. Neves, Faria, Rotondaro, Cevallos, & Hoffmann, 2009).

- **Clasificación pedológica:** horizontes, superficial, subsuelo y roca madre.
- **Clasificación granulométrica:** Arenoso, arcilloso y limoso
- **Clasificación genética:** Suelo pedogenético, suelo saprolítico, suelo transportado.

Para la construcción, específicamente para la fabricación de adobes, se considera la clasificación que considere la granulometría.

La pedología se refiere a que un suelo bien desarrollado y completo se compone por distintas capas, a las que se denomina como horizontes principales; el grosor de las capas varía dependiendo del tipo de suelo, mostrado en la ilustración 5.

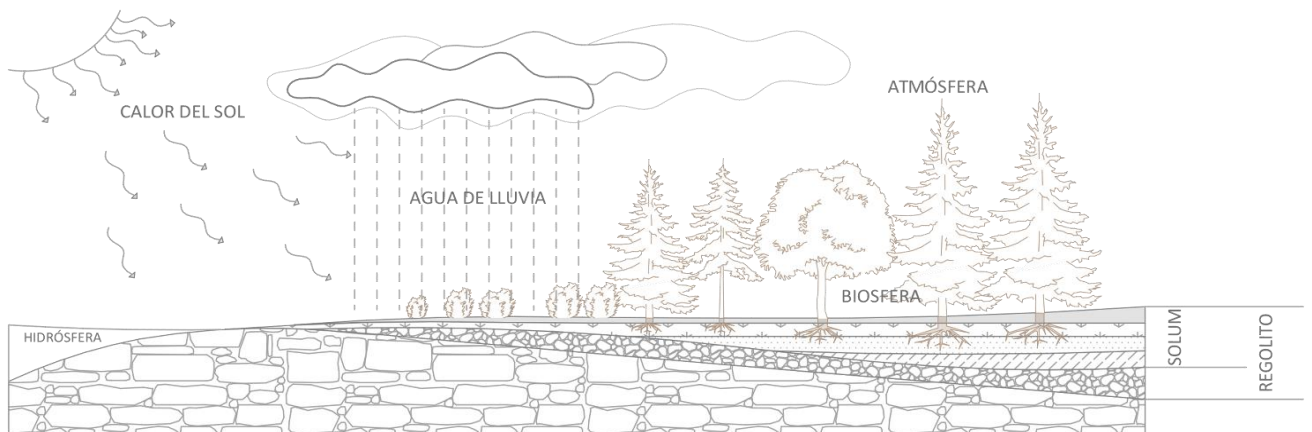


Ilustración 5. Formación del suelo. Neves et al., 2011.

Estas capas pueden ser descompuestas en subcapas. Cada subcapa contiene suelo con granulometría diferente. En la construcción con tierra se descarta la primera capa O; es decir la tierra orgánica, y a la capa A también se la puede descartar, mientras que se recomienda el uso de los horizontes E y B. (C. Neves et al., 2011)

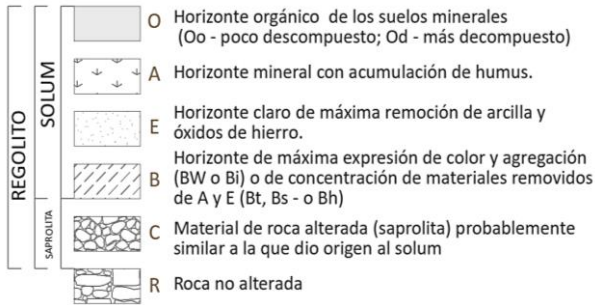


Ilustración 6. Formación del suelo. Neves et al., 2011.

Según Neves (2009), para la fabricación de adobes, aparte de la clasificación granulométrica del suelo, es importante el control en su ejecución; es decir, su humedad y grado de compactación; pero esto no significa que no se puedan ocupar todos los tipos de suelo, pues existen distintas formas de mejorarlos.

En cuanto a la clasificación granulométrica de los suelos, cada tipo se denomina según la partícula que tengan en mayor cantidad. Las principales partículas del suelo según su tamaño son: la grava, arena, limo y arcilla. El tamaño de las partículas se presenta en la siguiente tabla, al igual que sus características relevantes en la fabricación de adobes. (Duque & Escobar, 2016; Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2017).

La función principal de la tierra es otorgar al barro sus características físicas, mecánicas,

Nombre	Característica principal
Grava 2 ≤ d ≤ 20mm	Elemento inerte y resistente
Arena 0,06 ≤ d < 2mm	Inerte sin cohesión. No es plástica. No se retrae al secarse No es compresible o lo es muy poco La humedad la afecta poco o no la afecta Adicionado a suelo arcilloso disminuye fisuras en el proceso de secado, aumentando resistencia.
Limo 0,002 ≤ d < 0,06mm	Sin cohesión Disminuye la resistencia de la arena La resistencia seca es baja Desmenuzable con los dedos
Arcilla D < 0,002mm	Único material indispensable Fuerte cohesión Actúa como aglomerante Sin estabilidad volumétrica Se expande en presencia de agua Es plástica Muy comprensible Alta resistencia seca

Tabla 1. Características relevantes para la fabricación de Adobes. Benalcázar, M., Zeas, V., 2020.

térmicas y químicas, como: la plasticidad, la cohesión, la resistencia, la retracción, etc.

Finalmente, es prudente mencionar que, la cantidad de arena, arcilla, limo y grava en la tierra puede definir el sistema constructivo más adecuado para la misma, tema desarrollado en la «Tabla 4. Identificación de tipo de tierra, técnica recomendada y estabilizante masa apropiado Red Iberoamericana "PROTERRA¹", 2009». Por ejemplo, la tierra que tiene mayor cantidad de arena es propia para tapial.

¹PROTERRA, es una red internacional de integración y cooperación técnica y científica que actúa para el desarrollo de la arquitectura y construcción con tierra,

formada por profesionales y representantes de instituciones especialista en esta área.

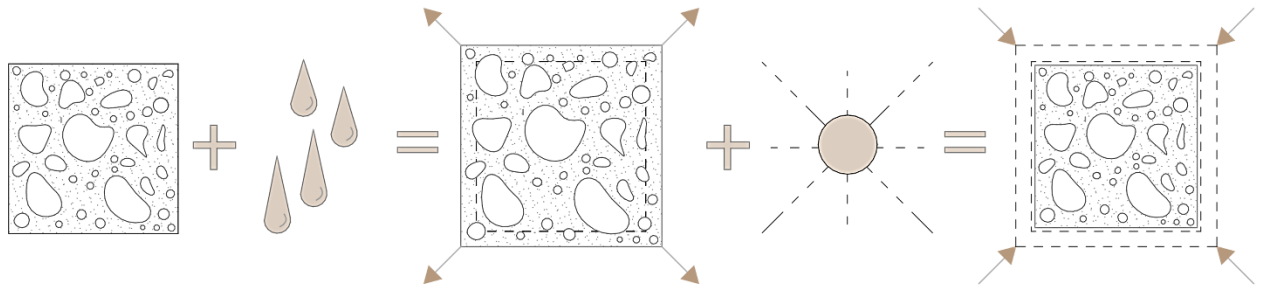


Ilustración 7. Expansión y Retracción del agua, Aguilar, E.D., Quezada, 2017

a. Agua

Se debe tener en cuenta que para la preparación del barro el agua es el segundo componente principal por el porcentaje que representa, encontrando en el barro los siguientes tipos: agua libre (estado líquido), agua cristalizada (agua estructural químicamente enlazada y distinguible, si el barro es calentado desde 400°C hasta 900°C), agua absorbida (agua eléctricamente enlazada a los minerales de la arcilla) y agua capilar (agua que entra a los poros).

El agua absorbida y el agua capilar es distinguible si el barro es calentado a 105°C. Por este motivo se debe tener en cuenta la cantidad de agua total contenida para la fabricación del adobe, la cual, no debe pasar del 20% del total del bloque. (Aguilar, E. D., y Quezada, 2017; Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2017)

La función principal del agua es permitir que se integren las partículas de la tierra y activar las fuerzas aglutinantes de la arcilla, dándole la plasticidad necesaria para la construcción de los adobes. También el exceso de agua hace que la arcilla se expanda y al secarse se retraiga provocando las fisuras características del adobe, demostrado en la ilustración 3. (Aguilar, E. D., y Quezada, 2017)

La cantidad de agua está determinada por la técnica constructiva para la que está destinado

el barro. Por ejemplo, para hacer tapial se requiere un barro con poca agua y plasticidad baja; para fabricar adobes, el barro debe tener plasticidad media y para el revoque barro con plasticidad alta y alto contenido de agua. (Aguilar, E. D., y Quezada, 2017).

Además, se debe considerar que el agua, indispensablemente debe ser libre de materia orgánica; es decir, pura, y no debe ser de mar.

3.2.3. Debilidades del material y sistema constructivo

En el documento «La construcción con tierra en el Ecuador y la necesidad de la Norma, (2015)», se muestra que las patologías de las construcciones con tierra, principalmente se encuentran en los procesos de elaboración de las viviendas, tanto en la implementación, cimentación, elaboración de los adobes, muros, esquinas, encuentros de paredes, vanos, diseño y construcción de cubierta y la mano de obra. (Cevallos Salas, 2015).

Problemas en el diseño:

- Presenta debilidad en su resistencia estructural cuando las luces de la vivienda son muy extensas, el grosor del muro es muy delgado o, si es muy grande la altura del muro. Por este motivo se recomienda que si se va a construir una edificación de más de un piso se debe mantener continuidad vertical en el diseño de la vivienda, para garantizar que se acumulen esfuerzos sísmicos en planta baja y evitar





pisos blandos. (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2017)

- Tiene una baja resistencia al agua, por lo que, para el diseño de edificaciones con muros de adobe se debe proteger a los mismos de la exposición directa al agua, ya sea, lluvia, agua potable, fluvial o de cualquier otro tipo.
- No se puede realizar un diseño exacto, adobe por adobe, pues las dimensiones de las unidades no son exactas, ya que varían hasta un centímetro, dependiendo de la retracción de la tierra en el momento de secado del elemento, generado por el uso de diferente cantidad de agua, por el uso de tierra de diferentes lugares, por factores como la humedad ambiental, etc.

Problemas en el proceso de fabricación:

- Los elementos al secarse pueden presentar fisuras, grietas, o bajas resistencias si es que no se conoce debidamente a la tierra con la que se está trabajando.
- Pese a que relativamente se pueden fabricar los adobes en cualquier lugar, es necesario contar con un espacio amplio, con cubierta preferentemente que otorgue sombra y un piletón donde dejar dormir el barro. Estos espacios deben ser accesibles para su control por varios días (Minke, 2005).

Problemas en el sistema constructivo:

- Al ser sistema de muros de mampostería estructural, la NEC (Normativa Ecuatoriana de Construcción) establece que por la capacidad portante no muy alta del material el adobe tradicional debe ocupar reforzamiento interno, ya sea de: caña, carrizo o madera, o debe utilizarse solo en zonas de sísmicas baja o media, o solo utilizarse como elemento no estructural, adecuadamente amarrado a la estructura.

(Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda & Cámara de la Industria de la Construcción, 2015).

- Se establece un coeficiente de reducción R máximo de 1,5 y un límite de altura de 2 pisos en los sistemas estructurales de muros portantes de adobe. (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda & Cámara de la Industria de la Construcción, 2015)

3.2.4. Normativa técnica en el Ecuador

Para el estudio propuesto, se analiza la Norma Ecuatoriana de la Construcción, «*Vivienda de hasta 2 pisos con luces hasta 5m, 2014*», en la cual, dentro del Marco Normativo se indica que para la construcción con adobe, tapial y quincha se debe usar la norma extranjera: «*NORMA E.080 Diseño y construcción con tierra reforzada, (2017)*», Perú.

En la NORMA E.80 referente a los bloques de adobe se encuentran los siguientes artículos: Artículo 17.- Condiciones de la tierra a utilizar; Artículo 18.- Calidad, preparación, formas y dimensiones del adobe; y Artículo 19.- Calidad, preparación y espesor del mortero. (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2017; NEC SE Vivienda, 2015)

Para los ensayos físicos y mecánicos de los especímenes de adobe se usa la ASTM Standard. American Association State Highway and Transportation Officials Standard AASHTO No. T 32-70. Designation: C67-03a. «*Standard Test Methods for Sampling and Testing Brick and Structural Clay Tile*».

Además, para complementar información se utilizan datos de la Red Iberoamericana PROTERRA, para el análisis de campo y de laboratorio de la tierra y métodos de selección y estabilización de la misma. Para lo cual, se utilizan los siguientes documentos: «Selección

de suelo y métodos de control de la tierra, (2009)» y «Técnicas de construcción con tierra, (2011)».

3.2.5. Conclusiones

El adobe es un material históricamente utilizado, el cual, mediante experiencias y conocimientos ancestrales, mejoró sus propiedades y fue desarrollándose exitosamente en la arquitectura vernácula del Ecuador y del mundo.

Las propiedades mecánicas del adobe son el principal problema para continuar con el mismo como material estructural. Una mejora en los componentes principales del adobe puede ayudar a incrementar su capacidad mecánica.

Las propiedades físicas y térmicas del adobe otorgan al material características ventajosas para su comercialización como para fomentar su uso en la construcción, pues demuestra su capacidad de adaptabilidad, calidad y accesibilidad.

El adobe es un material que presenta debilidades en su composición, fácilmente corregibles, y con alternativas económicas para su mejora. Sin embargo, en el Ecuador no existe una normativa específica para la construcción en tierra, lo cual imposibilita tener un adecuado control en la fabricación de estos elementos.

Al controlar los procesos de elaboración del adobe se pueden mejorar la calidad de las viviendas. Además, el adobe es un material con ventajas importantes para la necesidad sostenible del planeta.

3.3. Elaboración de adobe tradicional

3.3.1. Lugares de producción en la actualidad

En la zona del austro ecuatoriano, en la provincia del Azuay, existen varios lugares de producción de adobes, los cuales han venido produciendo desde hace varios años y otros han iniciado su producción debido a sus necesidades y al incremento de la demanda.

Se buscaron lugares de producción de adobes en la ciudad de Cuenca y se encontraron los siguientes:

Lugar de Producción 1.



Ilustración 8. Lugar de producción 1. MUESTRA 1. Benalcázar, M., Zeas, V., 2020.

- **Propietario:** Manuel Narvárez
- **Ubicación:** Comunidad de Sigcho, parroquia de Sinincay.
- **Tiempo de producción:** Produce adobes desde hace 30 años.
- **Materiales:** tierra y paja
- **Tierra:** Utiliza la tierra de su propio terreno.
- **Paja:** Se corta en pedazos de alrededor de 20cm
- **Producción:** En stock 80 adobes y trabajo bajo pedido.
- **Forma de trabajo:** El dueño, junto con sus 2 hijos, mezcla y moldea el mismo el barro.

Lugar de Producción 2.



Ilustración 9. Lugar de producción 2. MUESTRA 1.
Benalcázar, M., Zeas, V., 2020.

- **Propietario:** German Elías Contreras
- **Ubicación:** María Auxiliadora de Racar, parroquia de Sinincay.
- **Tiempo de producción:** Produce adobes desde hace más de 50 años.
- **Materiales:** tierra y paja
- **Tierra:** Compran la tierra y la trasladan en volquetas.
- **Paja:** Se corta en pedazos de alrededor de 30cm y se ocupa alrededor de dos pacas para fabricar 200 adobes.
- **Producción:** En stock 100 adobes, hasta acabar de vender. Se pueden producir 60 adobes al día.
- **Forma de trabajo:** El dueño mezcla y moldea por sí mismo el barro; únicamente si es necesario contrata un trabajador.

Lugar de Producción 3.



Ilustración 10. Test- Color de la tierra.
MUESTRA 1. Benalcázar, M., Zeas, V., 2020.

- **Nombre:** Gustavo Figueroa
- **Ubicación:** San Miguel de Putuzhi, parroquia Sayausí.
- **Tiempo de producción:** Produce adobes desde hace 3 años y la familia más de 30 años.
- **Tierra:** Compran la tierra y la trasladan en volquetas desde San Mateo.
- **Materiales:** tierra y paja.
- **Paja:** Se corta en pedazos de alrededor de 15cm.
- **Producción:** En stock 500 y trabajos bajo pedido.
- **Forma de trabajo:** Se mezcla el barro con la ayuda de caballos y se moldea con ayuda de trabajadores.

Estos son algunos de los varios lugares donde se producen adobes en la ciudad de Cuenca, en los cuales se evidencia el conocimiento ancestral, pero también, la falta de regularización del proceso de producción y calidad final de los productos para la venta.

3.3.2. Necesidades frente a exigencias urgentes

El presente estudio se enfoca en la zona rural de la provincia de Azuay- Ecuador, la cual tiene una peligrosidad sísmica alta, de acuerdo al factor z y a la curva de peligro sísmico del Ecuador.

En el país se han producido eventos sísmicos de mediana y baja intensidad. Estos han ocasionado daños en las viviendas, mayormente en las de la zona rural, sobretodo afectando a aquellas viviendas construidas en tierra que no fueron realizadas con procesos constructivos acertados.

Aunque la tecnología de construcción entre la zona rural y urbana del Ecuador es distinta, ambas tienen problemas al momento del uso de la tierra como material de construcción.



Además, de procesos deficientes, en el punto 2.4.1. se muestran índices de pobreza que afectan a los ecuatorianos, especialmente a la zona rural, provocados principalmente por la accesibilidad a viviendas de buena calidad y materiales óptimos para la construcción.

3.4. Hacia la optimización del adobe

Definido el objetivo y tomando en cuenta el punto 2.4.3. *La construcción en tierra como solución para la zona rural*, a continuación se procede a la parte práctica, describiendo los procesos a seguir, para conseguir un adobe óptimo con mejores capacidades que las encontradas en el adobe tradicional, enfocando dicha optimización en dos campos: el aumentar la resistencia y el disminuir su debilidad frente al agua, manteniendo las propiedades estéticas y el conocimiento ancestral positivo en este sistema constructivo.

Estos elementos con mejores propiedades, acompañados de una correcta disposición de los muros buscan generar un sistema constructivo que se comporte de mejor manera frente a cargas estructurales y a la acción del agua. Como procesos guías se tomarán los desarrollados por expertos reconocidos a nivel internacional y los publicados por PROTERRA².

3.4.1. Selección de la tierra

Para el proceso de selección, se realizan una serie de ensayos a la tierra, dirigidos para las personas no especializadas en el tema, pero no son necesarios todos los que se han desarrollado sino que se lo hacen para evidenciar las variedades de los mismos y que quedarían a criterio del fabricante el seleccionar los que son más adecuados a sus condiciones.

Para este proceso de selección se determinan tres momentos para la selección de la tierra.

Primero, se realiza una preselección con un análisis rápido denominados también ensayos preliminares de esta forma se puede tener una idea del tipo de cantera.

Segundo, se harán ensayos de campo que brindan información de las propiedades de la tierra con los cuales se puede escoger la tierra más adecuada; es decir, aquella con la que se pueda elaborar adobes sin realizar varias modificaciones a su composición o haciendo cambios mínimos.

Finalmente, se realizan los ensayos del laboratorio de la tierra, para corroborar la información de ciertas propiedades importantes obtenidas con los ensayos de campo y para encontrar datos para su estabilización y proceder a la fabricación de los adobes. (C. M. M. Neves, Faria, Rotondaro, Cevallos, & Hoffmann, 2009)

En particular para la investigación, se comparó tres zonas del cantón Cuenca- Ecuador, para realizar la preselección de la tierra, ubicados en:

- Muestra 1. Cumbe
- Muestra 2. Monay, vía a Paccha
- Muestra 3, Racar.
- Muestra 4. Sinincay

² La Red Iberoamericana de Arquitectura y Construcción con Tierra es una red internacional dedicada a la cooperación técnica y científica en el ámbito

iberoamericano, que reúne especialistas de diferentes países. <https://redproterra.org/es/acerca-de-proterra-2/>



PROCESO DE TOMA DE LA MUESTRA: Para estos ensayos se necesita alrededor de 30kg de tierra. Este proceso se puede desarrollar in situ. Para tomar la muestra de tierra para los ensayos se debe: (C. M. M. Neves et al., 2009)

- Colectar cuatro porciones de tierra, a 40cm mínimos de profundidad, y se la homogeniza en forma de cono cuidadosamente.
- Se divide el cono en cuatro partes, y se selecciona dos partes de los lados opuestos y los otros dos lados se descarta.
- Se repite los dos pasos hasta obtener la cantidad de tierra necesaria.

Con la muestra obtenida se procede a realizar los diferentes tipos de ensayos conforme se describe a continuación.

a. Ensayos rápidos táctico-visuales.

Tomando en consideración el documento «*Selección de suelo y métodos de control de tierra, (2009)*» de PROTERRA, que refiere el uso de los test rápidos para conocer si la tierra presenta las características necesarias para su uso en la construcción. (C. M. M. Neves et al., 2009)

Test visual

Utilidad de la prueba: Tamaño de las partículas

Tiempo de prueba: Aproximadamente 10 min.

Tamaño de muestra: 500 g de barro y esfera de barro del tamaño de la mano.

Referencia: NEVES, Célia Maria Martins; FARIA, Obede Borges; ROTONDARO, Rodolfo; CEVALLOS, Patricio S.; HOFFMANN, Márcio Vieira. (2009). *Selección de suelos y métodos de control en la construcción con tierra – prácticas de campo*

Modo de realización: Esparcir 500g de tierra seca en una superficie plana con las manos para separar las partículas.

Las partículas a simple vista son arena y grava, las más pequeñas que se ven más al fondo y más fino corresponden a limo y arcilla.

Si la cantidad de limo y arcilla es mayor al de arena y grava es tierra Limosa- Arcillosa, al contrario, es tierra arenosa (menos aconsejable para la construcción).

En el caso de ser arenosa coger un pequeño puño de tierra, humedecer, sin mucha agua, y apretar formando una esfera. Dejar secar al sol. Si la esfera se desintegra al secar, la tierra no es apropiada para la construcción sin ser modificada.

Resultados:

- La muestra 1, es Limosa- Arcillosa, «Buena para la construcción».
- La muestra 2, es arenosa, «Menos aconsejable para la construcción, es buena solo si es estabilizada».
- la muestra 3, es arenosa, «Menos aconsejable para la construcción, es buena solo si es estabilizada».
- La muestra 4, es Limosa- Arcillosa, «Buena para la construcción».



Ilustración 11. Test visual de la tierra, MUESTRA 1. Benalcázar, M., Zeas, V., 2020.



Ilustración 12. Test visual de la tierra, MUESTRA 2. Benalcázar, M., Zeas, V., 2020.



Ilustración 13. Test visual de la tierra, MUESTRA 3. Benalcázar, M., Zeas, V., 2020.



Ilustración 14. Test visual de la tierra, MUESTRA 4. Benalcázar, M., Zeas, V., 2020.



Ilustración 15. Test- Color de la tierra.
MUESTRA 1. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.



Ilustración 16. Test- Color de la tierra.
MUESTRA 2. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.



Ilustración 17. Test- Color de la tierra.
MUESTRA 3. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.



Ilustración 18. Test- Color de la tierra.
MUESTRA 4. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.

Test Color.

Utilidad de la prueba: Caracterización por color.

Tiempo de prueba: Aproximadamente 5 minutos.

Tamaño de muestra: 50 g de barro.

Referencia: NEVES, Célia Maria Martins; FARIA, Obede Borges; ROTONDARO, Rodolfo; CEVALLOS, Patricio S.; HOFFMANN, Márcio Vieira. (2009). *Selección de suelos y métodos de control en la construcción con tierra – prácticas de campo*

Modo de realización: Observar la tierra detenidamente: Si la tierra es de colores café oscuros, verde oliva o negro, el suelo es orgánico y no es útil para la construcción. Y si los colores son claros brillantes son suelos inorgánicos útiles.

Resultados:

- La muestra 1, es materia inorgánica, «Útil para la construcción».
- La muestra 2, es materia inorgánica, «Útil para la construcción».
- La muestra 3, es materia inorgánica, «Útil para la construcción».
- La muestra 4, es materia inorgánica, «Útil para la construcción».

Test tacto

Utilidad de la prueba: Caracterización por tacto

Tiempo de prueba: Aproximadamente 5 minutos

Tamaño de muestra: Porción de barro del tamaño de la mano

Referencia: NEVES, Célia Maria Martins; FARIA, Obede Borges; ROTONDARO, Rodolfo; CEVALLOS, Patricio S.; HOFFMANN, Márcio Vieira. (2009). *Selección de suelos y métodos de control en la construcción con tierra – prácticas de campo*

Modo de realización: Tomar una porción de tierra seca en las manos, restregándola con los dedos, sintiendo el tipo de partículas que contiene. Si la tierra es arenosa, raspa y, si es limosa- arcillosa, el limo cubre los dedos con partículas suaves como si fuera un talco. La tierra óptima debe contener ambas texturas.

Resultados:

- La muestra 1 tiene mayor cantidad de tierra limo-arcillosa con poca arena.
- La muestra 2 contiene mayor cantidad de arena y casi no muestra limo y arcilla.
- La muestra 3 tiene más arena, con poca cantidad de limo y arcilla.
- La muestra 4 contiene mayor cantidad de arcilla y grava, con poca arena.



Ilustración 19. Test - Tacto de la tierra. MUESTRA 1 Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.



Ilustración 20, Test - Tacto de la tierra. MUESTRA 2. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.



Ilustración 21. Test - Tacto de la tierra. MUESTRA 3. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.



Ilustración 22. Test - Tacto de la tierra. MUESTRA 4. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.





Ilustración 23. Test cantidad de arcilla.
MUESTRA 1. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.



Ilustración 24. Test cantidad de arcilla.
MUESTRA 2. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.



Ilustración 25. Test cantidad de arcilla.
MUESTRA 3. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.



Ilustración 26. Test cantidad de arcilla.
MUESTRA 4. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.

Test de Cantidad de Arcilla.

Utilidad de la prueba: Cantidad de arcilla

Tiempo de prueba: Aproximadamente 5 minutos.

Tamaño de muestra: Esfera de barro del tamaño de la mano

Referencia: NEVES, Célia Maria Martins; FARIA, Obede Borges; ROTONDARO, Rodolfo; CEVALLOS, Patricio S.; HOFFMANN, Márcio Vieira. (2009). *Selección de suelos y métodos de control en la construcción con tierra – prácticas de campo.*

Modo de realización: Para verificar la presencia de arcilla se debe tomar barro y humedecer. Formamos una esfera de barro, cuanto más fácil se forme, la esfera más contenido de arcilla presenta.

Resultados:

- La muestra 1 tiene mucho contenido de arcilla.
- La muestra 2 tiene poco contenido de Arcilla.
- La muestra 3 tiene regular contenido de arcilla.
- La muestra 4 tiene mucho contenido de arcilla.



Test brillo.

Utilidad de la prueba: Caracterización por brillo.

Tiempo de prueba: Aproximadamente 10min.

Tamaño de muestra: Esfera de barro del tamaño de la mano.

Referencia: NEVES, Célia Maria Martins; FARIA, Obede Borges; ROTONDARO, Rodolfo; CEVALLOS, Patricio S.; HOFFMANN, Márcio Vieira. (2009). *Selección de suelos y métodos de control en la construcción con tierra – prácticas de campo*

Modo de realización: Este test permite conocer la presencia de arcilla de la muestra a través del brillo, aunque es efectiva y en ocasiones se suele confundir con partículas de cuarzo y mica.

Tomar un poco de material fino y amasar con agua hasta formar una esfera compacta del tamaño de la mano; cortarla por la mitad y observar en la luz:

- Si las superficies son brillantes, la tierra es arenosa;
- Si la superficie presenta poco brillo, la tierra es limosa;
- Si la superficie es opaca, la tierra es arcillosa.

Resultados:

- La muestra 1, es arcillosa.
- La muestra 2, es arenosa.
- La muestra 3, es arenosa.
- La muestra 4, es arcillosa.

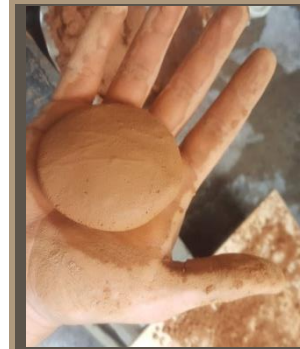


Ilustración 27. Test de brillo de la tierra. MUESTRA 1. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020



Ilustración 28. Test de brillo de la tierra. MUESTRA 1. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020



Ilustración 29. Test de brillo de la tierra. MUESTRA 2. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.



Ilustración 30. Test de brillo de la tierra. MUESTRA 2. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.



Ilustración 31. Test de brillo de la tierra. MUESTRA 3. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.



Ilustración 32. Test de brillo de la tierra. MUESTRA 3. Benalcázar, M., Zeas,2020.



Ilustración 33. Test de brillo de la tierra. MUESTRA 3. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.



Ilustración 34. Test de brillo de la tierra. MUESTRA 4. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.



Momento 1. Ensayos Rápidos – Resultados Generales.

De acuerdo a la siguiente tabla de la Red Iberoamericana PROTERRA (2009), se puede diferenciar el tipo de tierra de acuerdo a su aspecto táctil, visual y las características de cada una. (C. M. M. Neves et al., 2009)

Clase	Textura y apariencia del suelo
Arena	Textura granular. Se visualiza el tamaño de los granos. Fluye libremente si está seca.
Tierra arenosa	Textura granular, pero con suficiente limo y arcilla para observar su cohesión. Predominan las características de la arena.
Tierra limosa	Textura fina. Contiene una cantidad moderada de arena fina y una pequeña cantidad de arcilla. Ensucia los dedos como talco. En estado seco tiene una apariencia compacta. Pulveriza con facilidad.
Tierra arcillosa	Textura fina. Cuando está seca se fractura en pedazos resistentes. Cuando esta húmeda es muy plástica y se agarra en los dedos. Es difícil de pulverizar.
Tierra orgánica	Textura esponjosa. Olor a material orgánico, el cual aumenta al humedecer.

Tabla 2. Clasificación de suelos por textura y apariencia (Red Iberoamericana «PROTERRA», 2009).

Dado los resultados de todos los test de preselección táctil - visual de tierra se obtiene que:

- La muestra 1, es tierra arcillosa
- La muestra 2, es tierra arenosa
- La muestra 3, es tierra arenosa
- La muestra 2, es tierra arcillosa

Se continúa con los test de campo de la tierra, pues, los 4 tipos de tierra son útiles para la construcción.

b. Ensayos de campo de la tierra

En este segundo momento de selección de la tierra se realizan los ensayos de campo, con los cuales, finalmente, se escoge la tierra para realizar los adobes, la cual debe contener una mínima o nula necesidad de modificaciones en su granulometría para realizar con más facilidad el desarrollo de la investigación.

Test de contenido de arcilla

Utilidad de la prueba: Prueba de cinta de barro

Tiempo de prueba: Aproximadamente 5min.

Tamaño de muestra: Cilindro 12mm de barro.

Referencia: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, (2017). *NORMA E.080 Diseño y construcción con tierra reforzada*, Perú.

NEVES, Célia Maria Martins; FARIA, Obede Borges; ROTONDARO, Rodolfo; CEVALLOS, Patricio S.; HOFFMANN, Márcio Vieira. (2009). *Selección de suelos y métodos de control en la construcción con tierra – prácticas de campo*.

Modo de realización: Se toma una muestra de barro húmedo para hacer un cilindro de 12mm de diámetro en una mano, luego se aplana con los dedos pulgar e índice poco a poco, formando una cinta de unos 4mm de espesor y dejándolas descolgar lo más que se pueda.

- Si la cinta alcanza entre 20 a 25cm de longitud, el suelo es muy arcilloso, tierra de alta plasticidad.
- Si la cinta se corta a los 10cm o menos, el suelo tiene poca arcilla, la plasticidad es mediana o nula.
- Si la cinta se corta entre los 10 a 20cm, el suelo es arcilloso, tierra plástica buena para la construcción.

Resultados:

- La Muestra 1, mide 17cm, es decir, tiene mucho contenido de arcilla, de plasticidad alta.
- La Muestra 2, mide 9cm, es decir, tiene poco contenido de arcilla, la plasticidad es mediana o nula.
- La Muestra 3, mide 4cm, es decir, tiene poco contenido de arcilla, la plasticidad es casi nula
- La Muestra 4, mide 15cm, es decir, tiene mucho contenido de Arcilla, de plasticidad alta.



Ilustración 35. Test contenido de arcilla. MUESTRA 1. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.



Ilustración 36. Test contenido de arcilla. MUESTRA 2. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.



Ilustración 37. Test contenido de arcilla. MUESTRA 3. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.



Ilustración 38. Test contenido de arcilla. MUESTRA 4. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.



Ilustración 39. Test de resistencia Seca.
MUESTRA 1. Benalcázar, M., Zeas, V., 2020.



Ilustración 40. Test de resistencia Seca.
MUESTRA 2. Benalcázar, M., Zeas, V., 2020.



Ilustración 41. Test de resistencia Seca.
MUESTRA 3. Benalcázar, M., Zeas, V., 2020.



Ilustración 42. Test de resistencia Seca.
MUESTRA 4. Benalcázar, M., Zeas, V., 2020.

Resistencia seca

Utilidad de la prueba: Prueba cinta de barro

Tiempo de prueba: Aproximadamente 10min.

Tamaño de muestra: 8 esferas de barro de 2cm

Referencia: Ministerio de Vivienda, construcción y saneamiento, (2017). *NORMA E.080 Diseño y construcción con tierra reforzada*, Perú.

NEVES, Célia Maria Martins; FARIA, Obede Borges; ROTONDARO, Rodolfo; CEVALLOS, Patricio S.; HOFFMANN, Márcio Vieira. (2009). *Selección de suelos y métodos de control en la construcción con tierra – prácticas de campo*.

Modo de realización: Recoger una muestra de tierra necesaria para realizar cuatro esferas agregando una mínima cantidad de agua.

Se debe formar las esferas sobre la palma de la mano, con la cantidad de agua necesaria para que no se deforme a simple vista al secarse.

Una vez seco se debe presionar fuertemente cada esfera con el dedo pulgar e índice.

- Si una o más de las cuatro esferas se agrieta se debe repetir el ensayo.
- Si se vuelve a romper o quebrar alguna esfera, no sirve la cantera, sin antes modificarla.

En caso de que no se agriete ninguna esfera, se puede utilizar la cantera para la construcción.

Resultados:

- En la muestra 1 ninguna esfera se agrietó en el primer intento, por lo que, *la cantera contiene la cantidad necesaria de arcilla, y es útil para la construcción*.
- En la muestra 2 todas las esferas se agrietaron en ambos intentos, por lo que *la cantera no contiene la cantidad necesaria de arcilla y para su uso es necesario modificar su composición*.
- En la muestra 3 todas las esferas presentaron fisuras leves, por lo que *la cantera no contiene la cantidad necesaria*

de arcilla y para su uso es necesario modificar su composición.

- En la muestra 4, las esferas no se agrietaron por lo que *contiene la cantidad necesaria de arcilla y es útil para la construcción.*

Test de caída de esfera.

Utilidad de la prueba: Contenido de humedad
- Tipo de suelo

Tiempo de prueba: Aproximadamente 10min.

Tamaño de muestra: Esfera tamaño del puño.

Referencia: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, (2017). *NORMA E.080 Diseño y construcción con tierra reforzada*, Perú.

NEVES, Célia Maria Martins; FARIA, Obede Borges; ROTONDARO, Rodolfo; CEVALLOS, Patricio S.; HOFFMANN, Márcio Vieira. (2009). *Selección de suelos y métodos de control en la construcción con tierra – prácticas de campo.*

Modo de realización: Formar una esfera del tamaño del puño con la tierra, a la cual se le debe comprimir fuertemente. Soltar la esfera a el suelo desde una altura de 1,10m.

- Si la esfera se desintegra en el piso, el suelo es demasiado seco.
- Si la esfera se rompe en 5 o más pedazos, el contenido de humedad es el correcto.
- Si la esfera se aplasta sin desintegrarse, la humedad es muy alta.

También se puede conocer el tipo de suelo con este ensayo:

- Si la tierra se esparce disgregándose, la tierra es arenosa.
- Si se esparce menos y con mayor cohesión, la tierra es arcillosa.

Resultados:

- En la muestra 1 la esfera se aplasta sin desintegrarse; es decir, su humedad es alta, debido a esto, no se puede determinar el tipo de suelo según el esparcimiento de la tierra.



Ilustración 43. Test de caída de esfera.
MUESTRA 1. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.



Ilustración 44. Test de caída de esfera.
MUESTRA 2. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.



Ilustración 45. Test de caída de esfera.
MUESTRA 3. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.



Ilustración 46. Test de caída de esfera.
MUESTRA 4. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.



- En la muestra 2, la esfera se desintegró en el piso, por lo cual el suelo es demasiado seco. Al desintegrarse, se nota que la tierra es arenosa.
- En la muestra 3, la esfera se fisuró, por lo que la humedad del suelo es la correcta. No se desintegra.
- En la muestra 4, la esfera se aplastó sin desintegrarse, por lo cual el suelo es demasiado húmedo. No se desintegró.

Test de Vidrio

Utilidad de la prueba: Prueba de granulometría.

Tiempo de prueba: Aproximadamente 3h.

Tamaño de muestra: 1/3 de un recipiente de vidrio con barro.

Materiales y equipo: Sal y botella de vidrio con tapa.

Referencia: NEVES, Célia Maria Martins; FARIA, Obede Borges; ROTONDARO, Rodolfo; CEVALLOS, Patricio S.; HOFFMANN, Márcio Vieira. (2009). *Selección de suelos y métodos de control en la construcción con tierra – prácticas de campo*.

Modo de realización: Prueba de sedimentación para diferenciar los constituyentes de la tierra. Se traslada la botella a un lugar seguro, completamente limpia y se la mide para marcar su altura en tres partes iguales.

Se coloca una porción de tierra, seca y desmenuzada, en un envase de vidrio liso y transparente hasta el primer tercio.

Adicionar agua hasta la altura del segundo tercio, colocando una cucharadita de sal. La sal ayuda a que los elementos se separen.

Tapar el envase de vidrio y agitar vigorosamente la mezcla, para que se haga la dispersión del suelo en el agua.

Dejar reposar la mezcla una hora y volver a agitar.

Colocar el envase en un lugar de superficie horizontal y dejar reposar hasta que todos los componentes decanten. Cada componente decanta de manera diferente. La arena y la grava decantan primero por su peso, seguido el limo y por último la arcilla. Si el suelo contiene materia orgánica ésta flotará en el agua.

Cuando todo esté asentado, medir las alturas de las distintas capas.

Resultados:

- En la muestra 1, se encuentra un 25% de arena, 50% de arcilla y 25% de limo.
- En la muestra 2 se encuentra un 40% de arena, 40% de arcilla y 20% de limo.
- En la muestra 4 se encuentra un 60% de arena, 20% de arcilla y 20% de limo.
- En la muestra 3 se encuentra un 20% de arena, 50% de arcilla y 30% de limo.



Ilustración 47. Test del vidrio. MUESTRA 1. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.



Ilustración 48. Test del vidrio. MUESTRA 1. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.



Ilustración 49. Test del vidrio. MUESTRA 1. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.



Ilustración 50. Test del vidrio. MUESTRA 1. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.



Ilustración 51. Test del vidrio. MUESTRA 2. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.



Ilustración 52. Test del vidrio. MUESTRA 2. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.



Ilustración 53. Test del vidrio. MUESTRA 2. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.



Ilustración 54. Test del vidrio. MUESTRA 2. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.



Ilustración 55. Test del vidrio. MUESTRA 3. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.



Ilustración 56. Test del vidrio. MUESTRA 3. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.



Ilustración 57. Test del vidrio. MUESTRA 3. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.



Ilustración 58. Test del vidrio. MUESTRA 3. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.

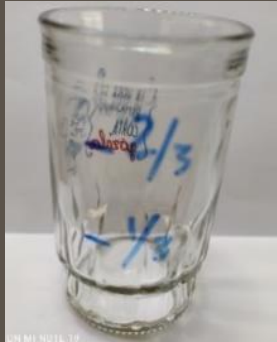


Ilustración 59. Test del vidrio. MUESTRA 4. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.



Ilustración 60. Test del vidrio. MUESTRA 4. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.



Ilustración 61. Test del vidrio. MUESTRA 4. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.

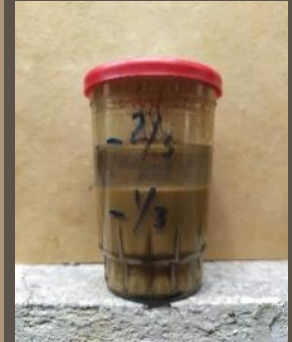


Ilustración 62. Test del vidrio. MUESTRA 4. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.



Ilustración 63. Test del rollo.
MUESTRA 1. Benalcázar, M.,
Zeas, V., 2020.



Ilustración 64. Test del rollo.
MUESTRA 1. Benalcázar, M.,
Zeas, V., 2020.



Ilustración 65. Test del rollo.
MUESTRA 2. Benalcázar, M.,
Zeas, V., 2020.



Ilustración 66. Test del rollo.
MUESTRA 2. Benalcázar, M.,
Zeas, V., 2020.



Ilustración 67. Test del rollo.
MUESTRA 3. Benalcázar, M.,
Zeas, V., 2020.



Ilustración 68. Test del rollo.
MUESTRA 3. Benalcázar, M.,
Zeas, V., 2020.



Ilustración 69. Test del rollo.
MUESTRA 4. Benalcázar, M.,
Zeas, V., 2020.



Ilustración 70. Test del rollo.
MUESTRA 4. Benalcázar, M.,
Zeas, V., 2020.

Test Rollo.

Utilidad de la prueba: Cantidad de arcilla.

Tiempo de prueba: Aproximadamente 10min.

Tamaño de muestra: Cilindro de 200 x 25 mm de barro.

Referencia: NEVES, Célia Maria Martins; FARIA, Obede Borges; ROTONDARO, Rodolfo; CEVALLOS, Patricio S.; HOFFMANN, Márcio Vieira. (2009). *Selección de suelos y métodos de control en la construcción con tierra – prácticas de campo.*

Modo de realización: Tomar una porción de tierra humedecida y amansar, deslizar sobre una superficie y formar un cilindro de barro de 200mm de largo x 25mm de diámetro.

Colocar el cordón en el borde de una mesa e ir moviéndolo hacia afuera; es decir, que se vaya saliendo, para que una parte del rollo quede en volado.

En función del largo del segmento que se rompió se tiene un indicio de la cantidad de arcilla ideal.

- Si se rompe el cordón con menos de 80mm no tiene suficiente arcilla.
- Si se rompe con un largo entre 80 y 120mm, la cantidad de arcilla es ideal.
- Y si se rompe con un diámetro mayor a 120 indica que tiene mucha arcilla.

Resultados:

- En el cilindro de la muestra 1, se rompe a los 10cm de estar descolgada; es decir, que su contenido de arcilla es ideal.
- En la muestra 2, se rompe a los 7cm de estar descolgada, determinando que falta arcilla en el barro.
- En la muestra 3, se rompe a los 7cm de estar descolgada; es decir, que falta arcilla en el barro.
- En la muestra 4, se rompe a los 13cm de estar descolgada, mostrando una cantidad alta de arcilla.



Exudación

Utilidad de la prueba: Plasticidad en función de la retención de agua.

Tiempo de prueba: Aproximadamente 10 minutos.

Tamaño de muestra: Una esfera del tamaño de la mano.

Referencia: NEVES, Célia Maria Martins; FARIA, Obede Borges; ROTONDARO, Rodolfo; CEVALLOS, Patricio S.; HOFFMANN, Márcio Vieira. (2009). *Selección de suelos y métodos de control en la construcción con tierra – prácticas de campo.*

Modo de realización: Se toma una porción de la tierra bastante húmeda y colocarla en la palma de la mano; hacer una esfera y golpear esta mano con la otra, de modo que se aplana y salga el agua a la superficie de la muestra dándole un aspecto liso. La evaluación es hecha de acuerdo con las indicaciones de la tabla.

Tipo de reacción	Efectos de la muestra	Clasificación e interpretación
Rápida 5-10 golpes	El agua aflora a la superficie de la muestra; la presión de los dedos hace al agua desaparecer inmediatamente y una presión más fuerte aplasta la torta.	Poca plasticidad. Arena fina inorgánica o limo grueso inorgánico, tierra arenosa o limosa.
Lenta 20-30 golpes	El agua aparece y desaparece lentamente; la presión de los dedos hace que la torta se deforme como una masa de caucho.	Limo ligeramente plástico o limo-arcilloso.
Muy lenta + de 30 golpes	No hay cambio notable.	Tierra de alta plasticidad. Arcilla

Tabla 3. Clasificación e interpretación de suelos por efecto de exudación. Red Iberoamericana «PROTERRA», 2009.

Resultados:

- Se encuentra que la esfera de barro de la muestra 1, a pesar de realizar muchos golpecitos no presenta grandes cambios o

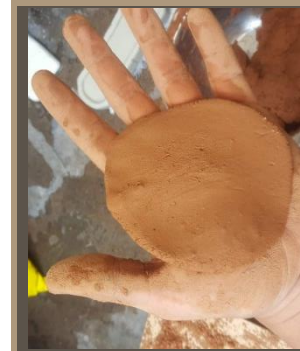


Ilustración 71. Test exudación de la tierra. MUESTRA 1. Benalcázar, M., Zeas, V., 2020.



Ilustración 72. Test exudación de la tierra. MUESTRA 1. Benalcázar, M., Zeas, V., 2020.



Ilustración 73. Test exudación de la tierra. MUESTRA 2. Benalcázar, M., Zeas, V., 2020.



Ilustración 74. Test exudación de la tierra. MUESTRA 2. Benalcázar, M., Zeas, V., 2020.



Ilustración 75. Test exudación de la tierra. MUESTRA 3. Benalcázar, M., Zeas, V., 2020.



Ilustración 76. Test exudación de la tierra. MUESTRA 3. Benalcázar, M., Zeas, V., 2020.



Ilustración 77. Test exudación de la tierra. MUESTRA 4. Benalcázar, M., Zeas, V., 2020.



Ilustración 78. Test exudación de la tierra. MUESTRA 4. Benalcázar, M., Zeas, V., 2020.



exudación; es decir, la tierra es muy plástica y arcillosa.

- La esfera de barro de la muestra 2 exudó de forma rápida, al realizar 8 golpes; es decir, la tierra es poco plástica, una arena fina inorgánica.

- La esfera de barro de la muestra 3 exudó al realizar 6 golpes; es decir, la tierra es poco plástica, una arena fina inorgánica.
- La esfera de barro de la muestra 4, a pesar de realizar más de 30 golpes no presenta exudación; es decir, la tierra es plástica y arcillosa.

Identificación	Test de cordón	Test de exudación	Test de resistencia seca	Técnica recomendada	Estabilizante más apropiado
Tierra arcillosa y tierra limosa					
Limo y limo arcilloso	Cordón frágil; no hace esfera	Reacción rápida a lenta, más no demasiado lenta	Poco a nula, generalmente nula	Apto para todo tipo de técnica, particularmente BTC	Cemento Portland; puede ser afectado por temperaturas bajas
Limo	Cordón blando de resistencia mediana; esfera muy frágil	Reacción lenta a nula	Poca a mediana	Evitar usar, si es necesario, adicionar aglomerante y revestir la superficie	Cemento Portland o emulsión asfáltica de baja viscosidad
Arcilla c/grava, arcilla arenosa y arcilla limosa	Cordón blando de resistencia mediana; esfera frágil, se fisura	Reacción muy lenta a nula	Mediana a grande	Apropiado para BTC y tapia; necesita aglomerante	Corregir granulometría / Usar impermeabilizante
Arcilla y arcilla plástica	Cordón duro; esfera no se fisura	Sin reacción	Grande	Apropiado para adobe y técnicas mixtas	Paja u otro tipo de fibras
Limo orgánico y arcilla limo orgánica	Cordón frágil y esponjoso: esfera esponjosa	Lenta	Poco a mediana	No usar	
Arcilla orgánica		Reacción muy lenta a nula	Mediana a grande		
Tierra arenosa					
Arena limosa	Cordón frágil, no hace la esfera	Reacción rápida	Poca o nula, generalmente nula	Apto para todo tipo, particularmente BTC: si tiene mucha arena, adicionar arcilla	Cemento Portland o cal, o los dos combinados. Corregir granulometría, si es necesario
Arena arcillosa	Cordón blando de resistencia mediana; esfera frágil	Reacción lenta a muy lenta	Mediana	Apto para todo tipo, particularmente BTC: si tiene mucha arena, adicionar arcilla	Cemento Portland o cal, o los dos combinados. Corregir granulometría, si es necesario
Arena	No funcionan estos test			No es apto	
Tierra con grava					
Grava limosa, mezcla de gravas, arena y limo	No hace el cordón	Rápida	Nula	Conveniente si la grava no es muy gruesa; usar para adobe y monolíticos	Cemento Portland, usar cal como impermeabilizante
Grava arcillosa, mezcla de gravas, arena y limo	No hace el cordón	Lenta, muy lenta	Mediana	Adobe y monolíticos	Cal, usar emulsión asfáltica como impermeabilizante
Grava	No funcionan estos test o estas pruebas			No es apto	

Tabla 4. Identificación de tipo de tierra, técnica recomendada y estabilizante masa apropiado Red Iberoamericana «PROTERRA», 2009.



Momento 2. Ensayos de Campo – Resultados Generales.

Con la siguiente tabla de la Red Iberoamericana PROTERRA (2009), con los resultados de los ensayos de campo, se puede ver cuál de las dos muestras de tierra es la más adecuada para hacer adobes

Se encuentra que:

- En las muestras 1 y 4, tierra arcilla y arcilla plástica son apropiada para adobe sin realizar modificaciones, utilizando como estabilizante paja u otro tipo de fibra.
- En la muestra 2 y 3 son tierras arenarcillosas, aptas para todo tipo de elementos constructivos, particularmente para BTC, y si es necesario, se debe corregir su granulometría y/ o estabilizar, ocupar cemento, cal o ambos.

c. Ensayos de laboratorio de la tierra.

Mediante los ensayos de laboratorio se busca corroborar los datos obtenidos de los ensayos de campo de la tierra. Estos ensayos son útiles para analizar adecuadamente los resultados y relacionarlos con los ensayos mecánicos, para poder generar conclusiones.

Únicamente se realizan los ensayos de laboratorio de la MUESTRA 3 y MUESTRA 4, pues son las más factibles para adquirir en grandes cantidades y utilizar para la producción de los adobes.

Granulometría.

Utilidad de la prueba: Determinación cuantitativa del tamaño de partículas del suelo, mayores a 75 µm.

Tiempo de prueba: Aproximadamente 2h.

Tamaño de muestra: 2.000gr de barro.

Materiales y equipo: Balanza sensible a 0,1g, tamices 4 - 8 - 16 - 30 - 50 - 100 - 200, cepillo, agitador de tamices mecánico y horno de

secado (capaz de mantener una temperatura de 105°C a 4°C).

Referencia: Das, Braja M., (2009). Sieve analysis. *Manual laboratorio suelos* (pp. 17-25). New York, Oxford.

NEVES, Célia Maria Martins; FARIA, Obede Borges; ROTONDARO, Rodolfo; CEVALLOS, Patricio S.; HOFFMANN, Márcio Vieira. (2009). *Selección de suelos y métodos de control en la construcción con tierra – prácticas de campo.*

Modo de realización: Se deben secar 2.000gr de tierra en el horno reduciéndolos al tamaño de partículas elementales.

Luego, pesar los tamices vacíos, tomar nota y ubicarlos sucesivamente de mayor a menor, para posteriormente verter los 2.000g de tierra. Trasladar al agitador de tamices mecánico, 5min en el de movimiento vertical y 5min en horizontal.

Se separan los tamices y se procede al pesaje de cada uno, restándole el peso de los tamices vacíos. Se realiza la curva granulométrica para obtener cantidad de grava, arena y finos.

Resultados:

Muestra 3

Porcentajes de tipo de tierra muestra 3:

- Grava: 4,86%
- Arena gruesa: 44,05%
- Arena fina: 43,69%
- Finos: 6,34%

Se comprueba que la muestra 3 es suelo arenarcillosa.

Muestra 4

Porcentajes de tipo de tierra muestra 4:

- Grava: 10,04%
- Arena gruesa: 25,63%
- Arena fina: 40,26%
- Finos: 23,97%

Se comprueba que la muestra 4 es suelo con contenido alto de arcilla.



Ilustración 79. Ensayo de granulometría, proceso de Secado. MUESTRA 3. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.



Ilustración 80. Ensayo de granulometría. Pesaje de masa retenida en cada tamiz. MUESTRA 4. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.



Ilustración 81. Ensayo de granulometría. Pesaje de masa retenida en cada tamiz. MUESTRA 3. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.



Ilustración 82. Ensayo de granulometría. Pesaje de masa retenida en cada tamiz. MUESTRA 4. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.



Ilustración 83. Ensayo de granulometría. Limpieza de tamices. MUESTRA 3. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.



Ilustración 84. Ensayo de granulometría. Limpieza de tamices. MUESTRA 4. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.



Ilustración 85. Ensayo de granulometría. MUESTRA 3. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.



Ilustración 86. Ensayo de granulometría. MUESTRA 4. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.

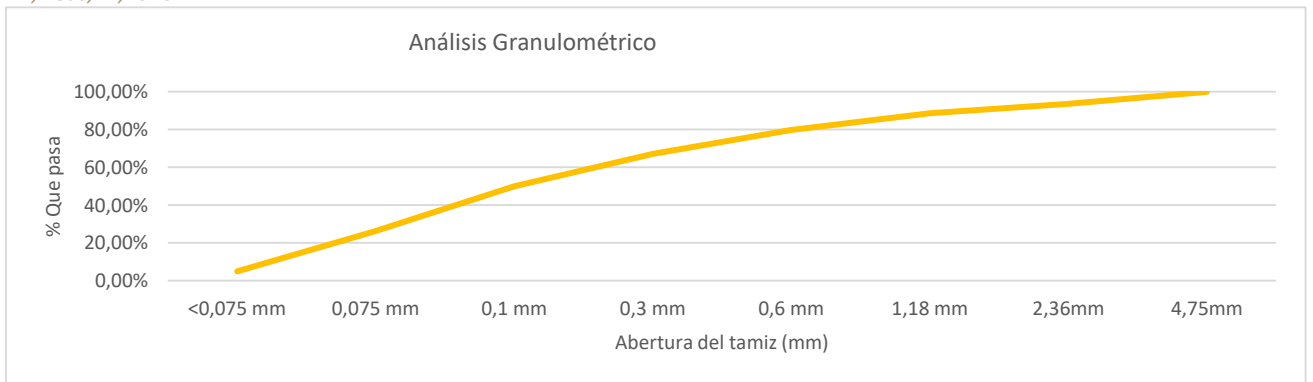


MUESTRA 3 TIPO	TAMIZ		Masa de tierra retenida en cada tamiz	% de masa retenida en cada tamiz	% acumulado retenido	% más fino
	#	Abertura en mm				
GRAVA	4	4,75mm	0,0972	4,86%	4,86%	95,14%
ARENA GRUESA	8	2,36mm	0,4299	21,50%	26,36%	73,65%
	16	1,18 mm	0,4709	23,55%	49,90%	50,10%
ARENA FINA	30	0,6 mm	0,3455	17,28%	67,18%	32,83%
	50	0,3 mm	0,2543	12,72%	79,89%	20,11%
	100	0,1 mm	0,1744	8,72%	88,61%	11,39%
	200	0,075 mm	0,0993	4,97%	93,58%	6,43%
FINOS	Fondo	<0,075 mm	0,1268	6,34%	99,92%	0,09%
TOTAL			1,9983			

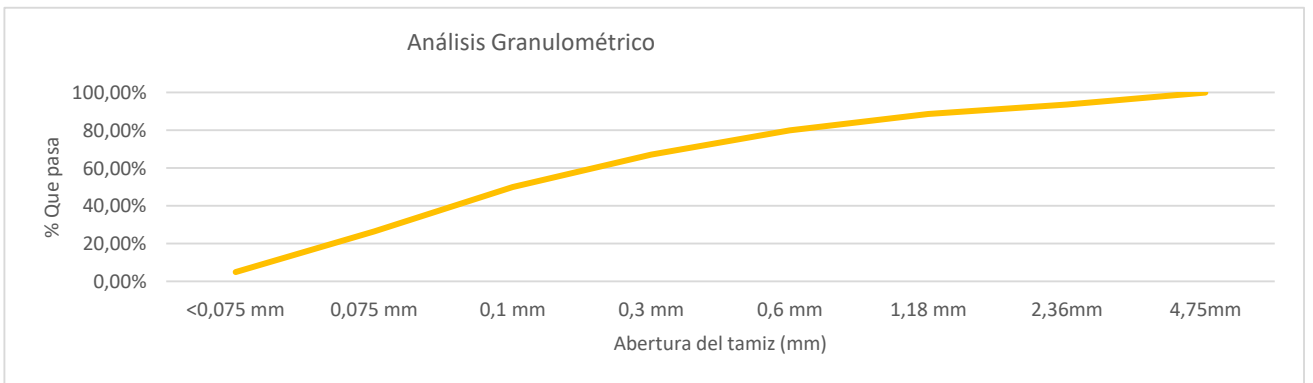
Tabla 5. Análisis granulométrico de la MUESTRA 3. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.

MUESTRA 4 TIPO	TAMIZ		Masa de tierra retenida en cada tamiz	% de masa retenida en cada tamiz	% acumulado retenido	% más fino
	#	Abertura en mm				
GRAVA	4	4,75mm	0,2008	10,04%	10,04%	89,96%
ARENA GRUESA	8	2,36mm	0,3041	15,21%	25,25%	74,76%
	16	1,18 mm	0,2083	10,42%	35,66%	64,34%
ARENA FINA	30	0,6 mm	0,221	11,05%	46,71%	53,29%
	50	0,3 mm	0,1414	7,07%	53,78%	46,22%
	100	0,1 mm	0,192	9,60%	63,38%	36,62%
	200	0,075 mm	0,2507	12,54%	75,92%	24,09%
FINOS	Fondo	<0,075 mm	0,4794	23,97%	99,89%	0,11%
TOTAL			1,9977			

Tabla 6. Análisis granulométrico de la MUESTRA 4. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.



Gráfica 1. Análisis granulométrico de la MUESTRA 3. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.



Gráfica 2. Análisis granulométrico de la MUESTRA 4. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020



Límite de liquidez y límite plástico

Utilidad de la prueba: Límite líquido, índice plástico, límite plástico, porcentaje de humedad.

Límite Líquido – Método de Casa Grande.

Tiempo de prueba: Aproximadamente 2h.

Tamaño de muestra: 250gr de tierra seca que pase el tamiz No.40

Materiales y equipo: Dispositivo mecánico, casa grande; acanalador, plato para mezclar, espátula, horno que mantenga 110°C, agua, tara, calibrador y recipiente con agua destilada.

Referencia: Norma NTE INEN 691: Mecánica de Suelos - Límite Líquido. Método de casa grande.(Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1982b)

NEVES, Célia Maria Martins; FARIA, Obede Borges; ROTONDARO, Rodolfo; CEVALLOS, Patricio S.; HOFFMANN, Márcio Vieira. (2009). *Selección de suelos y métodos de control en la construcción con tierra – prácticas de campo.*

Modo de realización: Tomar una muestra de 250g. del material que pase el tamiz No.40, a la cual se la añade agua destilada formando una pasta de suelo homogénea y densa, que sea fácil de moldear.

1. Se coloca la pasta en la copa de la casa grande, esparciéndola y nivelándola con la espátula de tal manera que tenga un espesor en sección de 10mm.
2. Con el acanalador se debe generar un canal en medio de la copa. Para evitar que se fisuren los lados se puede pasar el acanalador hasta 6 veces, incrementando su profundidad hasta tocar la base.
3. Colocar la copa en su dispositivo e iniciar los golpes, a una velocidad de 2 revoluciones por segundo, contando los golpes hasta que las dos mitades se unan a una distancia de 10mm y anotar.

4. Si el número de golpes está entre 35 y 45 continuar con el punto 5, y si no, secar o aumentar agua a la pasta, según lo necesario para que se cumpla y repetir el proceso desde el punto 1.

5. Del lugar donde se junta el canal tomar una porción de suelo de alrededor de 10g, colocarla en una tara, pesar y secar para la cantidad de agua.

Repetir los pasos hasta obtener 4 muestras, 2 superior a 25 golpes y dos inferiores a 25, mezclando en cada incremento de agua por lo menos 5 minutos.

Límite Plástico.

Tiempo de prueba: Aproximadamente 2 horas.

Tamaño de muestra: 100g. de tierra seca que pase el tamiz No.40

Materiales y equipo: Plato para mezclar, espátula, horno que mantenga 110°C, agua, tara, placa de rolado o superficie lisa, recipiente con agua destilada y calibrador.

Referencia: Norma NTE INEN 692: Mecánica de Suelos - Determinación del Límite Plástico.(Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1982a)

NEVES, Célia Maria Martins; FARIA, Obede Borges; ROTONDARO, Rodolfo; CEVALLOS, Patricio S.; HOFFMANN, Márcio Vieira. (2009). *Selección de suelos y métodos de control en la construcción con tierra – prácticas de campo.*

Modo de realización:

Tomar una muestra de 100g. del material que pase el tamiz No.40, a la cual se la añade agua destilada formando una pasta de suelo homogénea y densa, que sea fácil de moldear una esfera con los dedos.

1. Tomar 10g. de la muestra preparada y formar una esfera con las manos y amasar hasta que aparezcan pequeñas fisuras,



asegurándose que el suelo tienda un suficiente secado.

2. Rotar esta esfera entre las puntas de los dedos y la superficie plana, con una presión suficiente como para formar un rollo de 3mm
3. Este rollo de 3mm de diámetro se somete en 5 a 15 movimientos completos (hacia delante y hacia atrás) a una velocidad de 80 a 90 movimientos por minuto.
4. El rollo debe llegar a los 3mm con una fisura tanto longitudinal como transversalmente. Si llega entero, repetir el proceso. Si se rompe antes de los 3mm, aumentar agua y también repetir el proceso.
 Recoger las porciones desmenuzadas de los rollos, colocar en una tara y calcular el contenido de agua.
 Tomar 2 muestras más de modo que se hagan 3 determinaciones completamente separadas.

La muestra 3 obtiene:

- Límite líquido: 55
- Límite plástico: 25,48
- Índice plástico: 22,32

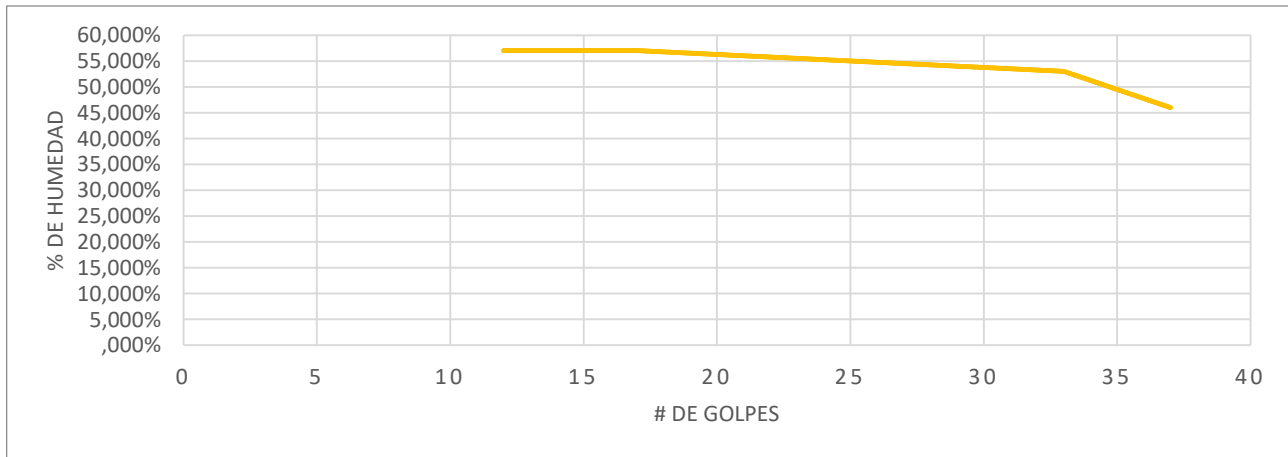
La muestra 4 obtiene:

- Límite líquido: 54
- Límite plástico: 31,68
- Índice plástico: 22,32

Resultados:

MUESTRA 3					MUESTRA 3				
Tara	1	2	3	4	Tara	1	2	3	
Nro. de golpes	37	33	17	12	Nro. de golpes	37	33	17	
Peso tara	8,80	8,10	9,10	8,50	Peso tara	7,07	7,06	7,14	
Peso tara + suelo húmedo (gr)	23,40	23,40	24,80	24,20	Peso tara + suelo húmedo (gr)	7,47	7,45	7,63	
Peso tara + muestra seca (gr)	18,80	18,10	19,10	18,50	Peso tara + muestra seca (gr)	7,39	7,37	7,53	
Peso del agua	4,60	5,30	5,70	5,70	Peso del agua	0,08	0,08	0,10	
Peso seco	10,00	10,00	10,00	10,00	Peso seco	0,32	0,31	0,39	
Contenido de humedad	46,00	53,00	57,00	57,00	Contenido de humedad	25,00	25,81	25,64	
LÍMITE LÍQUIDO				55,00	LÍMITE PLÁSTICO			25,48	
					ÍNDICE PLÁSTICO			29,52	

Tabla 7. Límite líquido, Límite plástico y Índice plástico de la muestra 3. Benalcázar, M., Zeas, V., 2020.

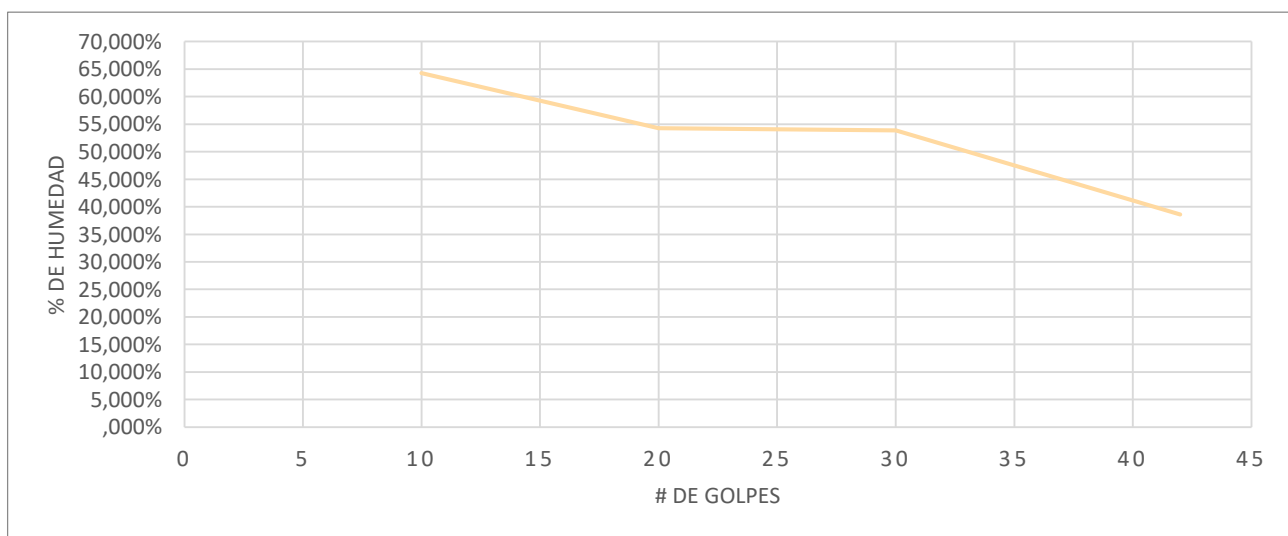


Gráfica 3. Límite líquido de la muestra 3.
Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.

MUESTRA 4				
Tara	1	2	3	4
Nro. de golpes	42	30	20	10
Peso tara	5,80	5,90	5,80	8,20
Peso tara + suelo húmedo (gr)	19,80	25,90	27,40	31,20
Peso tara + muestra seca (gr)	15,90	18,90	19,80	22,20
Peso del agua	3,90	7,00	7,60	9,00
Peso seco	10,10	13,00	14,00	14,00
Contenido de humedad	38,61	53,85	54,29	64,29
LÍMITE LÍQUIDO				54,00

MUESTRA 4			
Tara	1	2	3
Nro. de golpes	37	33	17
Peso tara	7,20	4,80	4,70
Peso tara + suelo húmedo (gr)	9,10	6,50	6,50
Peso tara + muestra seca (gr)	8,60	6,10	6,10
Peso del agua	0,50	0,40	0,40
Peso seco	1,40	1,30	1,40
Contenido de humedad	35,71	30,77	28,57
LÍMITE PLÁSTICO			31,68
ÍNDICE PLÁSTICO			22,32

Tabla 8. Límite líquido, Límite plástico y Índice plástico de la muestra 4. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.



Gráfica 4. Límite líquido de la muestra 4.
Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.



Ilustración 87. Ensayo de límite líquido. MUESTRA 4.
Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.



Ilustración 88. Ensayo de límite líquido. MUESTRA 3.
Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.



Ilustración 89. Ensayo de límite líquido. MUESTRA 4.
Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.



Ilustración 90. Ensayo de límite líquido. MUESTRA 3.
Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.



Ilustración 91. Ensayo de límite plástico. MUESTRA 4.
Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.



Ilustración 92. Ensayo de límite plástico. MUESTRA 3.
Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.



Ilustración 93. Ensayo de límite plástico. MUESTRA 4.
Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.



Ilustración 94. Ensayo de límite plástico. MUESTRA 3.
Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.



Rotura Mínima Compresión- Tierra.

Utilidad de la prueba: Ensayo de resistencia a la compresión de la tierra

Tiempo de prueba: Aproximadamente 1 hora - Después de 28 días de elaboración de los adobes.

Tamaño de muestra: 6 muestras de cubos de barro 10 x 10 x 10cm.

Materiales y equipo: Cofres de 10x10x10cm, bailejo, máquina universal de ensayos, deformímetro, regla, marcador, macilla.

Referencia: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, (2017). *NORMA E.080 Diseño y construcción con tierra reforzada*, Perú.

Modo de realización:

Los especímenes fabricados para el ensayo de compresión fueron regulados según especifica la Norma E 080; para esto se construyeron 3 cofres con capacidad de 4 especímenes de 10cm de arista. Cabe aclarar que existieron limitaciones en el uso del laboratorio por la pandemia, lo que no posibilitó la realización de ensayos con más variaciones en las dosificaciones.

Se utilizaron 3 dosificaciones, donde la primera solo contenía tierra, la segunda contenía cal al 8% y la tercera cal al 12%, como se observa en la *Ilustración 95*; esto se hizo para además de obtener la resistencia base de los especímenes, comparar el comportamiento de la cal con el barro en el presente ensayo.

Se debe tomar parte de la muestra de tierra previamente podrida. Luego colocar la muestra de tierra en los cofres acomodando correctamente. Igualar la superficie superior. Posteriormente, se debe esperar 1 día para desencofrar las 6 muestras. Se deja secar cubierto del sol y la lluvia y después de 28 días de secado de los dados se inicia el proceso de ensayo. Escoger las 4 mejores muestras para colocar en el equipo.

Como se observa en la *Ilustración 96*, para la ejecución del ensayo, se nivela con masilla automotriz la cara superior y la cara inferior de todos los cubos, esto se realiza con el fin de tener una correcta distribución de la carga al momento de iniciar el ensayo.

Se pesa en una balanza sensible a 0,5g y se mide cada muestra. Apoyar la muestra horizontal, de tal forma que la carga se aplique en la profundidad de la unidad. Se debe aplicar la carga a la superficie superior, a través de una placa de acero de espesor de al menos 6,35mm. Ajustar la carga para que ejerza una fuerza uniforme a compresión en todo el bloque, a una velocidad de no más de 1.27mm/min.

Luego de iniciar el proceso en la máquina general de ensayos, con la ayuda de un deformímetro, obtener los datos necesarios para calcular el esfuerzo, la deformación unitaria y posteriormente el módulo de elasticidad. Además, se toma una fotografía de la rotura de cada uno, procediendo a documentar en los anexos de la investigación.

Todas las muestras deben ser iguales o mayores a 1 MPa o 10,2kgf/cm² de resistencia última.

Finalmente, se realiza un análisis de cada tipo de adobe, determinando una resistencia promedio, para proceder a generar resultados y conclusiones.

Resultados:

Entre las muestras de cubos de tierra sometidos al ensayo de compresión de los especímenes solo de tierra (*Tabla 9*) se observa que los 4 especímenes obtienen un esfuerzo máximo que sobrepasa lo establecido en la Norma E 080 hasta por 1,045 MPa en el caso del espécimen 1D2 y por más de 0,8 MPa para el resto de especímenes.



Ilustración 95. Fabricación de cubos de 10cm de arista. Benalcázar, M., Zeas, V.,2001

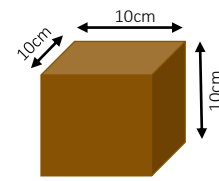


Ilustración 96. Rectificación de dados. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020

Con la *Gráfica 6* se observa el comportamiento de cada espécimen fabricados todos únicamente en tierra a lo largo del ensayo, apreciando que sobrepasan la barrera de 1MPa, impuesta por la Norma E 080, misma que se encuentra marcada en rojo y mostrando un comportamiento similar. Sin embargo, el espécimen 1D3, a pesar de alcanzar un esfuerzo máximo similar al resto, no tiene mucha capacidad de deformación experimentando su fractura a la mitad del recorrido de sus similares.

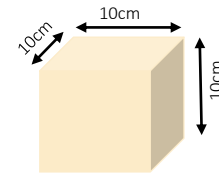
Por otra parte, los especímenes de la *Tabla 10* y *Tabla 11*, los que contienen cal en 8% y 12 % respectivamente, no superan los 0,9 MPa obteniendo una resistencia por debajo de lo establecido en la Norma E 080 que es de 1 MPa.

De igual manera, en la *Gráfica 7* y la *Gráfica 8* se muestra el comportamiento de los especímenes a lo largo del ensayo, aunque



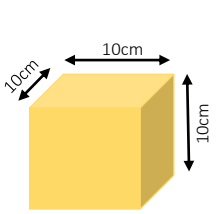
Código	Esfuerzo Max. (MPa)
1D1	1,941
1D2	2,045
1D3	1,835
1D4	1,862
Promedio	1,921

Tabla 9. Esfuerzo máximo promedio. (Solo tierra. Benalcázar, M., Zeas, V.,2021.



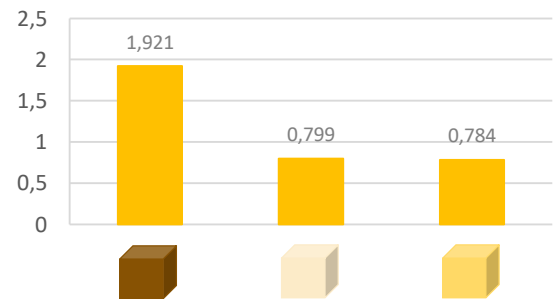
Código	Esfuerzo Max. (MPa)
1D1	0,869
1D2	0,704
1D3	0,787
1D4	0,835
Promedio	0,799

Tabla 10. Esfuerzo máximo promedio. (cal 8%). Benalcázar, M., Zeas, V.,2021.



Código	Esfuerzo Max. (MPa)
1D1	0,635
1D2	0,832
1D3	0,783
1D4	0,885
Promedio	0,784

Tabla 11. Esfuerzo máximo promedio. (cal 12%). Benalcázar, M., Zeas, V.,2021.



Gráfica 5. Comparación de resultados. (MPa). Benalcázar, M., Zeas, V.,2021

todos los especímenes mantienen un comportamiento similar, así como una tendencia horizontal que fracasa mucho antes de lo que establece la Norma E 080.

Con estos datos se establece el *Gráfico 5*, que es una comparativa entre el promedio de las muestras de la *Tabla 9*, *Tabla 10* y *Tabla 11*; dando los siguientes resultados: los especímenes conformados solo de tierra llegan a los 1,921 MPa superando con más de 1,1 MPa a los especímenes con cal los cuales no superan los 0,8 MPa.

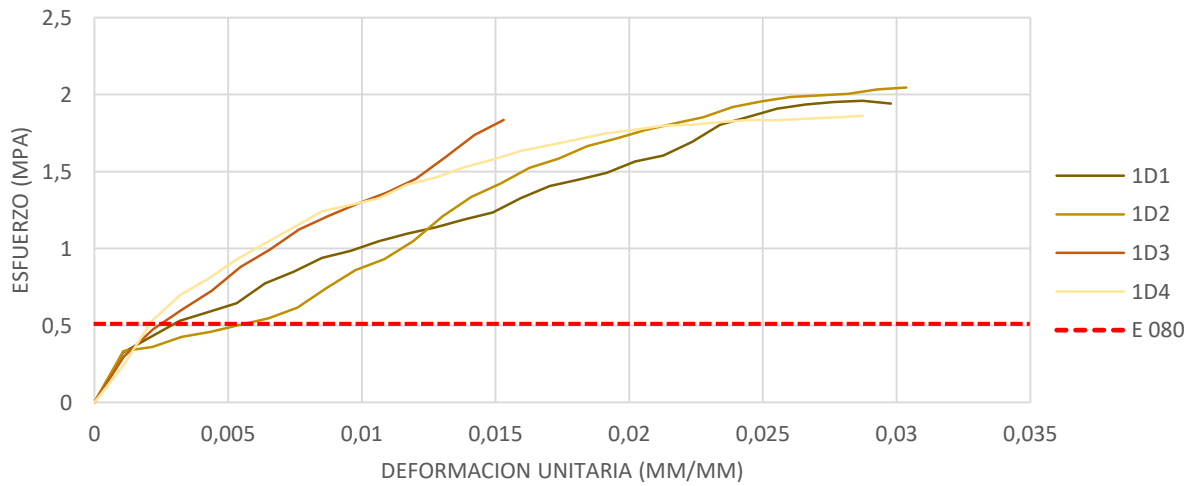




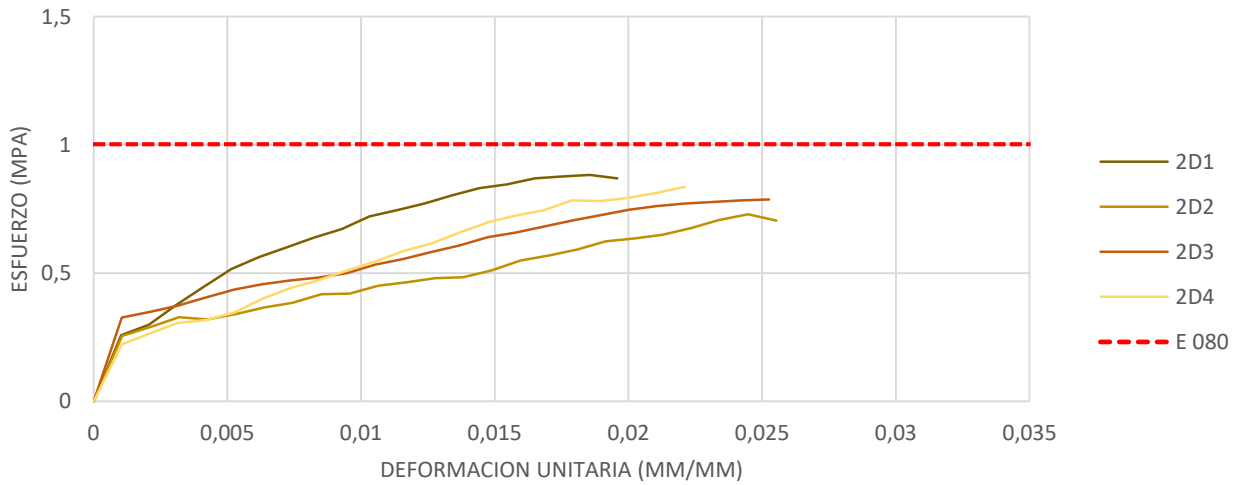
Hubo limitaciones en el uso del laboratorio debido a la pandemia de COVID 19, lo que imposibilitó realizar ensayos con más dosificaciones.

Conclusión

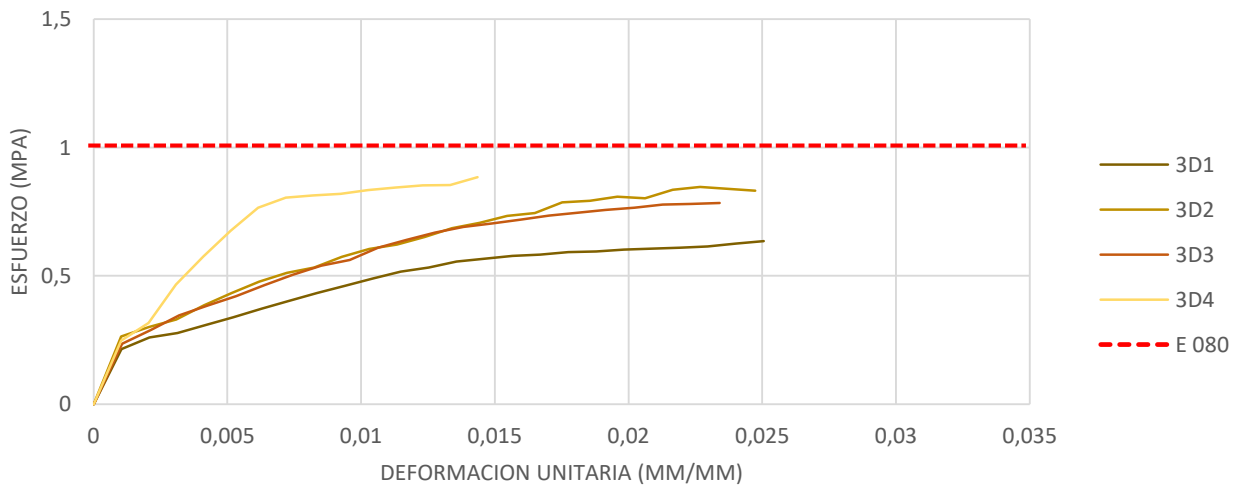
En este ensayo se puede destacar que el uso de la cal, tanto en 8% como en 12%, ha reducido drásticamente la resistencia a la compresión manteniendo una tendencia similar que no supera lo impuesto en la Norma E 080, frente a los especímenes conformados únicamente de tierra que en promedio llegan a los 1,921MPa.



Gráfica 6. Diagrama Esfuerzo/Deformación Unitaria. (Solo tierra). Benalcázar, M., Zeas, V., 2021.



Gráfica 7. Diagrama Esfuerzo/Deformación Unitaria. (cal 8%). Benalcázar, M., Zeas, V., 2021.



Gráfica 8. Diagrama Esfuerzo/Deformación Unitaria. (cal 12%). Benalcázar, M., Zeas, V., 2021.



Rotura mínima a tracción indirecta - tierra.

Utilidad de la prueba: Ensayo de tracción indirecta de la tierra

Tiempo de prueba: Aproximadamente 1h - Después de 28 días 30 min

Tamaño de muestra: 6 muestras de cilindros de barro con 15% de humedad de $\varnothing 15.24\text{cm}$ x 30.48cm de largo.

Materiales y equipo: Cofres de cilindros metálicos, bailejo.

Referencia: JOFFROY, Thierry, GUILLAUD, Hubert, SADOZAI, Chamsia (dir.) 2018, Terra Lyon 2016: Articles sélectionnés pour publication en ligne / articles selected for on-line publication / Artículos seleccionados para publicación en línea. Villefontaine : CRAterre. ISBN 979-10- 96446-12-4.

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, (2017). *NORMA E.080 Diseño y construcción con tierra reforzada*, Perú.

Modo de realización:

Los especímenes fabricados para el ensayo de tracción indirecta fueron regulados según específica la Norma E 080. Para esto se utilizaron cofres cilíndricos (*Ilustración 97, Ilustración 98*) de 15.24cm de diámetro x 30.48cm de largo.

Se utilizan 3 dosificaciones, una donde la primera solo contenía tierra, la segunda contenía cal al 8% y la tercera cal al 12%. Esto se hizo para que además de obtener la resistencia base de los especímenes a mejorar, se pueda comparar el comportamiento de los adobes mejorados en el ensayo de flexión.

Se debe tomar parte de la muestra de tierra previamente podrida.

Se debe colocar la muestra de tierra en los cofres acomodando correctamente. Luego se debe igualar la superficie. Posteriormente, se

debe esperar 1 día para desencofrar las 6 muestras. Se deja secar cubierto del sol o la lluvia, y se escogen las 4 mejores muestras para colocar en el equipo.

Se pesa en una balanza sensible a $0,5\text{g}$ y se mide cada muestra. Se debe colocar el cilindro acostado en la máquina general de ensayos, de tal forma que la carga se encuentre en el eje diametral de la probeta.

Iniciar la máquina general de ensayos a una velocidad de no más de $1.27\text{mm}/\text{min}$, para que, con la ayuda de un deformímetro, se obtengan los datos necesarios para calcular el esfuerzo, la deformación unitaria y posteriormente el módulo de elasticidad. Además, se toma una fotografía de la rotura de cada uno, procediendo a documentar en los anexos de la investigación.

Para esta prueba, la resistencia última mínima estándar es de $0,08\text{MPa}$.



*Ilustración 97. Cofres cilíndricos.
Benalcázar, M., Zeas, V., 2020.*



*Ilustración 98 Cilindros de tierra.
Benalcázar, M., Zeas, V., 2020.*



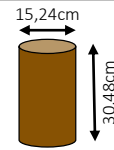
Finalmente, se realiza un análisis de cada tipo de adobe, determinando una resistencia promedio, para proceder a generar resultados y conclusiones.

Resultados:

Se prepararon especímenes siguiendo la Norma E080, la que plantea que para este ensayo la resistencia última debe ser de 0,08MPa; con este antecedente se puede determinar que en la *Tabla 12*, donde se muestran los resultados de los especímenes fabricados solo en tierra, el único que no cumple con esta condición es el T1A3 que alcanza un esfuerzo máximo de 0,066MPa.

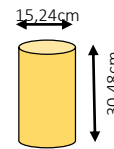
Para entender el comportamiento de los especímenes en la *Gráfica 11*, *Gráfica 12* y *Gráfica 13* es prudente mencionar que para la elaboración de los *Diagramas Esfuerzo/Deformación Unitaria* de cada espécimen se han tomado en cuenta únicamente los valores antes de su primera caída de resistencia, ya que a partir de este punto el espécimen empezaba a acomodarse para soportar cargas a compresión.

En la *gráfica 11* podemos observar que los especímenes elaborados únicamente en tierra no tienen un comportamiento similar, el espécimen T1A1 mantiene una tendencia inicial similar con el espécimen T1A2; sin embargo, el segundo termina el ensayo mucho antes con una deformación muy baja. Por otra parte, el espécimen T1T3 dista de los anteriores iniciando el ensayo con una carga superior, pero manteniendo una tendencia casi horizontal que no logra superar lo impuesto por la Norma E 080.



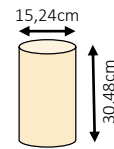
Código	Esfuerzo Max. (MPa)
T1A1	0,122
T1A2	0,108
T1A3	0,066
Promedio	0,10

Tabla 12. Esfuerzo máximo promedio. (Solo tierra). Benalcázar, M., Zeas, V.,2021.



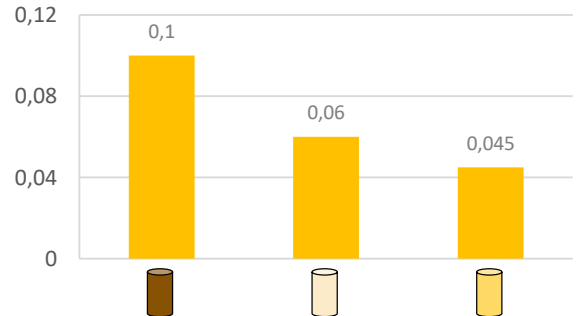
Código	Esfuerzo Max. (MPa)
T3A1	0,038
T3A2	0,042
T3A3	0,056
Promedio	0,045

Tabla 13. Esfuerzo máximo promedio. (cal 12%) Benalcázar, M., Zeas, V.,2021.

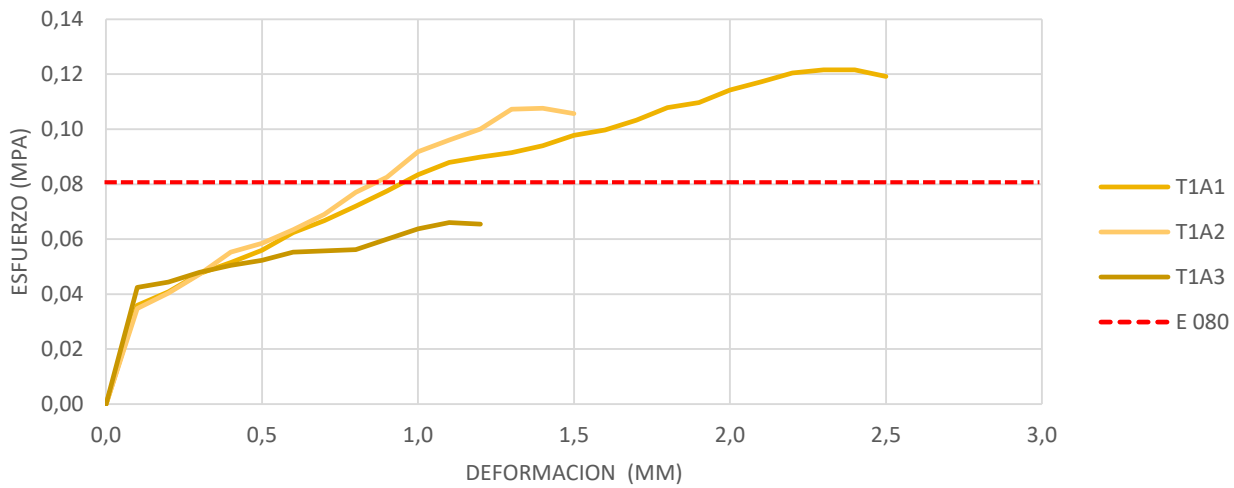


Código	Esfuerzo Max. (MPa)
T2A1	0,061
T2A2	0,059
T2A3	0,061
Promedio	0,06

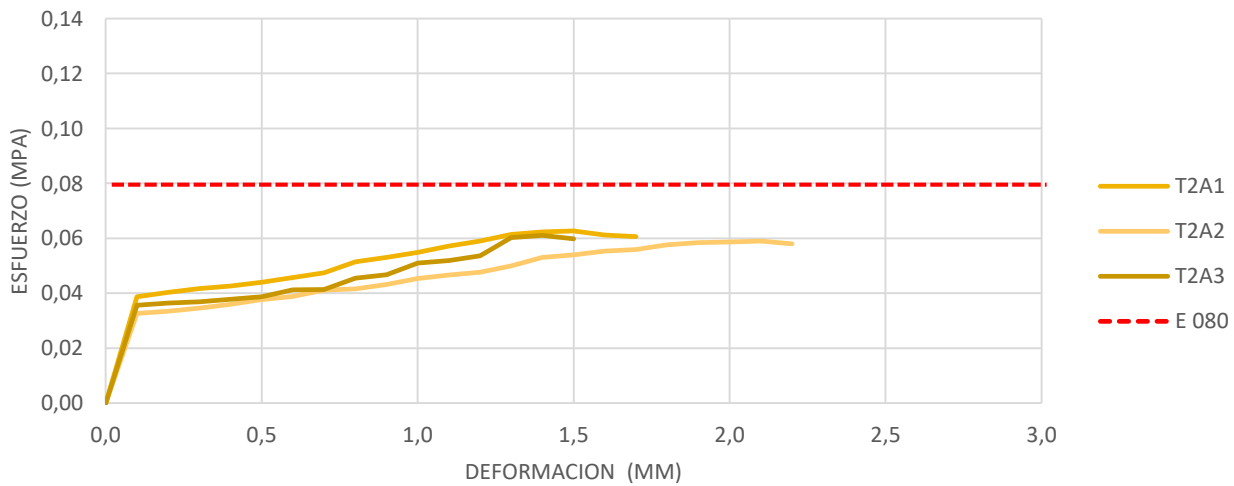
Tabla 14. Esfuerzo máximo promedio. (cal 8%) Benalcázar, M., Zeas, V.,2021.



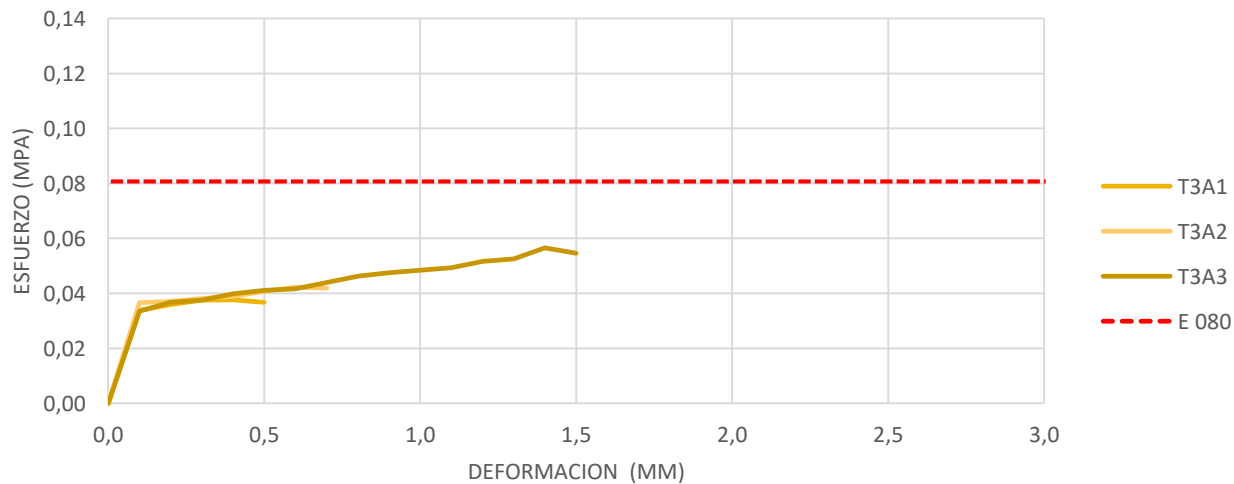
Gráfica 9. Comparación de resultados. (MPa). Benalcázar, M., Zeas, V.,2021.



Gráfica 10. Diagrama Esfuerzo/Deformación Unitaria. (Solo tierra). Benalcázar, M., Zeas, V., 2021.



Gráfica 11. Diagrama Esfuerzo/Deformación Unitaria. (cal 8%). Benalcázar, M., Zeas, V., 2021.



Gráfica 12. Diagrama Esfuerzo/Deformación Unitaria. (cal 12%). Benalcázar, M., Zeas, V., 2021.



Como en el ensayo a compresión los especímenes elaborados con cal al 8% y 12% finalizan el ensayo con resistencias por debajo de lo establecido en la Norma E 080. Esto se puede observar en la *Tabla 13* y *Tabla 14* en donde los especímenes con mayor esfuerzo máximo son el T2A1 y el T2A3 alcanzando los 0,061MPa cada uno.

En la *Gráfica 12* y *Gráfica 13* se observa que los especímenes elaborados con cal que, aunque tienen dosificaciones distintas, tienen un comportamiento similar, pues todos tienen una carga inicial análoga; sin embargo, los especímenes T3A1 y T3A2 tienen una deformación muy baja y fracasan mucho antes que el resto.

Con estos datos obtenidos de los ensayos se ha elaborado la *Gráfica 10* que es una comparativa entre el promedio de las muestras de la *Tabla 12*, *Tabla 13* y *Tabla 14*; dando los siguientes resultados: los especímenes conformados solo de tierra llegan a los 0,1MPa superando por mucho a los especímenes con cal los cuales no superan los 0,06MPa.

Conclusiones

Al igual que en el ensayo anterior el uso de la cal ha afectado drásticamente a la resistencia de la tierra; en este caso la Norma E 080 establece una resistencia última de 0,08MPa, para lo cual ningún espécimen elaborado en cal supera este valor. Sin embargo, los especímenes elaborados solo en tierra en promedio tienen una resistencia última de 0,1MPa.

Momento 3. Ensayos de Laboratorio – Selección Final.

Como última instancia para la fabricación de los adobes, a pesar de que ambas muestras tienen propiedades adecuadas, se selecciona la cantera de la MUESTRA 4, ya que contiene una cantidad más equilibrada de grava, arena y arcilla, en relación a la cantería de la MUESTRA 3.

Conclusiones

La primera fase de selección de tierra, o sea los ensayos rápidos tácticos- visuales resultan útiles para las personas que son desconocedoras del ámbito de la construcción.

Se comprueba que los ensayos empíricos obtienen conclusiones acertadas al ser semejantes con los resultados de los ensayos de laboratorio, corroborando la eficacia de los mismos, por lo que se recomienda su uso.

La utilización de la cal en la tierra minora su capacidad de resistencia tanto de la compresión, como de la tracción indirecta.



3.4.2. Estabilización y mejoramiento

a. Estabilización

Conceptualización

Estabilización proviene del verbo estabilizar, que significa dar estabilidad, consistencia o solidez. También, estabilizar se refiere a dar calidad de constante a algo. Al estabilizar un material se logra un adecuado desempeño del propósito para el que es empleado. Para estabilizar un material surgen los llamados estabilizantes. Se conoce como estabilizante a una sustancia que añadida a ciertos preparados sirve para evitar su degradación. (Asociación de Academias de la Lengua Española, 2014; Ediciones Larousse SA, 2009)

La estabilización es un método económico para no malgastar recursos, pues en este proceso se utiliza completamente el material y solo se añaden estabilizantes.

Tipos de estabilización

Existen diversas formas de estabilización del suelo que mejoran sus características. Estas formas de estabilizar se las puede clasificar en tres categorías: mecánica, física y química, actuando cada una, de manera diferente, en el material, que en el caso objeto de estudio constituye la tierra.

Estabilización mecánica

Se refiere a la manera de compactación de la tierra, la cual, puede ser: estática, dinámica o mixta, disminuyendo la porosidad total e incrementando su resistencia mecánica de la tierra haciéndolo más denso. (Benites, 2017).

Es de mucho cuidado la compactación de un bloque de tierra, pues si se aplica una compactación uniforme y mecánica pasa de ser el «adobe tradicional» a un Bloque de Tierra Comprimido, «BTC». Si bien la estabilización mecánica ayuda a mejorar la resistencia a la

compresión, esta también depende del tipo de mezcla y proporción de agua. Sin embargo, una compactación mayor, en ciertos casos, no resulta muy efectiva, pues se han presentado bloques de adobe tradicional con mayor resistencia que los BTC. (Guzman & Iñiguez, 2015)

Estabilización física.

Se puede realizar mediante la integración de fibras naturales o artificiales, o mediante la mejora granulométrica. (Benites, 2017)

Si se desea estabilizar mediante una modificación granulométrica, (Benites, 2017), presenta distintas composiciones granulométricas ideales para la fabricación de adobes según diferentes fuentes.

AUTOR / FUENTE	ARCIL LA %	LIMO %	ARENA %	MO %
Brush (1984, USA)	20	15	65	-
Bengtsson y Whitaker (1986, Roma)	10- 30	10- 40	40- 80	0-0.3
Barrios et al (1986, España)	35- 45	55- 65	-	
Smith et al. (1989,USA)	15- 45	55- 85	-	
Doat et al. (1991, Francia)	15-18	10- 28	55- 75	<3
Morales et al. (1993, Perú)	5- 45	55- 75	-	
Norma E.80 (2000, Perú)	10- 2	15- 30	55- 7	0
Ducman et al. (2004, USA)	30	-	-	-
Aguilar (2008, México)	20- 30	-	60	-
Saroza et al. (2008, Cuba)	>15	-	-	-
Vélez (2012, Venezuela)	20	-	80	-

Tabla 15. Conformación ideal de la granulometría de la tierra según distintas fuentes. Benites,2017.



Estabilización Química.

Busca mejorar las características técnicas de la tierra, mediante el uso de estabilizantes o aglomerantes, que sean capaces de cambiar las propiedades del suelo, eligiendo compuestos que sean estables, con la finalidad de optimizar su comportamiento. (Guzman & Iñiguez, 2015)

Existe una gran variedad de productos de tipo orgánico e inorgánico que ayudan a la estabilización de la tierra como: cal, productos asfálticos, escorias de fundición, cemento, aceites naturales, látex, silicatos, orina, resinas acrílicas y epóxicas, yema de huevo, productos puzolánicos, yesos, entre otras. (Benites, 2017)

Consideración Indispensable.

Si bien se habla que todo suelo puede ser utilizado para la construcción en tierra, se debe considerar que hay ciertos tipos de suelo, en particular los orgánicos, que no son aptos para la fabricación de adobes, por lo cual, es muy difícil estabilizar para la construcción.

En la presente investigación se descarta la estabilización mecánica, debido a que nuestro objetivo es que el experimento sea aplicado en las zonas rurales bajo sus realidades sociales y económicas, por lo que, al cambiar la forma de compactación de los adobes, se estaría perdiendo la posibilidad tradicional y aún activa de fabricación, reemplazando su método tradicional por procesos de fabricación de los BTC, que le volvería más dificultoso para llegar a ese tipo de producción.

b. Mejoramiento

Conceptualización.

«Mejorar se refiere a adelantar, acrecentar algo, haciéndolo pasar a un estado mejor». Este término proviene del latino 'meliorāre', adjetivo que significa: «superior a otra cosa y que la excede en una calidad natural o moral».

(Asociación de Academias de la Lengua Española, 2014)

Para entender el concepto de mejoramiento se puede hacer referencia a la filosofía de «*mejoramiento continuo*», esta filosofía nace en Japón con Edward Deming, en 1950, en una conferencia titulada «*Estadística de la calidad del producto*»; en donde expuso 14 principios generales y la elaboración del ciclo PDCA (del inglés Plan, Do, Check, Act). (Vargas, 2017)

«*La mejora continua es una filosofía que intenta optimizar y aumentar la calidad del producto aplicado a la manufactura minimizando costos de producción sin perder la calidad del producto o aumentándola optimizando continuamente permitiendo que el producto pueda ser cada vez más competitivo a nivel de mercado*». (Flores, 2010)

En la presente investigación se plantea un mejoramiento de bloques de adobe, en los dos tipos de mejoramiento que son viables para este estudio: el mejoramiento físico y el químico; buscando conseguir un acrecentamiento de sus características, enriqueciendo sus beneficios como material de construcción e incentivando su uso.

3.4.3. Propuesta para mejorar el adobe

a. Objetivos

Incrementar la resistencia mecánica y disminuir la permeabilidad del bloque de adobe, mediante la incorporación de materiales sostenibles.

b. Metodología

Se parte identificando las propiedades que se pretende mejorar en un bloque de adobe tradicional, buscando principalmente resolver problemas de agrietamientos, baja resistencia



a la ruptura y permeabilidad, pero también, acrecentar sus capacidades.

Luego se revisan algunas investigaciones sobre estudios que han utilizado ciertos materiales para mejorar las propiedades del adobe.

A continuación, se selecciona materiales y estabilizantes para el mejoramiento del adobe tradicional, analizando la función o propiedad que mejora cada material seleccionado. Para esto se han considerado materiales accesibles, principalmente en costo, a los pobladores de la zona rural del Azuay-Ecuador.

c. Selección de componentes

Estabilizantes

Para escoger el estabilizante adecuado, (Benites, 2017), menciona que para la fabricación de adobes, las propiedades más importantes que debe otorgar son:

- Resistencia: el incremento de la resistencia aumenta la estabilidad y la capacidad de carga
- Estabilidad del volumen: Proporciona el control del proceso de hinchamiento colapso causado por los cambios de humedad.
- Durabilidad: Una mayor durabilidad aumenta la resistencia a la erosión, responde de manera más eficaz a los cambios climáticos.
- Permeabilidad: La reducción de la permeabilidad y por lo tanto de circulación de agua mejora la estabilidad.

Estabilizante Químico.

La variedad de suelos existentes ha provocado la necesidad de una estabilización química, que depende de la propiedad del suelo que se quiera mejorar y del elemento a utilizar como estabilizador.

En el documento «Metodología para la elección de estabilizante químico para bloques de tierra», de Sebastián Guzmán, 2016, se

compara una amplia variedad de productos de tipo orgánico e inorgánico que incluyen parámetros como: impacto ambiental, mejora técnica, economía, disponibilidad y precio, útiles para la elección del estabilizante a utilizar.(Guzmán & Iñiguez, 2016)

En la tabla adjunta se consideran: el bajo consumo energético, la mejora de las propiedades técnicas del material y una economía viable como parámetros para escoger el estabilizante óptimo en la zona del austro ecuatoriano.

ESTABILIZANTE	IMPACTO AMBIENTAL	DISPONIBILIDAD	MEJORA TÉCNICA	PRECIO	TOTAL	TOTAL PONDERADO	RATIO CALIDAD
Cáscara de arroz	5	4	3	5	17	16,4	82
Cloruro de sodio	4	5	3	4	16	15.4	77
Cal	2	4	5	4	15	15	75
Escorias de fundición	4	1	3	5	13	12.8	64
Cabuya	4	4	3	5	16	15.2	76
Cemento	1	5	5	3	14	14	70
Almidón de yuca	4	4	3	2	13	13.4	67
Silicato de sodio	3	4	4	1	12	13	65
Yeso	1	5	3	3	12	11.2	56
Puzolana	3	2	2	5	12	11	55
Aceite de linaza	5	1	4	1	11	13	65
Resinas acrílicas	1	4	4	1	10	10.6	53
Resina epóxica	1	4	3	1	9	12	60
Bitumen	1	3	3	1	8	8.4	42
Ponderación	30%	20%	35%	15%			

Tabla 16. Selección de estabilizante químico. Mauricio Guzmán, 2016.

Además, en el documento «Selección de suelos y métodos de control en la construcción con tierra», se incluye a la estabilización química en las construcciones de tierra y se propone el uso de cemento, cal o bitumen, según el índice de plasticidad y de la granulometría de la tierra. (C. M. M. Neves et al., 2009)

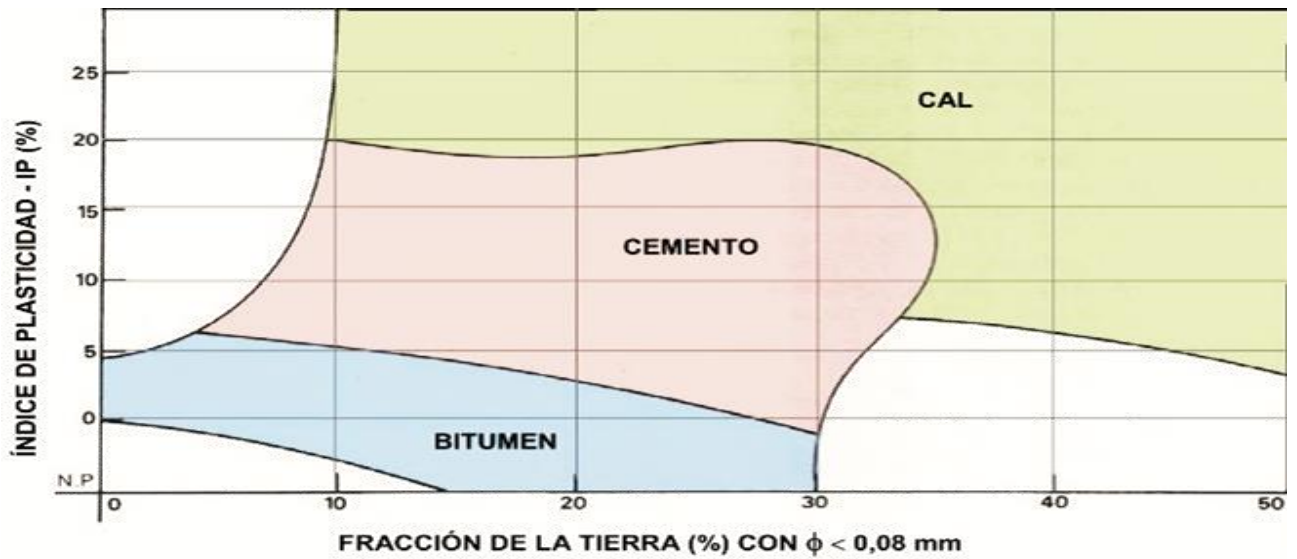


Ilustración 99. Selección del estabilizante químico según el índice de plasticidad y granulometría de la tierra. Neves et al., 2009

De esos materiales, la cal, siempre y cuando tenga un proceso adecuado de apagado y un control de calidad, es conocida por ser un material que posee ventajas de tipo ecológico sobre el cemento por requerir menor tiempo y temperatura de calcinación para su fabricación, por presentar cualidades higiénicas y por no inferir en el flujo natural de aire y vapor de agua que requieren las estructuras de tierra. En cuanto a costo es mucho menor que el del cemento. (Guerrero Baca, Roux Gutierrez, & López, 2010)

Consecuente a esto, se escoge a la cal como estabilizante químico que, de acuerdo a estudios de distintos autores, entre ellos, el Arq. Luis Fernando Guerrero y la Arq. Mónica Pesantes, mencionan que otorga resistencia e impermeabilidad al adobe.

Es necesario establecer que en la zona de Cuenca la cal existente en su mayoría es utilizada para uso agrícola; sin embargo, también existe la utilizada para la construcción que proviene de las caleras locales, de la costa o del norte del país; la primera al no ser de buena calidad no es la mas adecuada para el uso que se plantea, por lo que es preferible

utilizar la proveniente de la costa o del norte del país que es de mejor calidad.

La Cal

Históricamente, en las construcciones con tierra arenosa se estabilizaba con cal aérea, encontrándose ejemplos de hace más de 200 años, en el centro-litoral de Portugal y en otros municipios de Aveiro. Incluso, este tipo de adobes llegó a sistematizarse y comercializarse para su uso en construcciones con mayor altura y área. (Fernandes & Velosa, s. f.)

El trabajo combinado de cal apagada y tierra realiza cuatro procesos de interacción entre ambos materiales:

- **Intercambio iónico:** Las arcillas suelen tener cationes de sodio, potasio y magnesio que atraen con fuerza al agua como resultado de un desequilibrio en sus cargas superficiales. Si se incorpora cal a la tierra, se integran iones de calcio que remueven a los de sodio, potasio y magnesio, con lo que se compensa las cargas superficiales y se controla la atracción de agua. (Guerrero Baca et al., 2010)
- **Floculación:** Después de algunas horas de haber agregado un poco de cal a un suelo, las partículas de arcilla pierden agua, se agrupan y comportan como componentes



de mayor tamaño con lo que se desplaza la curva granulométrica hacia la zona gruesa y se consigue un comportamiento más estable del conjunto. (Guerrero Baca et al., 2010)

- **Acción puzolánica:** Proceso lento en el que reacciona la cal con los óxidos presentes en las arcillas generando silicatos y aluminatos de calcio que tienen un alto poder cementante. (Guerrero Baca et al., 2010).
- **Carbonatación:** Reacción todavía más lenta en la que el hidróxido de calcio se combina con el bióxido de carbono del aire y forma cristales que atrapan a los minerales a su alrededor aumentando la cohesión del conjunto. Esta reacción solo se presenta en las zonas superficiales del material que son las que están en contacto con la atmósfera. (Guerrero Baca et al., 2010).

De acuerdo a un estudio experimental del uso de la cal apagada, donde se comprueba su resistencia a la compresión, se determina que el porcentaje de cal agregada es directamente proporcional a la resistencia incrementada; pero únicamente para estabilizar la cantidad necesaria se necesita apenas una mínima dosis de la misma.

La cal viva es un material muy inestable y carente de agua. La densidad real de la cal aérea viva es del orden de 2,25% kg/dm³ y la densidad de la cal hidráulica oscila entre 2,5 y 30kg/dm³. Se debe tener en cuenta que si se hidrata mal a la cal, ésta aumenta de volumen meses después de colocada en la obra, provocando fisuras y grietas, por lo que es más conveniente usar cal hidráulica, pero en nuestro mercado solo se encuentra disponible cal aérea viva y cal apagada.

Hay que considerar que si se usa cal aérea en el barro, se debe tener tomar en cuenta que el

tiempo de fraguado es lento; es decir, no comienza antes de las 2 horas ni termina después de las 48 horas. Tras su secado puede obtener una resistencia de hasta 50kg/cm².(Fernandes & Velosa, s. f.)

Estabilizante físico

Es conocido el uso tradicional de las fibras como un elemento que contribuye a estabilizar físicamente al adobe, debido a que éstas ayudan a: (Benites, 2017; Guzman & Iñiguez, 2015; Minke, 2005).

- Reducir la retracción, pues el contenido relativo de arcilla se reduce y aparte el agua también es absorbida por los poros de las fibras.
- Reducir la aparición de fisuras, pues la fibra incrementa la cohesión de la mezcla al crear una especie de red a la que se adhieren las partículas del suelo que controlan el desplazamiento, dilatación y retracción durante el secado.
- Son estabilizantes que proveen rigidez de baja densidad.
- Refuerzan los componentes del adobe otorgándole mayor resistencia de compresión y flexión.
- Mejoran la cohesión entre las partículas del suelo.

Buscando material de investigación en este campo, se encuentra que Tamayo (2012) elabora la siguiente tabla sobre ventajas y desventajas de utilizar fibras naturales como refuerzo a materiales compuestos, ILUSTRACIÓN 6. Las fibras naturales son más convenientes al ser materiales sostenibles y amigables con el planeta.



VENTAJAS	DESVENTAJAS
Sostenibilidad	Baja resistencia al agua
Generan un bajo consumo de CO2	Alta absorción de agua
Son biodegradables	Baja estabilidad dimensional
Requieren un bajo consumo de energía	Pobre interfaz
No quedan residuos tóxicos al quemarlas	Dureza
Su densidad es baja	Dificultad en su procesamiento
Posee buenas propiedades mecánicas	Calidad heterogénea
No son tóxicas ni abrasivas	Demanda y ciclos de suministro variable
Tienen bajo costo	Presenta alta inflamabilidad

Tabla 17. Ventajas y desventajas de las fibras naturales como refuerzos a materiales compuestos. Tamayo, 2012

En diferentes partes del mundo se utilizan fibras naturales en los bloques de adobe, pero cada cultura se adaptó a los componentes a los que tenían mayor accesibilidad. La fibra que fue utilizada en su mayoría en nuestra zona del Austro ecuatoriano fue la paja.

Tradicionalmente se usó la paja de cerro como fibra rigidizada (poco flexible), siendo la adecuada aquella que se encuentra sobre los 3.500 metros sobre el nivel del mar, por lo que hoy en día su extracción afecta a ecosistemas de páramos donde naturalmente crecen y son protegidos; por lo tanto se vuelve cada vez más difícil su obtención, aclarando que esto ha llevado a utilizar paja de alturas inferiores, la misma que no posee similares propiedades y por lo tanto el uso de ese tipo de paja (inadecuada) incide directamente en brindar las ventajas que se supone debería otorgar.

Un factor importante a considerar es la cantidad máxima de fibras a utilizar, pues usando cierta cantidad de paja la resistencia que se ve aumentada comienza a disminuir.

Frente a esto, surgen nuevas investigaciones que han probado fibras naturales alternativas provenientes de plantas, árboles o provenientes de animales como: (Tapia,

Paredes, Simbaña & Bermúdez, 2006, p. 1-2; Aguilar, E. D., y Quezada, 2017; Benites, 2017)

- Hierbas y cañas: hierbas y paja de trigo, arroz, cebolla, etc.
- Hojas: abacá, sisal, henequén, cabuya, entre otras.
- Tallos: lino, yute, cáñamo, kenaf, paja, etc.
- Animales: lana de ovejas o cabras, crines de caballo, pelo de llama o hasta cabello humano.

Se seleccionan fibras secas para que, al usarlas, su capacidad hidrofilia no afecte las propiedades del material de construcción. (Aguilar, E. D., y Quezada, 2017; Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2017)

En el Austro, entre las fibras mayormente utilizadas, aparte de la paja, para la fabricación de adobes de forma empírica están: la cáscara de arroz y últimamente la fibra de cabuya. La cáscara de arroz, al presente posee varias investigaciones realizadas para su uso en la construcción, siendo el objetivo de este trabajo el investigar sobre la CABUYA, pues será allí donde se concentrará el trabajo para definir su eficacia o no en su uso.

Fibras de cabuya

La cabuya o Ágave es una fibra derivada de las hojas de una planta de género de la *Furcraea andina*, familia de las agaváceas, cultivada en zonas de temperaturas entre los 18 y 24 grados centígrados. (Pesántes, 2015)

La cosecha de la cabuya se realiza cuando la planta ha cumplido entre 8 – 10 meses, extrayendo la fibra de forma manual, con herramientas tradicionales para de esta forma obtener una composición química de 40 a 80% de celulosa, de 5 a 25% de lignina y 10% de hemicelulosa. (Cotrina, 2019); las cuales son directamente proporcionales con las propiedades mecánicas de las fibras.

La fibra de cabuya cuenta con un alto grado de lignina frente a otros materiales, la cual aparte de brindar mayor resistencia mecánica contribuye a la impermeabilización. En la siguiente tabla se muestra que la fibra de cabuya tiene buena resistencia mecánica, haciéndola atractiva para diferentes industrias.

La densidad de la fibra de cabuya es de 1,3 g/cm³, es decir, de consistencia liviana. En las siguientes tablas se muestran las características mecánicas de diferentes fibras naturales y sintéticas y la composición química de fibras naturales (Tamayo, 2012).

Fibra	Densidad (g/cm ³)	Resistencia a la tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (GPa)	Elongación a la fractura (%)	Absorción de la humedad (%)
Cabuya	1,3	305,15	7,5	4,96	-
Yute	1,3	393 – 773	26,5	1,5 – 1,8	12
Coco	1,2	175 – 220	4 – 6	15 – 30	10
Abacá	1,3	400 – 1289	45	2,7	8 – 10
Sisal	1,5	511 – 635	9,4 - 22,0	2,0 – 2,5	-
Algodón	1,5	393 – 773	27,6	7 – 8	8 – 25
Ramio	1,5	400 – 938	61,4 – 128	3,6 - 3,8	12 - 17
Lino	1,5	345 – 1035	27,6	2,7 – 3,2	7
Cáñamo	1,4	690	35	1,6	8
Vidrio – S	2,5	2000 – 3500	70	2,5	-
Vidrio – E	2,5	4570	86	2,8	-
Aramida	1,4	3000 – 3150	63 – 67	3,3 – 3,7	-
Carbono	1,4	4000	230 – 240	1,4 – 1,8	-

Tabla 18. Características mecánicas de las diferentes fibras naturales. Tamayo, 2012.

Entre las características más destacables de la cabuya con respecto a otro tipo de fibras está el que posee una elongación a la fractura superior al yute, al sisal, al lino, favoreciendo en un momento de secado del adobe para disminuir notablemente no solo las trizaduras

sino también la ruptura de la fibra; igualmente, en lo que se refiere al índice de humedad, la absorción es nula; esto permite que la humedad del adobe se mantenga bajo sus propias propiedades y velocidad de secado, sin que afecte la presencia de la cabuya.

Fibra	Celulosa (% peso)	Hemicelulosa (% peso)	Lignina (% peso)	Pentosa (%)
Cabuya	62,7	-	15,5	17,7
Yute	61 – 71	13 – 20	8,1 – 13	-
Coco	32 - 43	0,15 – 0,25	40 – 45	-
Abacá	63 – 70	20 – 21	5 – 6	-
Sisal	67 – 78	10 – 14	18 – 14	-
Algodón	63 – 64	10	5	-
Ramio	82 – 93	3 – 6	-	-
Lino	35 – 61	15	27 – 32	-
Cáñamo	45 – 57	21	8 – 13	-
Vidrio - S	68 – 76	13 – 16	0,6 – 0,7	-
Vidrio- E	71,3	-	-	-
Aramida	71,2	18 – 20	2,2	-
Carbono	70 – 75	17 – 22	3,7 – 5,7	-

Tabla 19. Composición química de diferentes fibras naturales. Tamayo, 2012.

Las características físicas de la cabuya, por su buena expresión y agradables para el ser humano, aportan a la comercialización y uso de las fibras de cabuya.

Características	Valor
Longitud	80 a 120cm
Color	Habano
Brillo	Opaco
Textura	Dura
Absorción color	Superficial
Absorción humedad	Mala
Punto de fusión	No se funde
Efecto ante los álcalis	Resistente
Afectos ante los ácidos	Mala
Resistencia a la luz solar	Regular
Efecto de los oxidantes	Variable

Tabla 20. Características físicas de la cabuya. Tamayo 2012

La configuración en la que puede estar ubicada la fibra en el bloque de adobe también representa cambios en su resistencia. De acuerdo al estudio de Tamayo, 2012, se puede ubicar de tres maneras distintas: con fibras



largas unidireccionales, fibras largas bidireccionales o fibras cortas con direcciones variadas. Dichas configuraciones presentan resistencias mecánicas diferentes.

Si únicamente se quiere resistir en una dirección, se coloca la fibra transversal a la fuerza que se va a resistir; es decir, se deben utilizar fibras unidireccionales. Para conseguir una resistencia ortotrópica se deben colocar en dos direcciones perpendiculares entre sí, pero esto disminuye su tenacidad a la fractura interlaminar, necesitando el adobe ser reforzado con un tejido de fibras, el cual debe tener un grado de adhesión alto para una transferencia eficaz de carga y su distribución uniforme. Estas dos configuraciones presentan mayor dificultad al momento del procesamiento. Finalmente, la configuración de fibras cortas, con direcciones variadas, aportan resistencia a la flexión, compresión y corte. Esto se debe a la orientación aleatoria, pues demuestra que al menos algunas de las fibras estarán correctamente alineadas para resistir la deformación por esfuerzos de cualquier dirección. (Tamayo, 2012).

Como referentes para el presente estudio sobre la fibra de cabuya como material de mejoramiento se han ubicado varias investigaciones en torno a la fabricación de adobes con fibras, que debido a la baja densidad del material coinciden en parámetros de dosificaciones entre 0,5% a 3% del peso. Para la dosificación del presente estudio se consideraron estos referentes y se realizó el proceso de selección de cantidad y tamaño de fibras de cabuya definido en el punto 4.3.1.2. y 4.3.1.3. (Kafodya, Okonta, & Kloukinas, 2019; Olacia et al., 2020)

Materiales de mejoramiento

Una vez seleccionados los materiales para la estabilización del bloque de adobe, como son la cal y la fibra de cabuya que, como se ha señalado, a más de estabilizar mejoran su capacidad de resistencia y durabilidad; es

necesario ingresar con un material que permita disminuir la absorción del agua, sin eliminar la capacidad y necesidad de transpiración del barro en el adobe.

Teniendo presente que una de las más grandes debilidades en la construcción en tierra es justamente la humedad, se ha definido tomar como material de mejoramiento en este campo al aceite de linaza, producto que se está aplicando de forma empírica en construcciones actuales, pero es necesario comprobar su efectividad hacia ese objetivo, sobre todo porque puede contribuir como producto para apoyar en procesos de restauración. Es decir, es necesario conocer si el aceite de linaza puede constituir un apoyo en la fabricación del adobe para disminuir la capacidad de absorción del agua, sin hacerle perder la capacidad de transpiración al barro.

Grasas de origen vegetal – aceite de linaza

La linaza pertenece a la familia Linaceae y contiene altas cantidades de aceite. Se obtiene generalmente del prensado de las semillas en frío. (Szydłowska-Czerniak, Tymczewska, Momot, & Włodarczyk, 2020).

Este aceite está dentro del grupo de resinas naturales, las cuales son polímeros que segregan algunos tipos de plantas desde su corteza, según el tipo de planta del cual se consiga y contienen diferentes propiedades de olor, forma, dureza y solubilidad. Están compuestas por sustancias muy complejas y presentan características químicas y físicas muy especiales, siendo las más importantes: Insolubles al agua, al mezclar con disolventes orgánicos (alcoholes, cetonas) se obtienen compuestos de propiedades filmógenas y adhesivas. (Guzman & Iñiguez, 2015).

El uso de estas resinas, se da en el sector de la industria, entre otras, para la elaboración de barnices para pinturas, con el fin de mejorar las características de impermeabilización de la misma. (Minke, 2005) menciona que el aceite



de linaza confiere propiedades impermeabilizantes a la mezcla de tierra y mejora la resistencia a la compresión. El optimizar las propiedades de compresión y permeabilidad de los bloques de tierra se lo considera muy óptimo.

En el estudio “Influence of linseed oil on the microstructure and composition of lime and lime-metakaolin pastes after a long curing time, 2018”, se expone el uso de aceite de linaza como alternativa ecológica frente a aditivos sintéticos para mejorar la porosidad e incrementar la resistencia en morteros y revestimientos de cal, donde se informa que: *“la incorporación de 1% del peso de aceite de linaza causa una ligera reducción de la porosidad y el diámetro del tamaño de los poros de la cal”*, mientras que, si se aumenta el porcentaje a 3% del peso *“se incrementa la porosidad y el radio de los poros principales pero se reduce sustancialmente la resistencia”*. Gracias a este estudio que utiliza el aceite de linaza como componente del mortero, se pueden obtener una dosificación referente para la presente tesis (definida en el punto 4.3.2.3), con el fin de mejorar la permeabilidad del adobe sin disminuir su capacidad de transpiración. (Nunes, Mácová, Frankeová, Ševčík, & Viani, 2018)





- 4.1 Consideraciones Iniciales
- 4.2 Condicionantes técnicas, económicas y sociales
- 4.3 Proceso de estabilización de la tierra
- 4.4 Elaboración de adobes

CAPÍTULO

Propuesta de un Adobe Mejorado







Capítulo 4. Propuesta de un adobe mejorado

4.1. Consideraciones iniciales

Para realizar la propuesta se tiene como premisa el elaborar un adobe de la manera más tradicional posible en lo que respecta a su fabricación manual, no mecánica; por lo tanto:

- El adobe tradicional está compuesto por tierra, agua y fibras (en el Ecuador usualmente es la paja). Para la propuesta de adobe mejorado se modifica su composición, reemplazando sus materiales por: tierra, agua, fibras de cabuya, aceite de linaza y/o cal.
- Los procesos constructivos deben ser los más acordes a la realidad del ciudadano promedio de la zona rural del Azuay.

Y frente a pruebas de fracaso también se ha considerado que:

- Debido a las condicionantes de los materiales (punto 4.4.1.), se presentan alternativas para que la cal no sea un constante en los bloques de adobe propuesto.

4.2. Condicionantes técnicas, económicas y sociales

A través de la presente investigación, como condicionante social, se buscó generar un espacio que pueda contribuir a disminuir el déficit de vivienda en la zona rural del Ecuador. Mediante la fabricación de bloques de adobe la propuesta debe permitir la posibilidad de acceso a esta fabricación para cualquier usuario que le permita construir con sus propios medios, de manera comunitaria, sin la necesidad de un técnico presente; la construcción en adobe es parte de la cultura constructiva popular, aquella donde el

arquitecto es el que tiene mucho que aprender desde el conocimiento ancestral.

En lo que a condicionantes económicas se refiere, se ha desarrollado un adobe con mejores características y, con métodos de construcción similares a los adobes tradicionales, tratando de mantener el costo de los materiales y su facilidad de obtención. El precio de la cabuya es igual o más bajo que la paja de cerro, toda vez que se debe comprar e incluso no es de la calidad adecuada, por eso el planteamiento de esta alternativa. Adicionalmente, el uso del aceite de linaza es bastante bajo como se podrá observar, por lo que si bien el costo del producto es relativamente un poco alto, por la cantidad que se utiliza no representa un incremento considerable. Esto se traduce en mejores bloques al mismo precio.

Por tal motivo, para la fabricación de los prismas de prueba se construye reflejando, tanto como sea posible, las condiciones y la calidad de los materiales así como la mano de obra que se tendrá efectivamente en la construcción.

En cuanto a la condición técnica, ya que se va a estudiar al adobe como elemento, no como sistema constructivo, para iniciar la elaboración se considera los parámetros establecidos en la Norma E. 080 (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2017), para el tamaño de los adobes. Tras escoger el adobe de forma rectangular, por ser el más común en nuestro entorno, la normativa establece que no debe sobrepasar los 0.40m de largo (por razones de peso), con un ancho de la mitad de su largo, y una altura de entre 0.08 y 0.12m.

Estableciendo entonces para las muestras de la presente investigación las siguientes medidas:

0.40m de largo; 0.20m de ancho y 0.1m de alto.



4.3. Proceso de estabilización de la tierra

Después de haber escogido los materiales para estabilizar la tierra (punto 3.4.3.), se encuentra la cantidad que se va a emplear. Para esto se realizan ciertos ensayos que encuentran la cantidad adecuada para cada material. Finalmente, se analiza los resultados y se especifica la cantidad para elaborar los adobes de prueba.

4.3.1. Ensayos y resultados

4.3.1.1. Cal.

TIPOS DE CAL EN EL MERCADO LOCAL. - En la ciudad de Cuenca se comercializa la cal apagada y esta tiene dos variedades: la cal agrícola y la cal para la construcción; lamentablemente en muchos comercios se venden ambas como cal para la construcción, lo que genera grandes problemas cuando no se conoce su diferencia.

Conforme se ha recogido información de profesionales y maestros conocedores en el tema, la manera de diferenciar la cal agrícola de la cal de construcción, de manera muy fácil, es a través del tacto; la cal agrícola posee una textura arenosa, justamente por la presencia de arena en altas concentraciones que le da soltura para ser colocada en los cultivos; a diferencia de la cal para la construcción que está compuesta por un polvo muy fino, a pesar de que también puede contener arena fina, pero en cantidades bajas.

Es decir, es la presencia de la arena la que le hace fácilmente diferenciable entre estos dos tipos de cal presentes en el mercado; arena que, a más de quitarle capacidad de cohesión y de consistencia pastosa, hace que se disgregue con facilidad cuando se genera una pequeña masa muy seca, observándose fácilmente que se disgrega y no mantiene cohesión entre sus partículas por la alta presencia de arena.

Esta particularidad en la cantidad de arena puede identificarse con mayor facilidad a través de una prueba empírica para diferenciar si la cal es la adecuada para la construcción, dentro de las existentes en el mercado de la ciudad de Cuenca.

Este problema de confusión prácticamente no existe cuando se usa la cal viva y se la apaga conforme se describe su procedimiento en párrafos más adelante.

Lamentablemente, la cal viva no se encuentra fácilmente en la ciudad pero se consigue bajo pedido o comprándola en ciudades como Riobamba.

Se debe tener presente que a mayor tiempo de fraguado de la cal, ésta aumenta su resistencia. Es en base a este tipo de condicionamientos para usar la cal que se realizaron las pruebas.

Seleccionar la cal adecuada

Utilidad de la prueba: Método empírico para definir si la cal es útil para la construcción.

Tiempo de prueba: Aproximadamente 1 hora más una semana después (dependiendo del clima).

Tamaño de la muestra: 3 esferas de cal de aproximadamente 20g, 50ml de agua.

Materiales y equipo: Recipiente para mezclar.

Referencia: Ensayos empíricos, recomendados por la Arq. Mónica Pesantes.

Modo de realización: Se debe elegir entre utilizar CAL VIVA o CAL APAGADA.

Si se escoge trabajar con CAL VIVA se debe apagar de acuerdo a las instrucciones del fabricante; si el fabricante no proporciona las mismas la Norma Técnica Ecuatoriana 248, *Cal viva para propósitos estructurales. Requisitos*, 2015, recomienda los tres procesos:

1. Cal de apagado rápido, agregar cal al agua.
2. Cal de apagado medio, añadir el agua a la cal.



Ilustración 100. Muestras para ensayo para seleccionar la cal adecuada. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.



Ilustración 101. Ensayo para seleccionar la cal adecuada. MUESTRA 1. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.



Ilustración 102. Ensayo para seleccionar la cal adecuada. MUESTRA 2. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.



Ilustración 103. Ensayo para seleccionar la cal adecuada. MUESTRA 3. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.

3. Cal de apagado lento, humedecer la cal con agua y continuar empapando de poco a poco.

Para la aplicación de cualquiera de los tres procesos se recomienda tener un suministro abundante de agua.(Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2015)

De la CAL APAGADA se comprueba que la cal sea útil para la construcción.

1. Formar 3 esferas de cal apagada, con la menor cantidad de agua.
2. Dejar secar por 7 días las esferas.
3. Sostener la esfera desde la altura de 1.10m y dejarla caer.

Si la esfera al caer no se rompe, o al romperse, se queda en pedazos enteros, la cal es adecuada.

Si la esfera, al caer, se rompe y se pulveriza no es material útil para la construcción o se encuentra mal apagada.

Aplicación del ensayo: Se realizó el ensayo con las siguientes muestras:

- Muestra 1. Cal viva de Guayaquil- Guayas, realizando el proceso de apagado.
- Muestra 2. Cal hidratada de Cuenca- Azuay.
- Muestra 3. Cal hidratada de Licto- Chimborazo.

Resultados:

La cal de la MUESTRA 1, al caer, se dividió en 4 pedazos enteros, siendo útil para la construcción.

La cal de la MUESTRA 2, al caer, se pulverizó, por lo que se supone estar mal apagada.

La cal de la MUESTRA 3 se dividió en 2 pedazos, siendo la más óptima para la construcción de entre las analizadas. Se selecciona esta cantera



para continuar con el proceso de elaboración de adobes.

Ensayo cantidad de cal

Utilidad de la prueba: Cantidad de cal para estabilizar la tierra.

Tiempo de prueba: Aproximadamente 1 h.

Tamaño de la muestra: 350g de suelo que pase por el tamiz de 0.0425mm, alrededor de 100g de cal y 600ml de agua.

Equipo: Recipiente para mezclar

Referencia: Prueba de Eades & Grim con base en la Norma ASTM D-6276-03, que consiste en la determinación de la proporción óptima de suelo-cal para estabilizar un suelo plástico, tomando como variable el pH. (Guerrero Baca et al., 2010).

Modo de realización: Se realiza con 350g de suelos secado a 60°C que pasan por el tamiz de 0.0425mm.

Se preparan 5 especímenes con porcentajes de cal diferentes en una muestra de suelo, equivalente a 25g. La mezcla se hace para encontrar el contenido mínimo de la mezcla de cal y suelo para obtener un PH de mínimo 12,4.

Se debe obtener un valor de PH de 12,4, pues de esta forma se libera sílice y alúmina de la arcilla, que reaccionan con los iones calcio procedentes de la cal, formando silicatos y aluminatos cálcicos hidratados que, como en el caso de los cementos portland, incrementan la resistencia mecánica. Esta reacción de tipo puzolánico es progresiva con el tiempo y aumenta la impermeabilidad, la resistencia mecánica y la resistencia a las heladas del suelo tratado. (Huezo Maldonado & Orellana Martínez, 2009)

Poner cada espécimen en las botellas de plástico.

Obtener la cantidad de cal que representen el 2,4,8,12, y 14% de la masa del suelo secado en el horno de 25g. En otra botella, poner 2g de cal y tapar.

Agregar a cada botella con tierra, un porcentaje de cal, marcar el nombre en la botella y homogenizar por agitación.

Agregar 100ml. de agua a cada botella. Después sacudir por un mínimo de 30s o hasta que los especímenes se mezclen homogéneamente.

Continuar sacudiendo cada 10 minutos durante 1 hora.

Después de 15 minutos de terminar la hora de mezclado, determinar el PH de la mezcla.

Resultados:

La dosificación de 2% muestra un pH de alrededor de 10.

La dosificación de 4% tiene un pH de entre 10 y 11.

La dosificación de 8% muestra colores muy similares a un pH de 12.

La dosificación de 12% tiene un pH de entre 12 y 13.

Finalmente, la dosificación de 14% muestra un pH entre 11 y 12.

Se utilizan dosificaciones de 8 y 12% de Cal, al ser las más cercanas a un pH de 12,4.



Ilustración 104. Proceso de ensayo de Dosificación de la Cal. Paso 1. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.



Ilustración 105..Proceso de ensayo de Dosificación de la Cal. Paso 2. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.



Ilustración 106..Ensayo de Dosificación de Cal. Resultados. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.



Ilustración 107. Ensayo de Dosificación de Cal. Resultado 8 y 12%. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.

4.3.1.2. Tamaño de fibras de cabuya

En la Norma peruana E.080 se recomienda utilizar como elemento fibroso a la paja, con un tamaño de 10 a 15cm. Con este dato se elaboraron bloques de adobe con estas dimensiones de referencia, aplicando en el cambio de fibra, de paja por cabuya. Los resultados obtenidos fueron poco favorables, debido a que:

- Las fibras, al ser muy largas, ocasionaron dificultad en el mezclado del barro.
- En los adobes resultantes se divisaban trozos de cabuya, afectando a la estética del material.
- En los ensayos de flexión se comprobó que la cabuya, como ligante, efectivamente ayuda a mantener la unidad del material, pero al ser tan largas sus hebras genera vacíos que reducen su resistencia a la compresión.

Luego de consultar a profesionales y trabajadores con experiencia en la elaboración de adobes, la paja que se encuentra en el mercado es muy gruesa y no tiene la misma estructura interna que la paja de cerro que es la apropiada. Esto genera que la misma sea más quebradiza, no contribuyendo de esta manera a obtener mayor resistencia en el adobe. Esto se pudo comprobar al observar el espesor de la paja que se compra con la obtenida directamente de zonas en altura.

Por esta razón, se reduce el tamaño de la fibra de 10 a 15cm a más de la mitad. También se emplea la recomendación de la Arq. Mónica Pesantes, de disminuir a **4cm el tamaño de la fibra**, pues ella -en su experiencia- desde hace más de 13 años utiliza empíricamente las fibras de cabuya en la construcción con tierra en revoques.



Ilustración 108. Paja comercial para construcción. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.



Ilustración 109. Tamaño de cabuya. Cabuya 10 a 15cm. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.



Ilustración 110. Tamaño de cabuya. Adobe con cabuya 10 a 15cm ensayo de flexión. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.



Ilustración 111. Muestras de cabuya cortada 4cm. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.



Ilustración 112. Ensayo de cantidad de cabuya.
Benalcázar, M., Zeas, V., 2020.

4.3.1.3. Ensayo cantidad la fibra de cabuya.

Utilidad de la prueba: Cantidad de fibra de cabuya

Tiempo de prueba: Aproximadamente 10 min.

Tamaño de muestra: 1 kg de fibra de cabuya peinada y recortada en pedazos de 4cm.

Materiales y equipo: Molde de adobe, balanza, fibras de cabuya.

Referencia: Ensayo empírico

Modo de realización: Una vez que se conoce la densidad de la fibra de cabuya, calcular la cantidad necesaria para un adobe con los siguientes porcentajes: 0.25%, 0.4%, 0.5%, 0.75%, 1%, 1.5% en relación al peso del barro.

Pesar la cantidad de cada fibra correspondiente para un adobe. Luego, ubicar dentro del molde, analizar si el porcentaje es adecuado y finalmente, documentar.

Comparar las distintas dosificaciones y con la ayuda de un experto escoger cuáles son las más pertinentes para realizar las pruebas.

Resultados:

De acuerdo a lo observado, se escoge elaborar los adobes con el 0.25% y el 0.5% de cabuya.

4.3.2. Cantidades de los componentes

4.3.2.1. Cantidad de cal

Para la cantidad de cal se debe considerar que se encuentra en función a la tierra con la que se va a fabricar los adobes. Para nuestro caso, se utilizó 8 y 12% de cal en relación al peso del barro. Para otros casos, se recomienda utilizar la metodología aplicada en el punto 4.3.1.1.2., pues su aplicación es fácil y económica.

4.3.2.2. Cantidad de agua

En general se deja reposar el barro por lo menos 24 horas, a fin de que active el agua sobre la arcilla, controlando que aquella no se coloque en exceso sino lo suficiente para obtener plasticidad en el barro, principalmente cuando ya se está elaborando el adobe, pues esto es lo que evita la generación de grietas al momento del secado de los bloques.

4.3.2.3. Cantidad de fibra de cabuya

Según lo establecido en el punto 4.3.1.2. se encuentra favorable en estos procesos utilizar fibra picada en 4cm. de largo en 2 tipos de dosificaciones: 0.25% y 0.5% en relación al peso del barro, para analizar con cuál de ellas el adobe presenta una resistencia mayor.



4.3.2.4. Cantidad de aceite de linaza

Para la cantidad de aceite de linaza, se considera el estudio: *“Influence of linseed oil on the microstructure and composition of lime and lime-metakaolin pastes after a long curing time, 2018”* que establece el uso de 1% en relación al peso o en su defecto una proporción 1:0,1 para mejorar la porosidad sin afectar la resistencia (expuesto pag 83). Además el estudio: *“Evaluación de aditivos orgánicos para intervención de la construcción prehispánica en tierra del sitio arqueológico de La Joya, Veracruz, México, a través de experimentos en el sitio, 2014”*, que también utiliza el 1% del peso para la fabricación de prototipos de muros de adobe con aceite de linaza y bitumen. Debido a estos y otros referentes, se establece utilizar el 1% y 1.5% de aceite de linaza en relación al peso del barro. (Kita & Daneels, 2014; Nunes, Mácová, Frankeová, Ševčík, & Viani, 2018)

4.3.3. Tipos de adobe para ensayos

Se generan 8 tipos de especímenes, con las variantes de cantidades de cada componente previamente definidas, para así ensayarlos y determinar el más óptimo, los cuales son:

Tipo de adobe	Cabuya (% peso)	Aceite de linaza (% peso)	Cal (% peso)	Barro (% peso)
TIPO 1	0.25	1	0	100
TIPO 2	0.25	1.5	0	100
TIPO 3	0.5	1	0	100
TIPO 4	0.5	1.5	0	100
TIPO 5	0.25	1	12	100
TIPO 6	0.25	1.5	8	100
TIPO 7	0.5	1	12	100
TIPO 8	0.5	1.5	8	100

Tabla 21. Tipo de adobes para ensayos. Benalcázar, M., Zeas, V., 2020.

4.3.4. Conclusiones

Las tirillas de pH constituyen un mecanismo económico y fácil para determinar la cantidad de cal que necesita el suelo para ser estabilizado.

La cal para uso en la construcción, a pesar de ser un material ancestralmente utilizado, se encuentra en escasa calidad, variedad y cantidad en la ciudad de Cuenca, provincia del Azuay.

Los 3 tipos de cal a los cuales se pudo acceder, cal de Guayaquil, cal de Licto y cal de Cuenca, no contaban con un control de calidad regularizado.

La fibra de cabuya, por su forma y al tener una densidad tan baja, se dificulta dosificar en relación al volumen, por lo que se realiza según su peso.

4.4. Elaboración de adobes

4.4.1. Condicionantes de los materiales

Los materiales de construcción deben ser analizados en base a sus características para ser utilizados y poder asegurar el conseguir los objetivos planteados. La cal, a pesar de ser un material ancestralmente utilizado en el campo de la construcción, ha disminuido su uso en la actualidad, perdiendo terreno en el mercado constructivo, por lo que su producción se abre campo en el sector agrícola principalmente, provocando que la cal para la construcción tenga un control de calidad menos exigente, en ciertos casos incluso inexistente.

La cal hoy en día es un material dificultoso de encontrar, incluso en la zona urbana, y complícate aún más en el sector rural, por lo que se ha comprobado que constituye un problema acuciante el obtenerlo. Conviene aclarar que hasta antes del año 2012 en el mercado existía una cal industrial que era estable, denominada P24, de Rocafuerte. Lamentablemente, por medidas restrictivas a nivel nacional, se la llegó a considerar dentro de los precursores químicos utilizados para la fabricación de droga y se limitó su producción y comercialización.

Por otra parte, a la cabuya se la puede encontrar en 2 estados que condicionan el material: uno es en forma de atado que, aunque su precio es muy accesible, tiene que pasar por un proceso de peinado que toma tiempo pero se compensa con los resultados obtenidos; la otra forma en la que encuéntrasela es como cabuya ya peinada y lista para usarse, mas ésta tiene un precio bastante elevado llegando a duplicar el costo de un simple atado de cabuya.

En cuanto al aceite de linaza, se lo consigue en puntos específicos de la ciudad, mas a pesar de

tener un costo elevado la cantidad a utilizarse no representa una limitante.

En cuanto al tipo de tierra útil para realizar adobes, en su mayoría puede ser de cualquier clase, exceptuando la tierra orgánica. Sin embargo, las tierras útiles no se las puede utilizar tal y como se las encuentra, pues también deben ser sometidas a un proceso de limpieza, tanto de materiales orgánicos -si los hubiera- como de gravas que pueden afectar a su esencia tanto en la fabricación como en la resistencia final del adobe.

4.4.2. Proceso de fabricación

4.4.2.1. **Cuidados importantes e indispensables**

Una vez seleccionada la tierra se traslada al lugar donde se va a realizar el proceso de fabricación de los adobes. En el sitio, débese prever que se cuente con una cubierta que otorgue sombra y sea lo suficientemente espaciosa para el secado de los adobes.



Ilustración 113. Cuidados importantes. Ejemplo de cubierta. Benalcázar, M., Zeas, V., 2020.



Ilustración 114. Cuidados importantes. Ejemplo de cubierta y piletón. Benalcázar, M., Zeas, V., 2020.



Ilustración 115. Modelo de cofre.
Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.



Ilustración 116. Modelo de cofre.
Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.

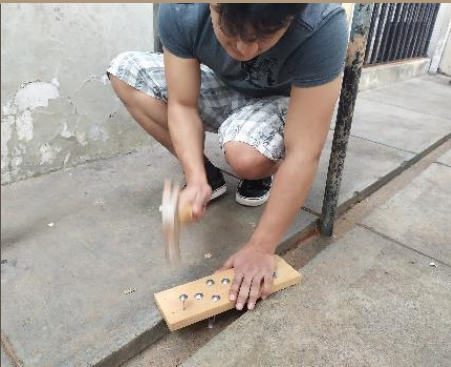


Ilustración 117. Cepillo para peinar la cabuya.
Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.



Ilustración 118. Proceso de peinado de la cabuya.
Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.

Es necesario fabricar un cofre, con las medidas del adobe, el cual debe estar correctamente lijado. Es pertinente realizar tal cofre de máximo 2 adobes, puesto que esto nos permite que no transcurra mucho tiempo entre el mojado del cofre y el desencofrado.

La cabuya por atados debe de pasar por un proceso de peinado; para lo cual, en una tabla, se colocan clavos en el extremo superior tipo cepillo, elemento que puede sujetarse en una parte alta, similar a lo que se hace en los talleres de estucos para cielo raso. En este caso, se trabajó esta pieza con un mango lo suficientemente largo para que se pueda sostener contra el piso con el pie del otro extremo. Para iniciar el peinado, se golpea y jala el atado al extremo superior, mientras se sostiene con el pie. Este proceso se realiza repetidamente hasta que el atado tenga las fibras completamente separadas y listas para cortar.

Como paso inicial en la preparación del barro se deben haber realizado los ensayos de la tierra, verificando que cuente con la adecuada presencia de arcilla, una acertada cantidad de arena y que esté libre de cantidades perjudiciales de materia orgánica, sales o grava superior a 1.5 cm.

Si la tierra cuenta con grava superior a 1.5 cm. o residuos orgánicos (raíces, hojas o tallos) se procede a retirar dichas impurezas para utilizar en la fabricación de los adobes. Se debe cernir la tierra con un tamiz de campo de malla, de 1 a 1.5cm, para evitar el paso de sustancias muy grandes.

Las sustancias que no pasan por el tamiz deben verificarse a que no sean terrones, en caso contrario se puede desterronar para reducir su tamaño y probar nuevamente en el tamiz. En caso de no pasar por el tamiz ya por contener



restos de materia orgánica o materiales externos se debe desechar el material.

4.4.2.2. Preparación del barro

Tiempo aproximado de fabricación de 150 especímenes:

- Para el reposo del barro, también llamado «putrición», deben transcurrir 6 horas de remover, alternando en 2 a 3 días el movimiento de tierra entre 2 personas adultas: 1 experimentada y otra no experimentada.
- Para el proceso de fabricación se requieren 5 horas, incluyendo la mezcla del barro con los estabilizantes previamente preparados, más el moldeo de los bloques, entre 3 personas adultas, 2 experimentadas y 1 no experimentada.

Materiales:

Cal, arena, agua, limo, fibra de cabuya, aceite de linaza y tamiz de 2cm.

Herramientas:

Pala ancha, 96, manguera, paleta, carretilla, flexómetro y balde.

Procedimiento:

El reposo del barro es el proceso que permite que la tierra active la mayor cantidad de arcilla contenida. Para esto, se traslada la tierra al piletón y en un lapso de 24 a 48 horas el material debe permanecer en hidratación sostenida. Se debe pisar continuamente. Para ello, una persona o un animal debe pisotear el barro constantemente a que opere la putrefacción del material. Se conoce que en algunos lugares utilizan el bobcat para que con su pala se realice el aplastamiento y el movimiento del barro.



Ilustración 119. Dormido del barro. Día 1. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.



Ilustración 120. Dormido del barro. Día 1. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.



Ilustración 121. Dormido del barro. Día 2. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.



Ilustración 122. Dormido del barro. Día 3. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.





Ilustración 123. Colocación de cal en el barro.
Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.



Ilustración 124.. Colocación de agua en el barro.
Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.



Ilustración 125. Colocación de cabuya en el barro.
Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.



Ilustración 126.. Colocación de aceite en el barro.
Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.

Colocación de estabilizantes y mezclado

El orden de la colocación de los estabilizantes y materiales de mejoramiento influyen significativamente en el resultado a obtener. Una vez reposado el barro, se calcula la cantidad necesaria para realizar 13 adobes de cada tipo, pues así debe procederse necesariamente para los ensayos mecánicos.

Una ves lista la cantidad de barro, si el tipo de adobe a fabricar va a contener **cal**, esta deber ser previamente apagada. Luego, se debe preveer añadir cal en pasta para facilitar el mezclado, y porque si se coloca cal en polvo directamente al barro va a absorber la humedad del mismo y puede modificar las futuras capacidades mecánicas del adobe. Sin embargo, puede pasar que a pesar de estar la cal en pasta tienda a absorber humedad del barro, por lo que se recomienda agregar agua hasta que el barro retome su estado plástico.

Después, se coloca la cabuya, la cual debe estar correctamente peinada y cortada en trozos de 4 cm, esparciéndolos de a poco, de manera uniforme, mientras se va mezclando el barro.

Finalmente se agrega el aceite de linaza sobre el barro ya mezclado y se realiza una última mixtura de los materiales para que todo el barro quede homogéneo y con una repartición equitativa de los materiales.

4.4.2.3. Elaboración de los adobes y secado

Moldeo

Este paso se puede iniciar teniendo presente que la calidad en el moldeo de los adobes se convierte en un factor clave para la vulnerabilidad del material. Se debe tener terminado el cofre y la preparación del barro.

El proceso comienza mojando el cofre, preferentemente, y sumergiéndolo en forma

completa en un envase con agua para que la mezcla no se pegue a las caras del mismo.

Con las manos con guantes o con ayuda de una pala se lanza la tierra dentro del molde hasta llenarlo. Luego, con la mano o con la ayuda de un bailejo, se empuja y se acomoda la tierra dentro del molde procurando llenar bien las esquinas. Si falta material se agrega o si sobra se retira, a fin de acabar de acomodar el barro. Una vez relleno bien el molde, salpicando unas gotas de agua con el bailejo o las manos se uniforma o se enraza la tabla (cara superior) del bloque del adobe. Este proceso se debe

realizar a gran velocidad, demorándose aproximadamente de 2 a 3 minutos por cada moldeo de 2 adobes, logrando que el molde no se seque y por ende el barro no se pegue.

Apenas acabado el moldeo, se retira cuidadosamente el cofre de manera vertical. Si el adobe no se deforma en su cara inferior, en más de 1cm, es de buena calidad la mezcla y el moldeo pudiéndose seguir realizando más elementos. Si el adobe se deforma en 1cm, apenas sacado el molde, se debe comprobar el haber realizado bien el cálculo de la dosificación o el moldeo.



Ilustración 127. Moldeo del Adobe.
PASO 1. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.



Ilustración 128. Moldeo del Adobe.
PASO 2. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.



Ilustración 129.. Moldeo del Adobe.
PASO 3. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.



Ilustración 130. Moldeo del Adobe.
PASO 4. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.



Ilustración 131. Moldeo del Adobe.
PASO 5. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.



Ilustración 132. Moldeo del Adobe.
PASO 6. Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.



Proceso de secado y apilado

El proceso de secado debe ser controlado; no debe estar sometido al sol o el viento muy directo. Es importante que este paso sea lento para que la evaporización del agua se haga muy despacio y el secado sea uniforme, eliminando el secado superficial y brusco que puede derivar en la presencia de trizaduras y resquebrajamientos que inciden directamente en la resistencia del adobe. Se cree que los mejores adobes son aquellos que han sido fabricados hace más de 2 años, puesto que se han secado tanto en su parte interna como externa. (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2017; C. Neves et al., 2011)

Se organizan y cada 2 filas se deja un espacio para poder caminar. El adobe, después del moldeo, es un producto maleable y frágil por su elevada plasticidad. Por esto, los elementos obtenidos deben permanecer en el lugar en el que fueron fabricados durante un mínimo tiempo de una a dos semanas para que no sufran deformaciones.

Pasado este tiempo, para facilitar el secado se deben colocar alternativamente a los bloques sobre la testa, entre 5 a 10 días a cada lado. Se puede espolvorear arena fina durante el proceso de secado, para eliminar restricciones durante el encogimiento del secado. Una vez volteados hay que dejarlos secar entre 14 días, dando un total de 28 días. Para finalizar se realizó el alizado. Esto ayuda a eliminar excesos dotando de una mejor apariencia al adobe. (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2017)

Una vez secos los adobes, antes de ser apilados, son marcados de la siguiente forma:

de tipo de adobe + simbología de tipo de ensayo + # de muestra.



Ilustración 133. Proceso de secado de los adobes. Secado bajo sombra. Benalcázar, M., Zeas, V., 2020.



Ilustración 134. Proceso de secado de los adobes. Volteado. Benalcázar, M., Zeas, V., 2020.



Ilustración 135. Proceso de secado de los adobes. Alizado. Benalcázar, M., Zeas, V., 2020.

Simbología de tipo de ensayo:

C = Adobes para ensayos de compresión

F = Adobes para ensayos de flexión

A = Adobes para ensayos de absorción

Ejemplo:

3F1 = Tipo 3, para ensayo de flexión, espécimen 1



Pasado un mínimo 28 días de secado, se apilan y se tapan para evitar que los lave la lluvia, se los debe apilar hasta de 1,20m de altura (6 adobes) y dejar espacio para canalizar el agua.

4.4.3. Observaciones

Para conseguir mejores resultados débense incorporar la fibra de cabuya y el aceite de linaza para el proceso de reposo del barro. Mientras que la cal se debe colocar máximo 15 minutos antes del moldeo de los adobes, puesto que si se coloca la cal y se deja pasar mucho tiempo el barro empieza a secarse rápidamente y luego, para colocar en la adobera, se pierden cualidades de cohesión entre las partículas.

La fibra de cabuya produce un polvillo que, en algunos casos de sensibilidad, puede afectar a la nariz, por lo cual se aconseja utilizar mascarilla al momento de peinar y cortar el material.

Los bloques fabricados deben protegerse y transportarse de manera tal que se eviten los golpes y caídas, puesto que se disminuye su resistencia.



5.1 Resultados de ensayos de Compresión

5.2 Resultados de ensayos de Tracción

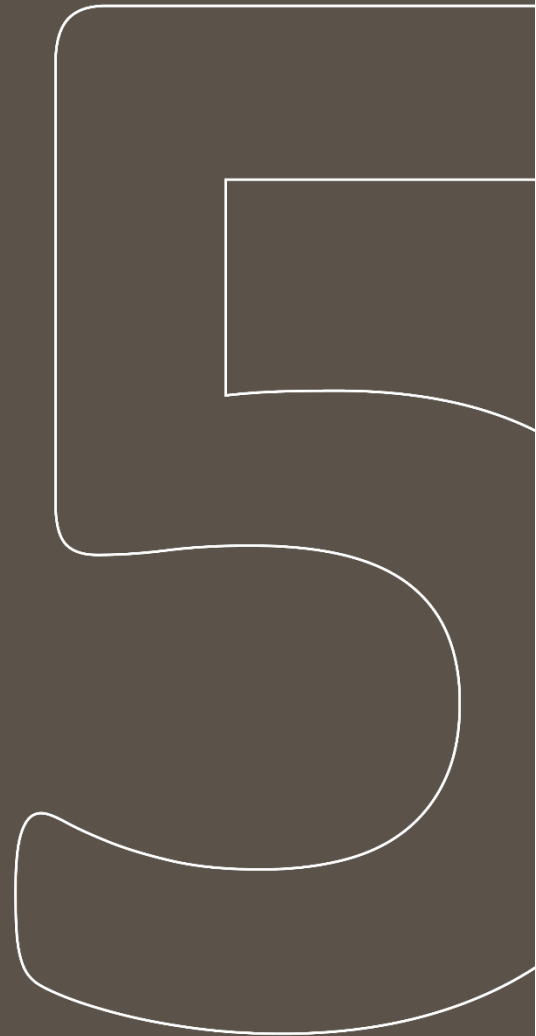
5.3 Resultados de ensayos de Absorción

5.4 Conclusiones

5.5 Recomendaciones

CAPÍTULO

Caracterización mecánica del Adobe







Capítulo 5. Caracterización mecánica del adobe

El adobe, al conformar un muro de carga, trabaja como material estructural, siendo necesario una caracterización mecánica para definir sus capacidades de soporte frente a las distintas cargas. Para la caracterización mecánica del adobe mejorado se debe tener presente que, debido al uso de estabilizantes y a la adición de materiales, varían las propiedades en relación al adobe tradicional. Por lo tanto, se deben realizar ensayos en un laboratorio de materiales para encontrar la resistencia de cada tipo de adobe mejorado y propuesto (punto 4.3.3.) frente a ejemplares de adobes tradicionales.

Se procede a realizar los ensayos de «Resistencia a la compresión», «Resistencia a la tracción» y «Resistencia a la absorción».

- La resistencia a la compresión es el esfuerzo principal al que se enfrenta el muro de adobe, ya que soporta la carga de la edificación completa.
- La resistencia a la flexión, en razón de que a pesar de que existen cargas perpendiculares al plano que generan flexión en el sistema constructivo, el adobe tradicional presenta valores muy bajos, los cuales se espera mejorar con los nuevos materiales.
- La resistencia a la absorción, debido a que con los materiales nuevos se busca mejorar la resistencia al agua, ya que es uno de los principales agentes externos que afecta gravemente a las edificaciones y que impiden su uso libremente.

A pesar de que la Normativa Ecuatoriana de Construcción, para la construcción con adobes nos remite a la «NORMA E.080 Diseño y construcción con tierra reforzada, (2017)», en

la misma no existen parámetros base para ensayar la resistencia a la compresión, flexión y absorción del bloque de adobe. Por esto, para los presentes ensayos se aplicó la Norma ASTM Standard para realizar las pruebas.

Para los siguientes ensayos se fabricaron 14 adobes por cada dosificación y en total se sometió a la prueba 112 adobes. Además, se compraron 13 adobes de paja, los mismos que al no ser elaborados bajo una normativa poseían las siguientes medidas: largo: 40cm, ancho: 20cm y alto: 17cm.



5.1. Resistencia a la compresión

Utilidad de la prueba: Ensayo de resistencia a la compresión de los adobes

Tiempo de prueba: Aproximadamente 30 minutos por muestra - después de 28 días de elaboración de los adobes.

Tamaño de muestra: Muestras de adobes de 40 x 20 x 10cm. 5 unidades enteras secas de tamaño completo por cada tipo.

Materiales y equipo: Máquina universal de ensayos, deformímetro, regla, marcador, macilla.

Referencia: ASTM Standard. American Association State Highway and Transportation Officials Standard AASHTO No. T 32-70. Designation: C67-03a. «*Standard Test Methods for Sampling and Testing Brick and Structural Clay Tile*».

Modo de realización: Luego de 28 días de secado de las muestras de adobe se inicia el proceso de ensayo.

Se pesa en una balanza sensible a 0,5g y se mide cada muestra. Apoyar la muestra horizontal, de tal forma que la carga se aplique en la profundidad de la unidad. Aplique la carga a la superficie superior a través de una placa de acero de espesor de al menos 6,35mm. Ajustar la carga para que ejerza una fuerza uniforme a la compresión en todo el bloque, a una velocidad de no más de 1.27mm/min.

Luego de iniciar el proceso en la máquina general de ensayos, con la ayuda de un deformímetro, obtener los datos necesarios para calcular el esfuerzo, la deformación unitaria y posteriormente el módulo de elasticidad. Además, se toma una fotografía de la rotura de cada uno, procediendo a documentar en los anexos de la investigación.

Todas las muestras deben ser iguales o mayores a 1 MPa o 10,2kgf/cm² de resistencia última.

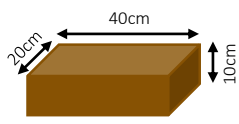
Finalmente, se realiza un análisis de cada tipo de adobe, determinando una resistencia promedio, para proceder a generar resultados y conclusiones.

Resultados:

En este ensayo se ocuparon 5 adobes por cada dosificación y se ejecutó hasta que el espécimen alcance su falla para luego comparar el comportamiento frente a los especímenes de diferentes dosificaciones.

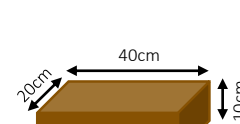
Podemos observar que la tendencia se mantiene entre los especímenes que no contienen cal frente a los que sí contienen cal, mientras que en el primer caso la mayoría de los especímenes supera el 1,7 MPa de esfuerzo máximo; en el segundo caso, tanto los especímenes que contienen cal al 8% como al 12% no superan el 0,9MPa de esfuerzo máximo. Por otra parte, en la *tabla 30* se muestra que el adobe tradicional no supera el 1Mpa.

En la *Gráfica 13* se muestra un resumen de los resultados obtenidos donde se marca con una línea roja la resistencia última según la norma ASTM C67-03a, destacando que únicamente las 4 primeras dosificaciones superan el mínimo establecido por la norma que es 1Mpa.

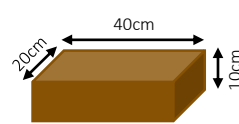
Código	Esfuerzo Max. (MPa)
1C1	1,97
1C2	1,62
1C3	1,91
1C4	1,44
1C5	1,44
Promedio	1,68

Tabla 22. Esfuerzo máximo promedio. (ADOBE TIPO 1). Benalcázar, M., Zeas, V.,2021.



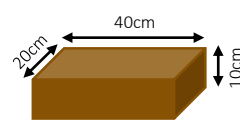
Código	Esfuerzo Max. (MPa)
2C1	1,83
2C2	1,46
2C3	1,68
2C4	1,76
2C5	1,74
Promedio	1,69

Tabla 23. Esfuerzo máximo promedio. (ADOBE TIPO 2). Benalcázar, M., Zeas, V.,2021.



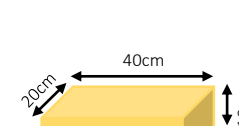
Código	Esfuerzo Max. (MPa)
3C1	1,76
3C2	1,93
3C3	1,67
3C4	1,84
3C5	1,86
Promedio	1,81

Tabla 24. Esfuerzo máximo promedio. (ADOBE TIPO 3). Benalcázar, M., Zeas, V.,2021.



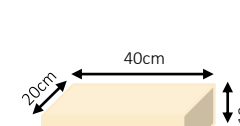
Código	Esfuerzo Max. (MPa)
4C1	1,83
4C2	1,70
4C3	1,81
4C4	1,75
4C5	1,94
Promedio	1,81

Tabla 25. Esfuerzo máximo promedio. (ADOBE TIPO 4). Benalcázar, M., Zeas, V.,2021.



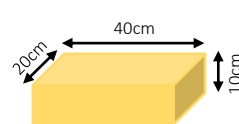
Código	Esfuerzo Max. (MPa)
5C1	0,65
5C2	0,67
5C3	0,57
5C4	0,57
5C5	0,85
Promedio	0,66

Tabla 26. Esfuerzo máximo promedio. (ADOBE TIPO 5). Benalcázar, M., Zeas, V.,2021.



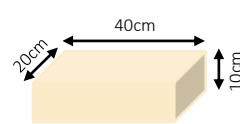
Código	Esfuerzo Max. (MPa)
6C1	0,47
6C2	0,87
6C3	0,73
6C4	0,80
6C5	0,59
Promedio	0,69

Tabla 27. Esfuerzo máximo promedio. (ADOBE TIPO 6). Benalcázar, M., Zeas, V.,2021.



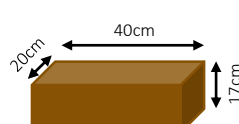
Código	Esfuerzo Max. (MPa)
7C1	0,55
7C2	0,78
7C3	0,86
7C4	0,61
7C5	0,77
Promedio	0,71

Tabla 28. Esfuerzo máximo promedio. (ADOBE TIPO 7). Benalcázar, M., Zeas, V.,2021.



Código	Esfuerzo Max. (MPa)
8C1	0,76
8C2	0,66
8C3	0,70
8C4	0,63
8C5	0,53
Promedio	0,66

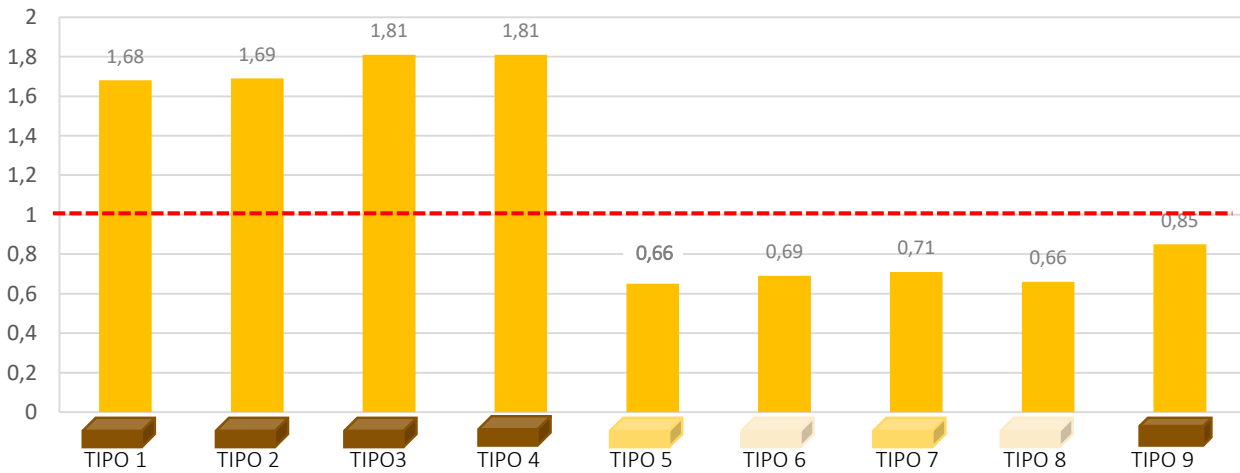
Tabla 29. Esfuerzo máximo promedio. (ADOBE TIPO 8). Benalcázar, M., Zeas, V.,2021.



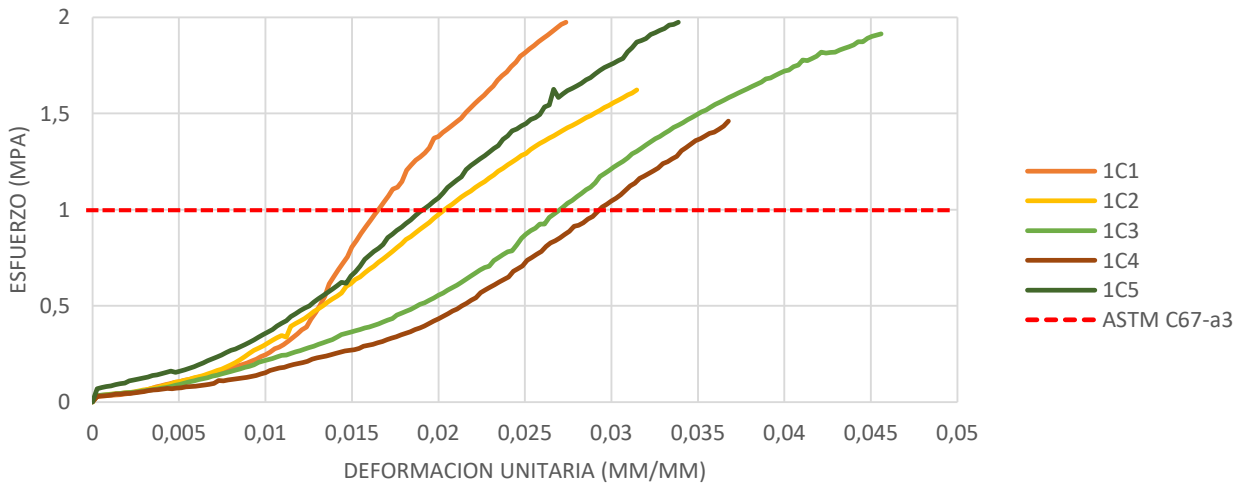
Código	Esfuerzo Max. (MPa)
9C1	0,71
9C2	0,88
9C3	0,80
9C4	0,95
9C5	0,92
Promedio	0,85

Tabla 30. Esfuerzo máximo promedio. (ADOBE TRADICIONAL). Benalcázar, M., Zeas, V.,2021.

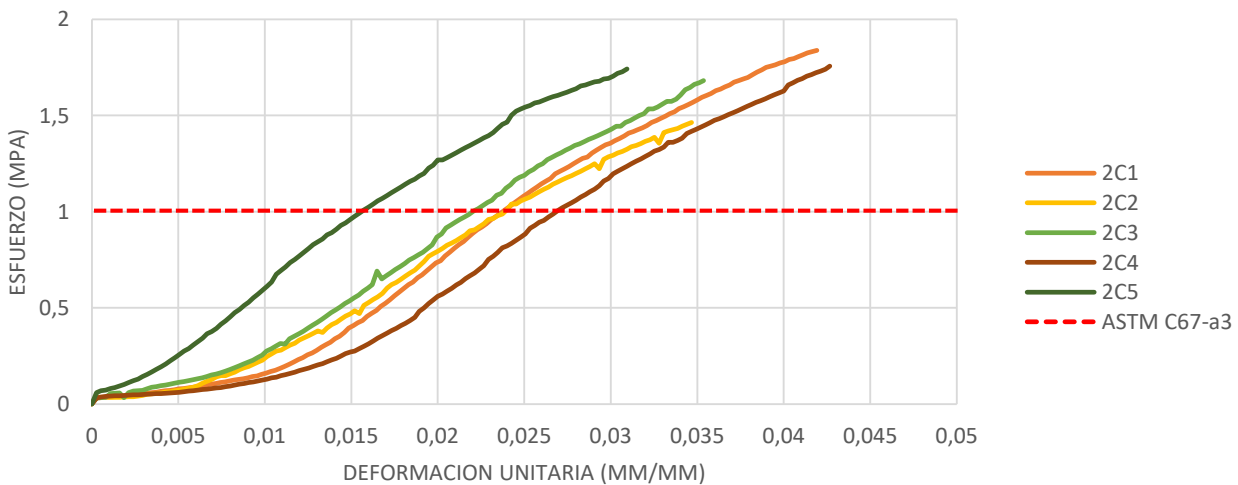




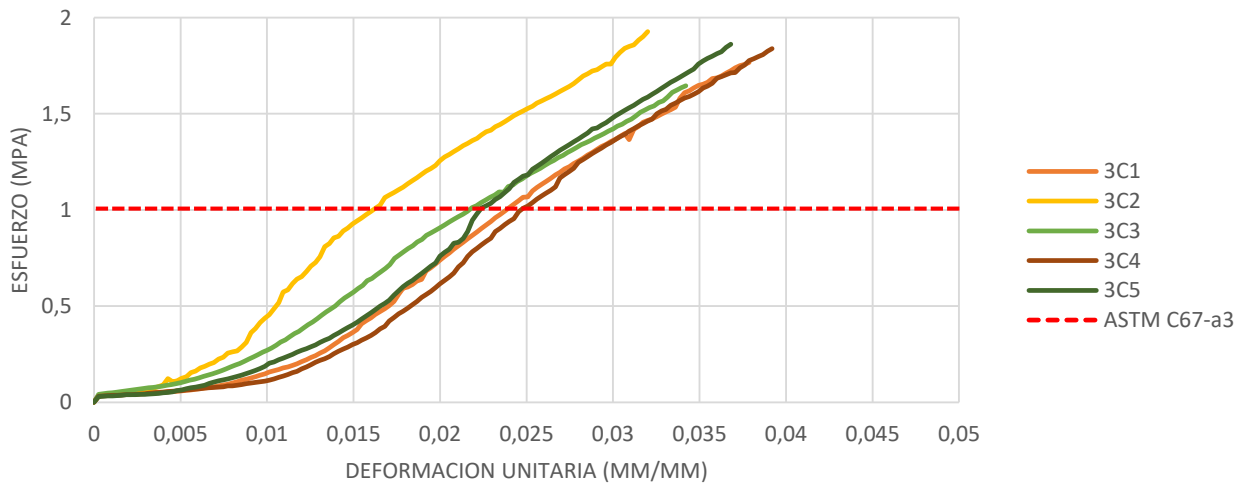
Gráfica 13. Comparación de resultados. Ensayo de Compresión. (MPa). Benalcázar, M., Zeas, V.,2021.



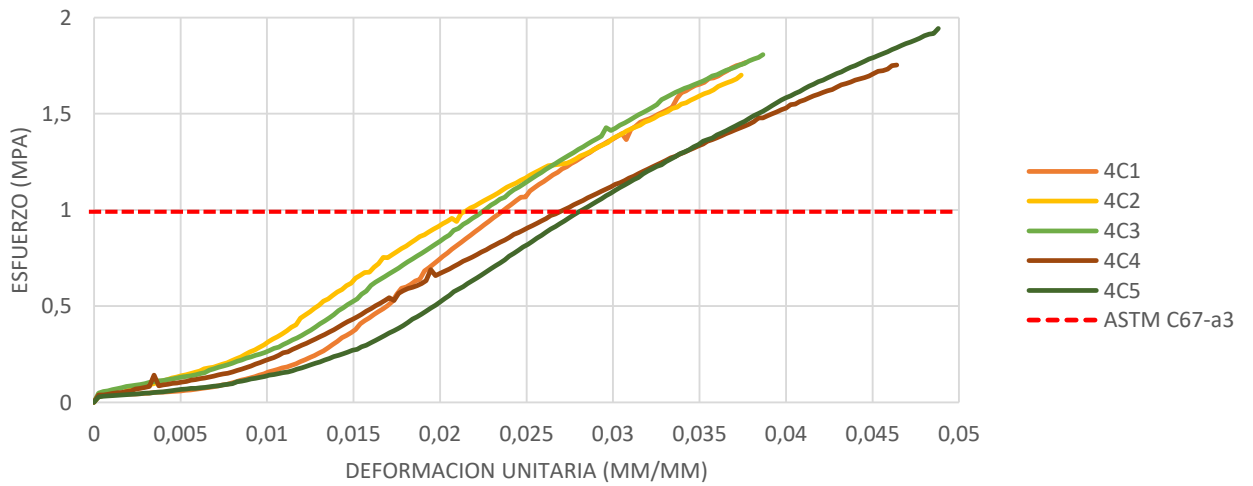
Gráfica 14. Diagrama Esfuerzo/Deformación Unitaria. Ensayo de Compresión. (ADOBE TIPO 1). Benalcázar, M., Zeas, V.,2021.



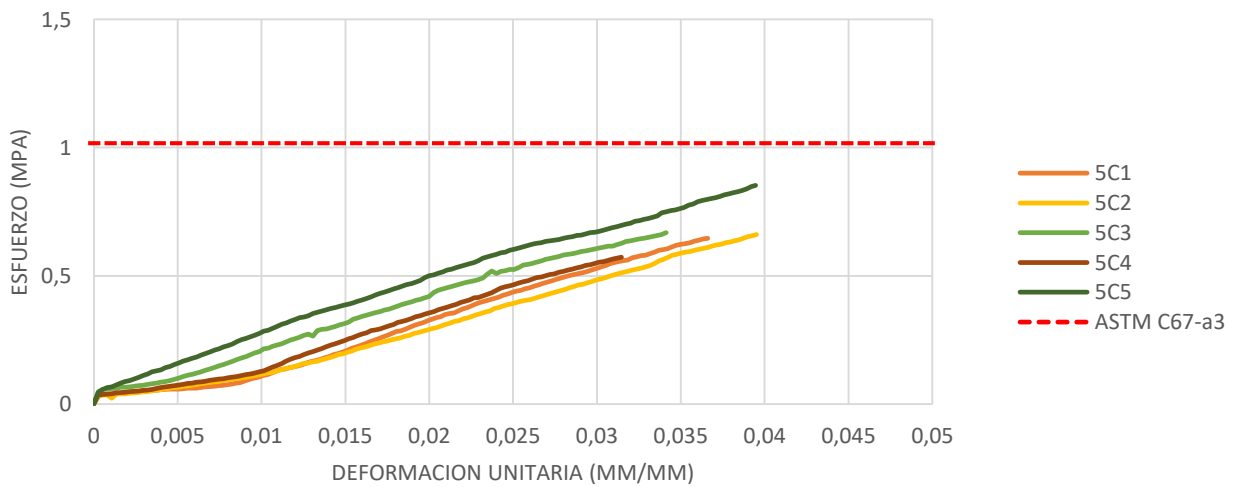
Gráfica 15. Diagrama Esfuerzo/Deformación Unitaria. Ensayo de Compresión. (ADOBE TIPO 2). Benalcázar, M., Zeas, V.,2021.



Gráfica 16. Diagrama Esfuerzo/Deformación Unitaria. Ensayo de Compresión. (ADOBE TIPO 3). Benalcázar, M., Zeas, V., 2021.

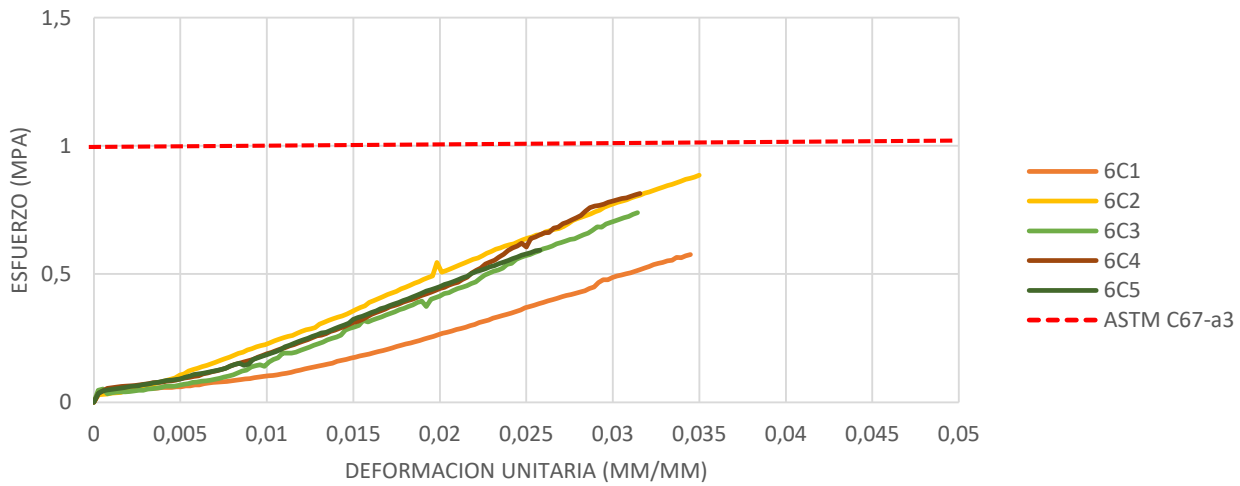


Gráfica 17. Diagrama Esfuerzo/Deformación Unitaria. Ensayo de Compresión. (ADOBE TIPO 4). Benalcázar, M., Zeas, V., 2021.

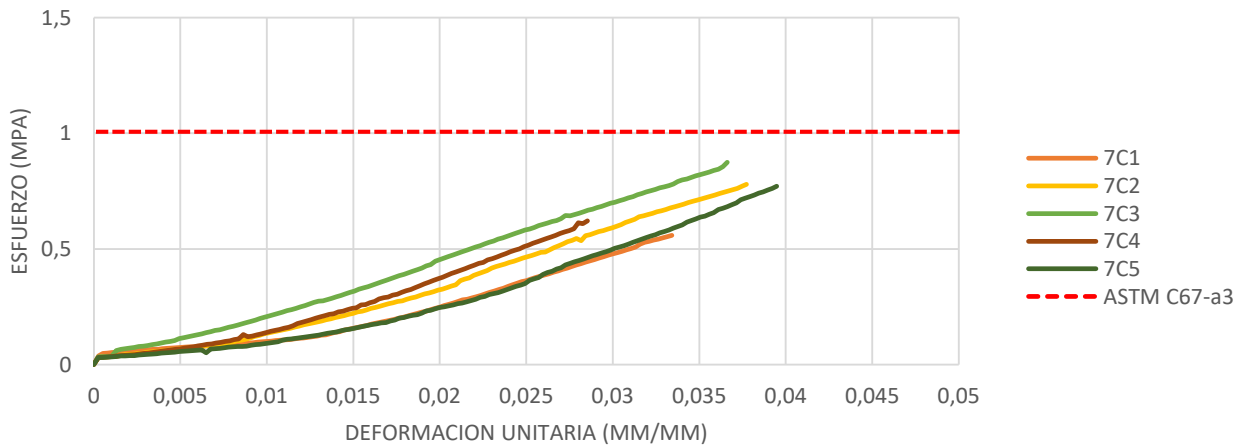


Gráfica 18. Diagrama Esfuerzo/Deformación Unitaria. Ensayo de Compresión. (ADOBE TIPO 5). Benalcázar, M., Zeas, V., 2021.

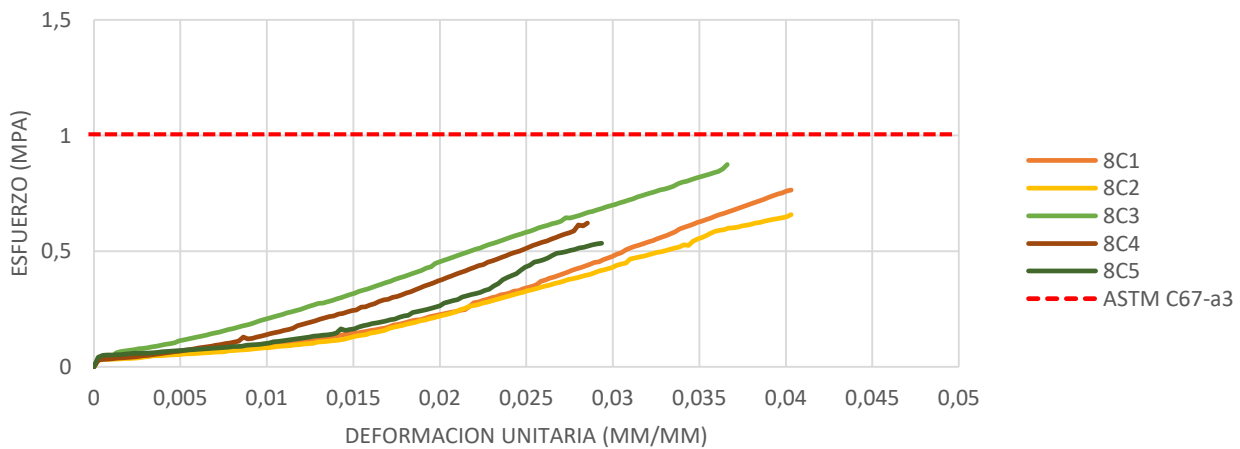




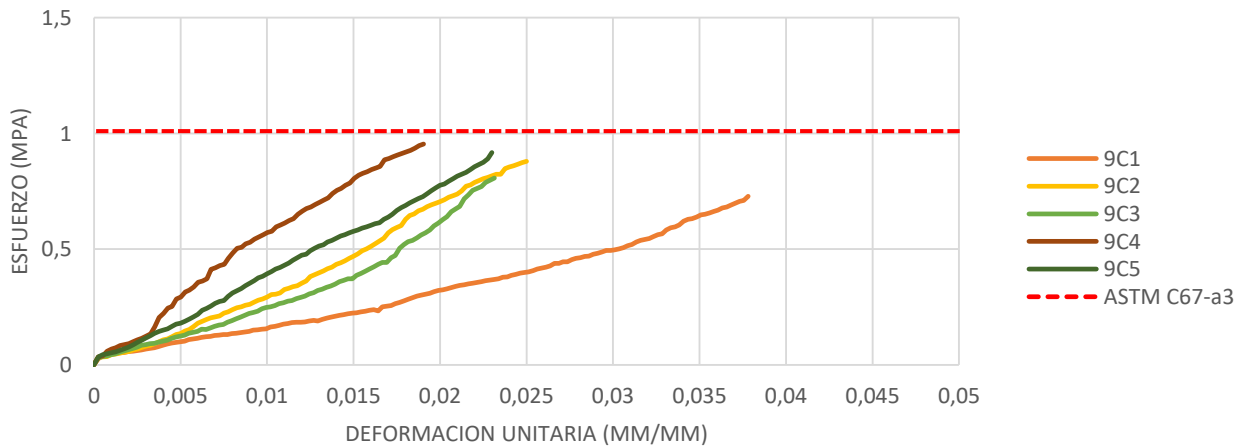
Gráfica 19. Diagrama Esfuerzo/Deformación Unitaria. Ensayo de Compresión. (ADOBE TIPO 6). Benalcázar, M., Zeas, V., 2021.



Gráfica 20. Diagrama Esfuerzo/Deformación Unitaria. Ensayo de Compresión. (ADOBE TIPO 7). Benalcázar, M., Zeas, V., 2021.



Gráfica 21. Diagrama Esfuerzo/Deformación Unitaria. Ensayo de Compresión. (ADOBE TIPO 8). Benalcázar, M., Zeas, V., 2021.



Gráfica 22. Diagrama Esfuerzo/Deformación Unitaria. Ensayo de Compresión. (ADOBE TRADICIONAL). Benalcázar, M., Zeas, V., 2021

Como se puede observar en las gráficas resultantes ningún espécimen presenta un fallo como tal. Para suplir esta dificultad se estableció que el ensayo finalice cuando alcanzaba un aplastamiento de 14mm; de esta forma todos los especímenes mantenían las mismas condiciones de ensayo.

Los resultados se ven reflejados en el estado final de los especímenes. Como se puede observar en la *Ilustración 136 y 137* las cuatro primeras dosificaciones, *Gráfica 14, 15, 16 y 17*; además de obtener unos resultados positivos - superando lo establecido por la norma- su estado mantiene su firmeza. Por otro lado, los adobes que contenían cal en su dosificación sufrieron una desintegración significativa en las esquinas, motivo por el que tuvieron un comportamiento que no logra superar lo impuesto por la norma. A causa de este motivo se comparó el estado final, como se observa en la *Ilustración 138 y 139*.

Los resultados de los adobes tradicionales que se venden normalmente obtuvieron resultados un tanto diferentes; en la *Gráfica 21* los especímenes no mantienen una tendencia similar como en los casos anteriores. Esto se ve reflejado en su estado final, puesto que sufren grandes fracturas y enormes desprendimientos

como se muestra en la *Ilustración 140 y 141*. De igual manera se observa que los adobes tradicionales no llevan paja en su mezcla y en su mayoría los desprendimientos fueron causados por gravas de tamaño significativo.

Conclusiones

Aunque no se observa una mejora notable en el esfuerzo máximo de material frente al ensayo de compresión en cubos de 10cm de arista, destaca una mejora importante en el comportamiento final del espécimen; esto debido a que las fibras de cabuya brindan mayor cohesión evitando que el adobe se fragmente o se desprenda.

Existe una notable diferencia con lo que respecta a los especímenes conformados por cal. Queda claro que la cal apagada no tiene los procesos adecuados de producción, lo que afectó significativamente la constitución de estos especímenes, a tal punto que las fibras de cabuya no actúan, dejando que el material se desintegre.

Para obtener los mejores resultados o al menos los datos requeridos queda claro que el adobe es un elemento que se debe fabricar en la obra, puesto que tal como el caso del adobe tradicional, el cual fue comprado sin tener ningún control en su fabricación, la falta de fibras y el exceso de gravas provocaron una baja resistencia y un comportamiento



deficiente; esto en una construcción convencional puede comprometer la estructura de la edificación y el bienestar de quienes lo residen.

Como resultado final se obtuvo que los especímenes con mejores capacidades sean los adobes mejorados tipo 3 (cabuya: 0,5% y aceite de linaza: 1%) y tipo 4 (cabuya: 0,5% y aceite de linaza: 1,5%) con un esfuerzo máximo promedio de 1,81MPa, seguido de los adobes tipo 2 (cabuya: 0,25% y aceite de linaza: 1,5%) con un esfuerzo máximo promedio de 1,69MPa.



Ilustración 136. Adobes mejorados después del ensayo de Compresión. Tipo 1 y 2. Benalcázar, M., Zeas, V., 2020.



Ilustración 137. Adobes mejorados después del ensayo de Compresión. Tipo 4. Benalcázar, M., Zeas, V., 2020.



Ilustración 140. Adobe tradicional sometido a Compresión. Benalcázar, M., Zeas, V., 2020.



Ilustración 138. Adobes mejorados después del ensayo de Compresión. Tipo 5 y 6. Benalcázar, M., Zeas, V., 2020.



Ilustración 141. Adobe tradicional sometido a Compresión. Benalcázar, M., Zeas, V., 2020.



Ilustración 139. Adobes mejorados después del ensayo de Compresión. Tipo 7 y 8. Benalcázar, M., Zeas, V., 2020.



5.2. Resistencia a la flexión

Utilidad de la prueba: Ensayo de resistencia a la compresión de los adobes

Tiempo de prueba: Aproximadamente 30 minutos por muestra después de 28 días de elaboración de los adobes.

Tamaño de la muestra: 5 muestras de adobes de 40 x 20 x 10cm por cada tipo.

Materiales y equipo: Máquina universal de ensayos, deformímetro, regla, marcador, macilla.

Referencia: ASTM Standard. American Association State Highway and Transportation Officials Standard AASHTO No. T 32-70. Designation: C67-03a. «*Standard Test Methods for Sampling and Testing Brick and Structural Clay Tile*».

Modo de realización: Luego de 28 días de secado de las muestras de adobe, iníciase el proceso de ensayo.

Se pesa en una balanza sensible a 0,5g y se mide cada muestra. Apoyar la muestra horizontal, de tal forma que la carga se aplique en la profundidad de la unidad. Aplique la carga a la superficie superior a través de una placa de acero de espesor de al menos 6,35mm con un ancho de tamaño mínimo del ancho del adobe. Ajustar los apoyos para que se encuentren en un tramo de aproximadamente 1 pulgada (25,4 mm), menos que la longitud de la unidad básica y cargado en el tramo medio a una velocidad de no más de 1.27mm/min.

Luego de iniciar el proceso en la máquina general de ensayos, con la ayuda de un deformímetro se obtienen los datos necesarios para calcular el esfuerzo, la deformación unitaria y posteriormente el módulo de elasticidad. Además, se toma una fotografía de la rotura de cada uno, procediendo a documentar en los anexos de la investigación.

Todas las muestras deben ser iguales o mayores a 0.08 MPa o 0.81 kgf/cm² de resistencia última.

Finalmente, se realiza un análisis de cada tipo de adobe, determinando una resistencia promedio, para proceder a generar resultados y conclusiones.

Resultados:



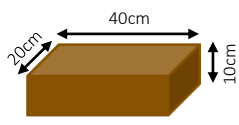
Ilustración 142. Adobe tradicional sometido a flexión.
Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.



Ilustración 143. Adobe tradicional sometido a flexión.
Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.

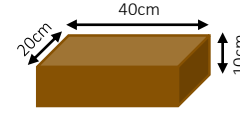


Ilustración 144. Adobe tradicional sometido a flexión.
Benalcázar, M., Zeas, V.,2020.

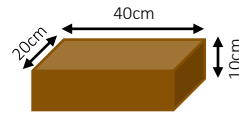
Código	Esfuerzo Max. (MPa)
1F1	0,65
1F2	0,57
1F3	0,77
1F4	0,58
1F5	0,58
Promedio	0,63

Tabla 31. Esfuerzo máximo promedio. (ADOBE TIPO 1). Benalcázar, M., Zeas, V.,2021.



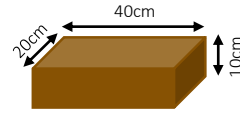
Código	Esfuerzo Max. (MPa)
2F1	0,63
2F2	0,58
2F3	0,41
2F4	0,36
2F5	0,36
Promedio	0,47

Tabla 32. Esfuerzo máximo promedio. (ADOBE TIPO 2). Benalcázar, M., Zeas, V.,2021.



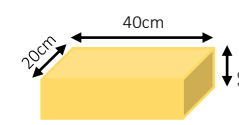
Código	Esfuerzo Max. (MPa)
3F1	0,47
3F2	0,52
3F3	0,45
3F4	0,60
3F5	0,48
Promedio	0,50

Tabla 33. Esfuerzo máximo promedio. (ADOBE TIPO 3). Benalcázar, M., Zeas, V.,2021.



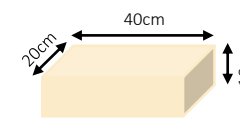
Código	Esfuerzo Max. (MPa)
4F1	0,54
4F2	0,66
4F3	0,50
4F4	0,58
4F5	0,22
Promedio	0,50

Tabla 34. Esfuerzo máximo promedio. (ADOBE TIPO 4). Benalcázar, M., Zeas, V.,2021.



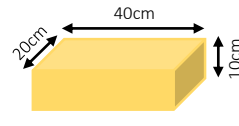
Código	Esfuerzo Max. (MPa)
5F1	0,17
5F2	0,27
5F3	0,34
5F4	0,32
5F5	0,29
Promedio	0,28

Tabla 35. Esfuerzo máximo promedio. (ADOBE TIPO 5). Benalcázar, M., Zeas, V.,2021.



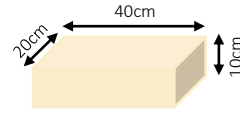
Código	Esfuerzo Max. (MPa)
6F1	0,47
6F2	0,36
6F3	0,38
6F4	0,41
6F5	0,42
Promedio	0,41

Tabla 36. Esfuerzo máximo promedio. (ADOBE TIPO 6). Benalcázar, M., Zeas, V.,2021.



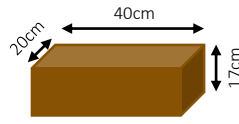
Código	Esfuerzo Max. (MPa)
7F1	0,50
7F2	0,50
7F3	0,38
7F4	0,47
7F5	0,46
Promedio	0,46

Tabla 37. Esfuerzo máximo promedio. (ADOBE TIPO 7). Benalcázar, M., Zeas, V.,2021.



Código	Esfuerzo Max. (MPa)
8F1	0,42
8F2	0,14
8F3	0,07
8F4	0,20
8F5	0,14
Promedio	0,19

Tabla 38. Esfuerzo máximo promedio. (ADOBE TIPO 8). Benalcázar, M., Zeas, V.,2021.



Código	Esfuerzo Max. (MPa)
9F1	0,20
9F2	0,28
9F3	0,26
9F4	0,26
9F5	0,22
Promedio	0,24

Tabla 39. Esfuerzo máximo promedio. (ADOBE TRADICIONAL). Benalcázar, M., Zeas, V.,2021.



Se puede observar que los resultados individuales de cada espécimen no son consistentes frente a sus similares, como lo establece la *Tabla 34*, donde el espécimen 4F5 tiene un Esfuerzo Máximo de 0,22MPa siendo éste inferior a sus homónimos, los cuales superan el 0,5MPa. Sin embargo, la *Gráfica 23* muestra que las primeras dosificaciones siguen teniendo resultados superiores frente a los especímenes que se fabricaron con cal.

Por otra parte, en los adobes tradicionales se encontraron algunas inconsistencias que favorecieron sus resultados. Entre las más destacables están: la cantidad considerable de material orgánico como ramas y raíces (*Ilustración 145*) y la incorporación de un pedazo de cuerda, consecuencia de la falta de control en la fabricación (*Ilustración 146*). A pesar de esto, la incorporación de paja era mínima, pues ésta solo se encontraba en la cara superior.

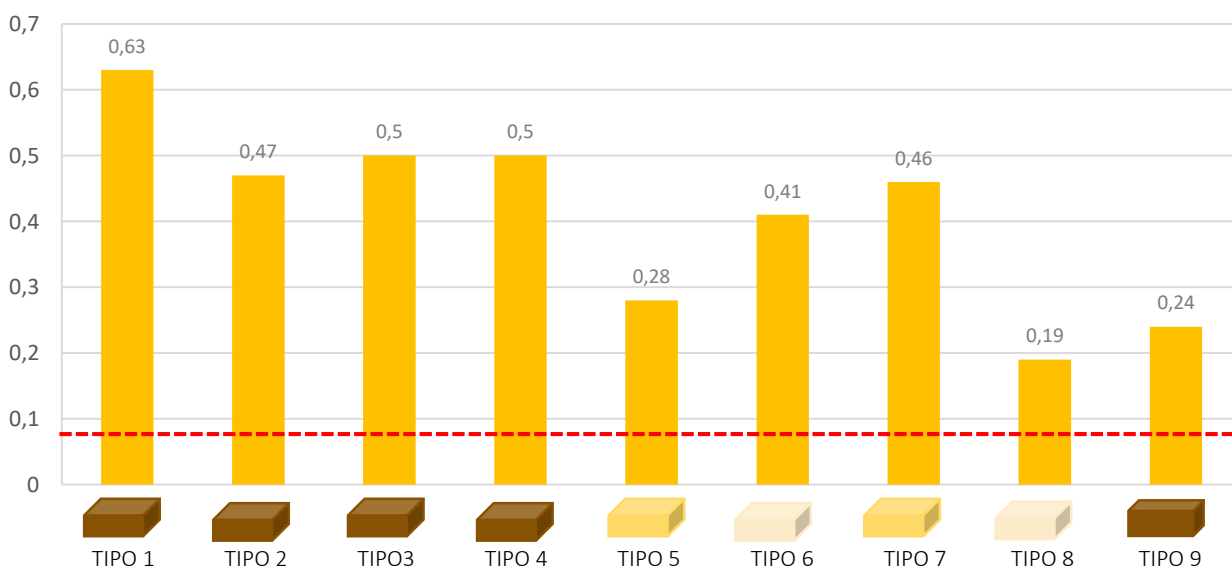
A continuación, se muestran las Gráficas para analizar el comportamiento de los especímenes a lo largo del ensayo de flexión:



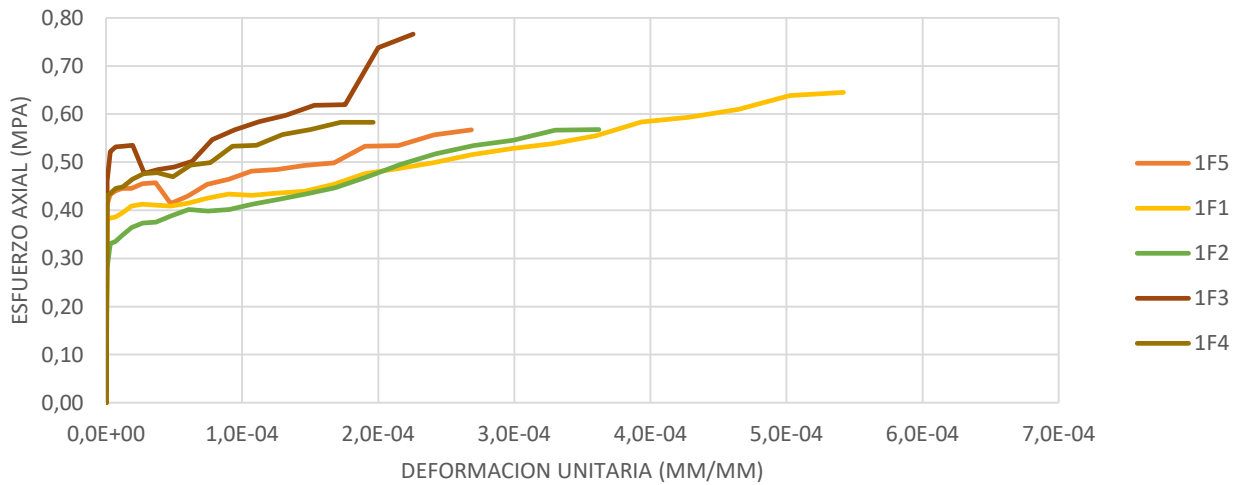
Ilustración 145. Soga en Adobe Tradicional de prueba. Benalcázar, M., Zeas, V., 2020.



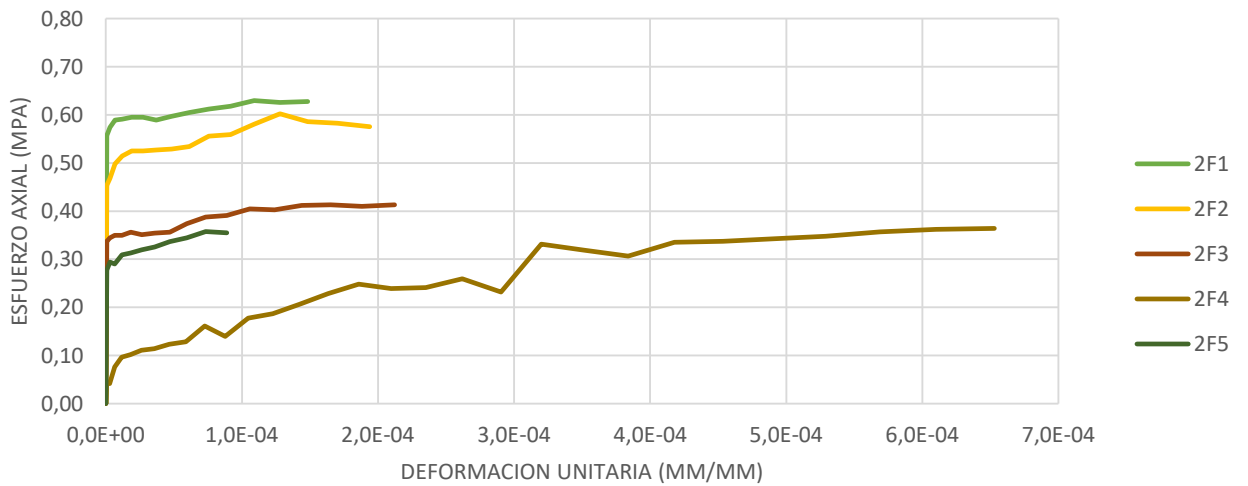
Ilustración 146. Material orgánico en Adobe Tradicional de prueba. Benalcázar, M., Zeas, V., 2020.



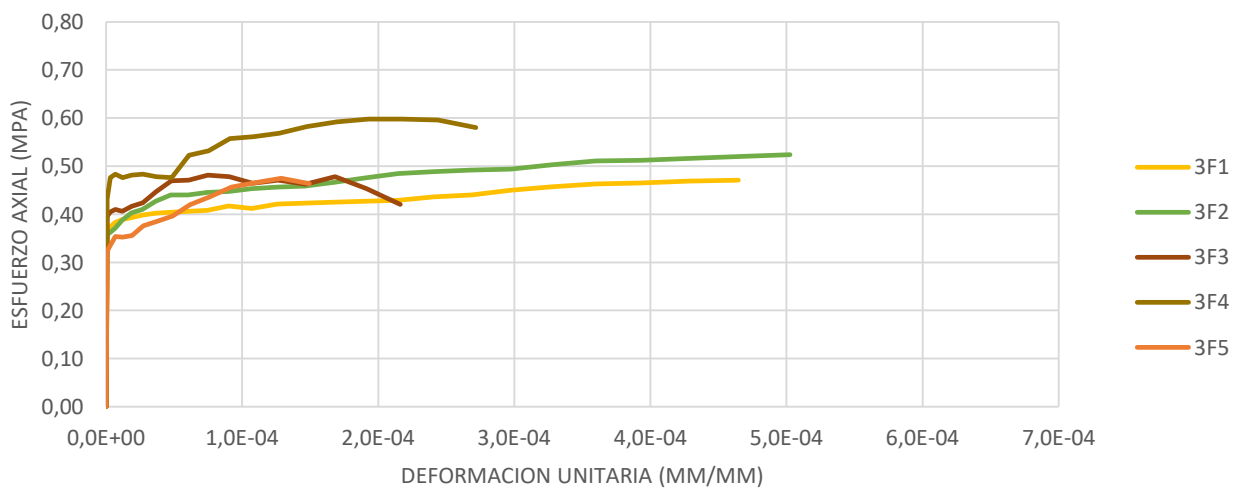
Gráfica 23. Comparación de resultados. Ensayo de Flexión. (MPa). Benalcázar, M., Zeas, V., 2021.



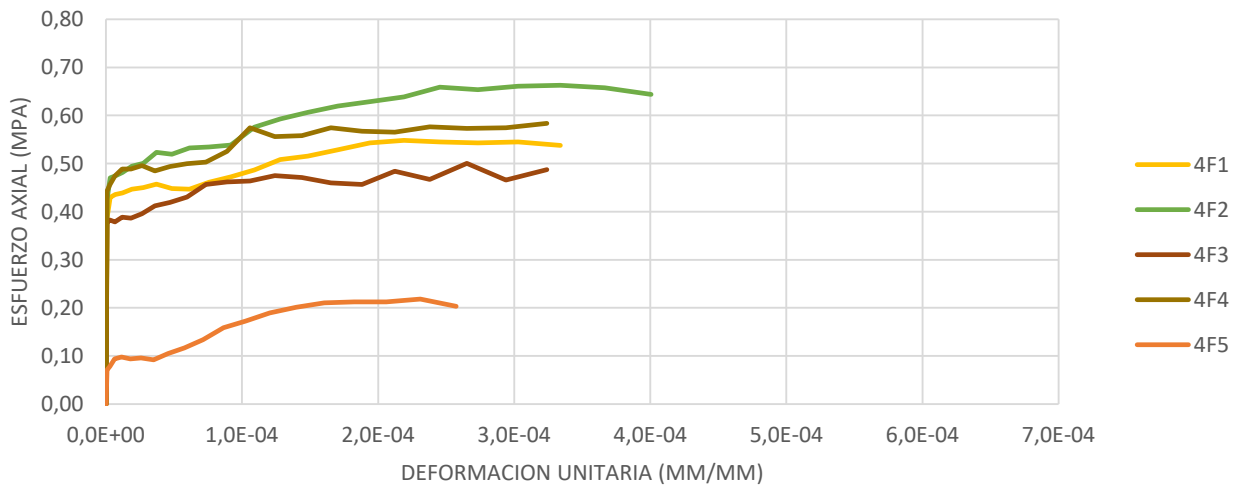
Gráfica 24. Diagrama Esfuerzo/Deformación Unitaria. Ensayo de Flexión. (ADOBE TIPO 1). Benalcázar, M., Zeas, V., 2021



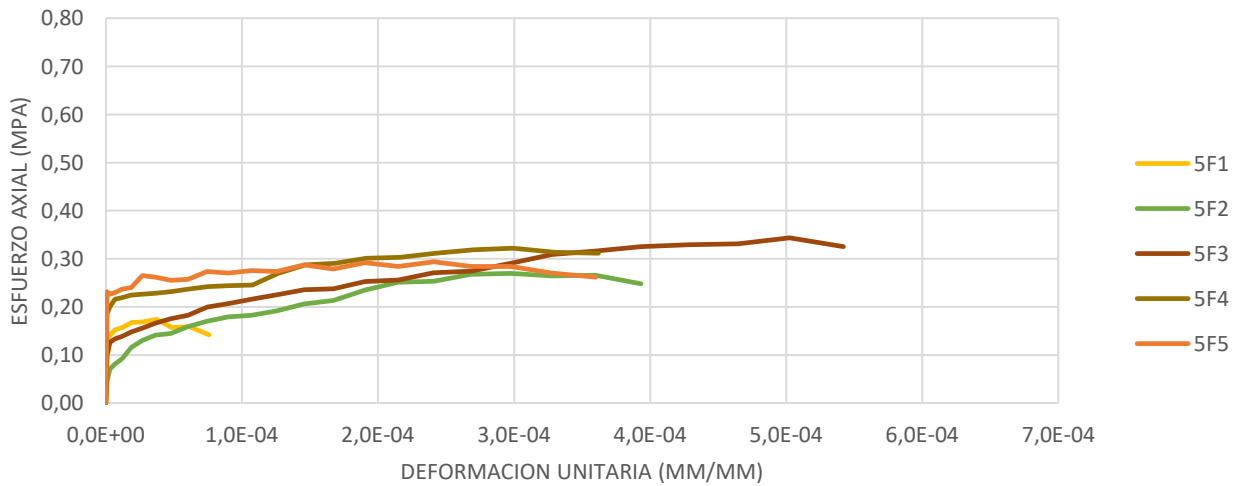
Gráfica 25. Diagrama Esfuerzo/Deformación Unitaria. Ensayo de Flexión. (ADOBE TIPO 2). Benalcázar, M., Zeas, V., 2021



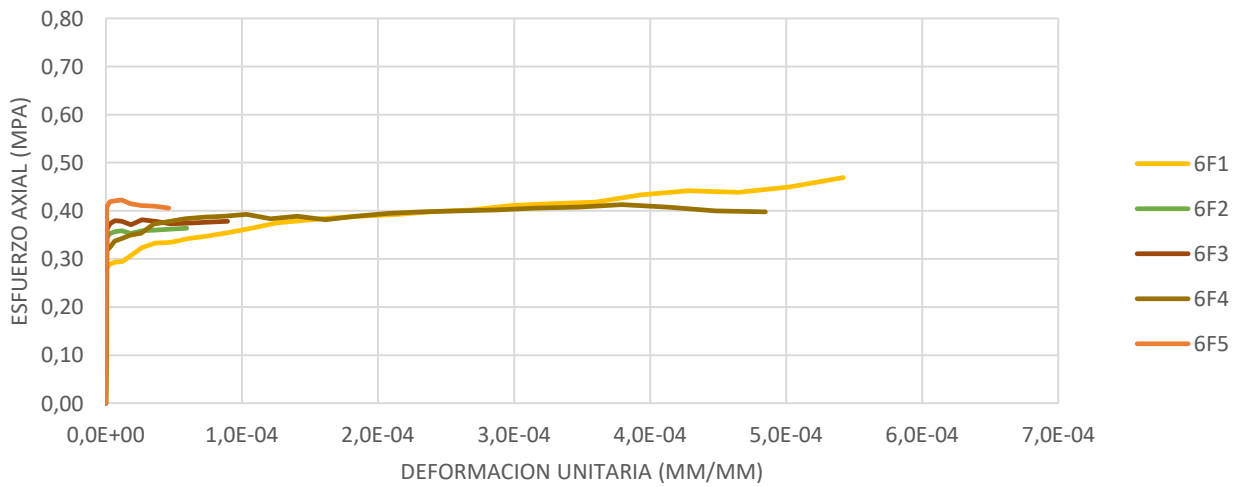
Gráfica 26. Diagrama Esfuerzo/Deformación Unitaria. Ensayo de Flexión. (ADOBE TIPO 3). Benalcázar, M., Zeas, V., 2021



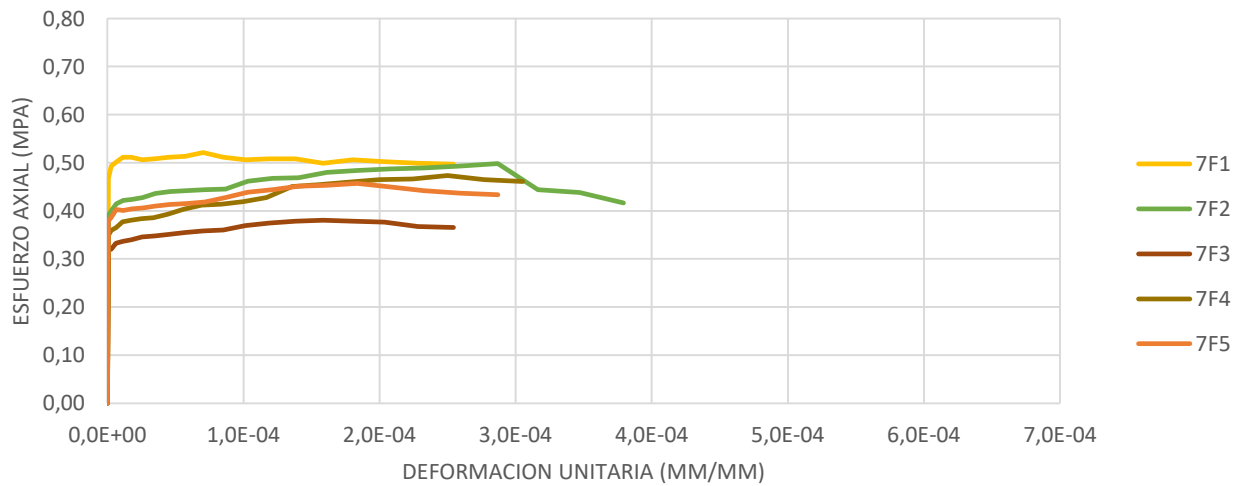
Gráfica 27. Diagrama Esfuerzo/Deformación Unitaria. Ensayo de Flexión. (ADOBE TIPO 4). Benalcázar, M., Zeas, V., 2021



Gráfica 28. Diagrama Esfuerzo/Deformación Unitaria. Ensayo de Flexión. (ADOBE TIPO 5). Benalcázar, M., Zeas, V., 2021



Gráfica 29. Diagrama Esfuerzo/Deformación Unitaria. Ensayo de Flexión. (ADOBE TIPO 6). Benalcázar, M., Zeas, V., 2021



Gráfica 30. Diagrama Esfuerzo/Deformación Unitaria. Ensayo de Flexión. (ADOBE TIPO 7). Benalcázar, M., Zeas, V., 2021



Gráfica 31. Diagrama Esfuerzo/Deformación Unitaria. Ensayo de Flexión. (ADOBE TIPO 8). Benalcázar, M., Zeas, V., 2021



Gráfica 32. Diagrama Esfuerzo/Deformación Unitaria. Ensayo de Flexión. (ADOBE TRADICIONAL). Benalcázar, M., Zeas, V., 2021



En las *Gráficas 28, 29, 30 y 31* se muestran los resultados de los especímenes que contienen cal en su mezcla, que al igual que en los especímenes anteriores las fibras mantienen el mismo comportamiento. Sin embargo, la baja cohesión de la tierra con las fibras, como se evidenció en el ensayo de compresión, no consigue el mismo esfuerzo máximo.

Por otra parte, en la *Gráfica 32* los adobes tradicionales tienen un comportamiento distinto causado por los defectos antes mencionados, alcanzando el fallo de manera directa y haciendo que el elemento sea poco confiable al momento de brindar seguridad. En la misma gráfica puede observarse el efecto de la soga en el espécimen 9F2.

Conclusiones

Comparando los resultados con el ensayo de flexión indirecta, realizada a los cilindros de 15.24cm de diámetro x 30.48cm de largo, la mejora es notable teniendo especímenes que superan el esfuerzo máximo de 0,6MPa. Sin embargo, la mejora más importante es el comportamiento de las fibras de cabuya, las que impiden que los especímenes fallen de forma directa brindando más fiabilidad al elemento en una construcción.

Al igual que en el ensayo a compresión existe una notable diferencia con lo que respecta a los especímenes conformados por cal. Queda claro pues que la cal apagada no tiene los procesos adecuados de producción o que las dosificaciones aplicadas no son las requeridas, lo que afectó significativamente a la constitución de estos especímenes, a tal punto que las fibras de cabuya no cohesionaron con la tierra evitando que las fibras trabajen de manera correcta dando resultado bajos.

Encontrar material orgánico y pedazos de soga en los adobes tradicionales evidencia el nulo control en su construcción. Esto da como

resultado un comportamiento poco fiable del elemento, comprometiendo gravemente una edificación.

Como resultado final se obtiene que los especímenes con mejores capacidades son los adobes tipo 1 (cabuya: 0,25% y aceite de linaza: 1,5%) con un esfuerzo máximo promedio de 0,63MPa, seguido de los adobes tipo 3 (cabuya: 0,5% y aceite de linaza: 1%) y tipo 4 (cabuya: 0,5% y aceite de linaza: 1,5%) con un esfuerzo máximo promedio de 0,50MPa.



5.3. Absorción

Utilidad de la prueba: Ensayo de resistencia a la compresión de los adobes

Tiempo de prueba: Aproximadamente 30 minutos por muestra, después de 28 días de elaboración de los adobes.

Tamaño de la muestra: Muestras de adobes de 40 x 20 x 10cm. 5 unidades enteras secas de tamaño completo por cada tipo.

Materiales y equipo: Máquina universal de ensayos, deformímetro, regla, marcador, macilla.

Referencia: ASTM Standard. American Association State Highway and Transportation Officials Standard AASHTO No. T 32-70. Designation: C67-03a. «*Standard Test Methods for Sampling and Testing Brick and Structural Clay Tile*».

Modo de realización: Luego de 28 días de secado de las muestras de adobe se inicia el proceso de ensayo.

Se pesa en una balanza sensible a 0,5g y se mide cada muestra. Las probetas deben consistir en medio o bloque entero que se encuentren en buen estado, libres de grietas. Se ensayarán cinco muestras.

Se realizan ensayos de inmersión de 5h y 24h. Para esto, las muestras deben estar correctamente secas y frías. Se procede a sumergir la muestra, sin inmersión parcial en agua limpia, a una temperatura entre 15,5°C y 30°C durante los tiempos especificados. Se completa el pesaje de la muestra dentro de los 5 minutos posteriores a la extracción de la muestra del agua.

Después, se obtienen los datos necesarios para calcular la resistencia a la absorción y el coeficiente de saturación. Además, se toma una fotografía del cambio del adobe, procediendo a documentar en los anexos de la investigación.

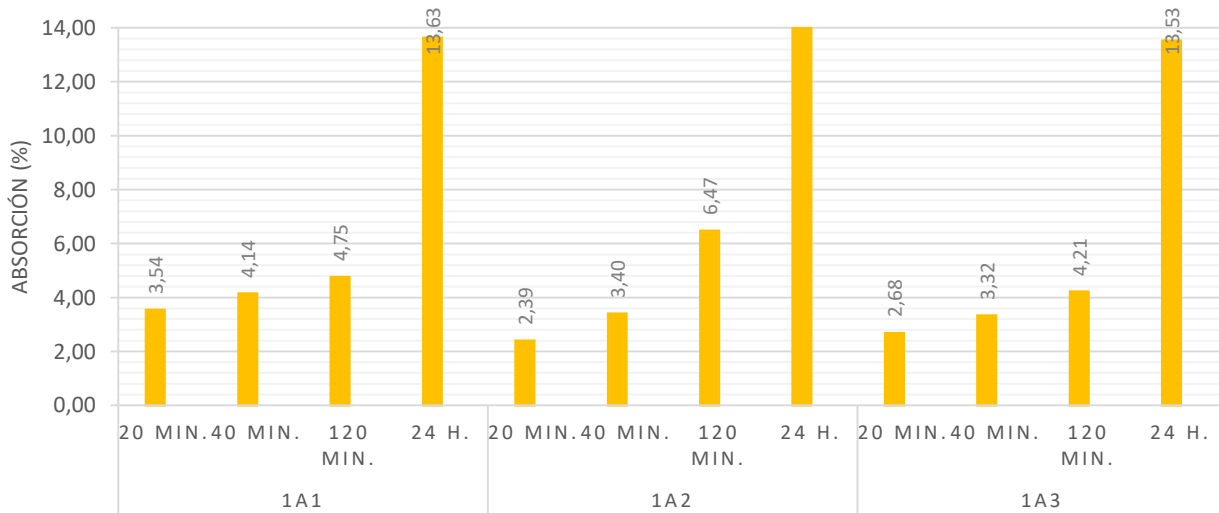
Finalmente, se realiza un análisis de cada tipo de adobe, determinando una resistencia promedio, para proceder a generar resultados y conclusiones.

Resultados:

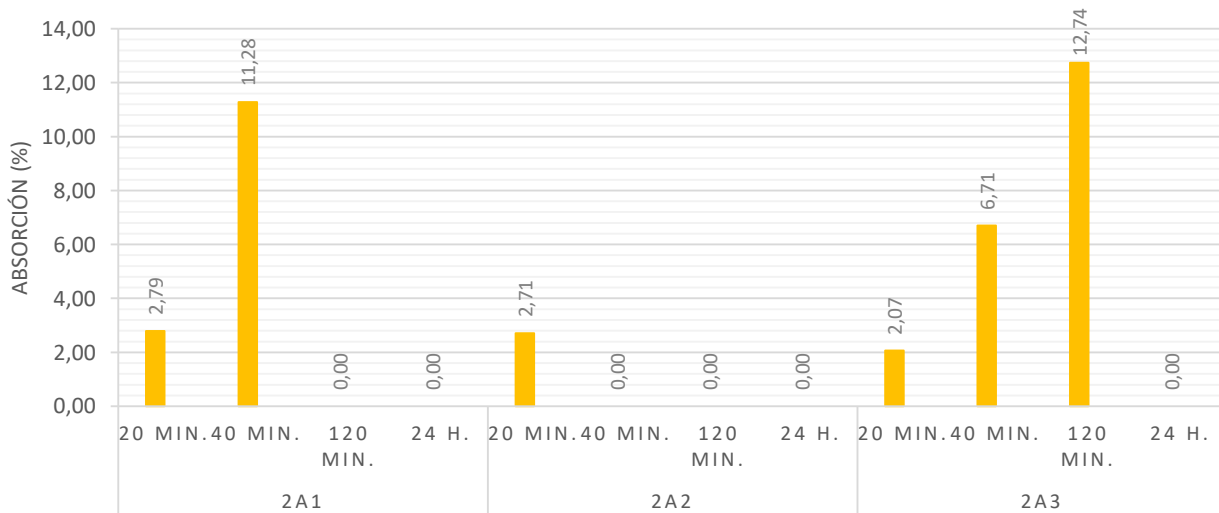
Se utilizaron 3 especímenes por cada dosificación, como especifica la norma. Sin embargo, el tiempo

de uso del laboratorio de suelos impidió que los tiempos establecidos se cumplan. Por lo tanto, el ensayo se desarrolló en 4 fases de 20 minutos, 40 minutos, 2 horas y 24 horas respectivamente. Esto ayudó a entender de mejor manera el comportamiento del adobe con sus distintas dosificaciones.

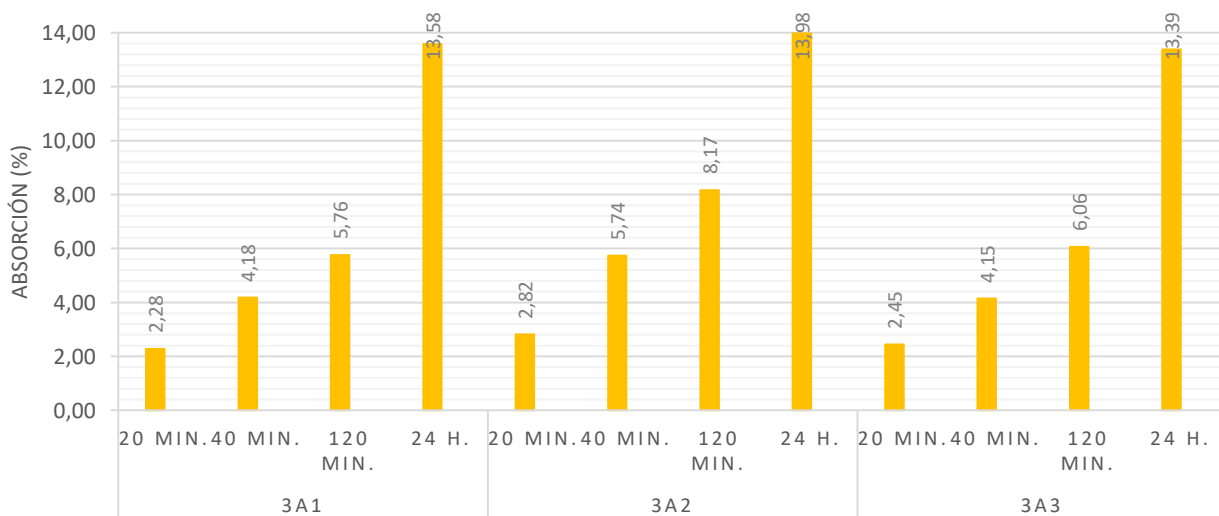
A continuación, se muestran los resultados obtenidos en el ensayo:



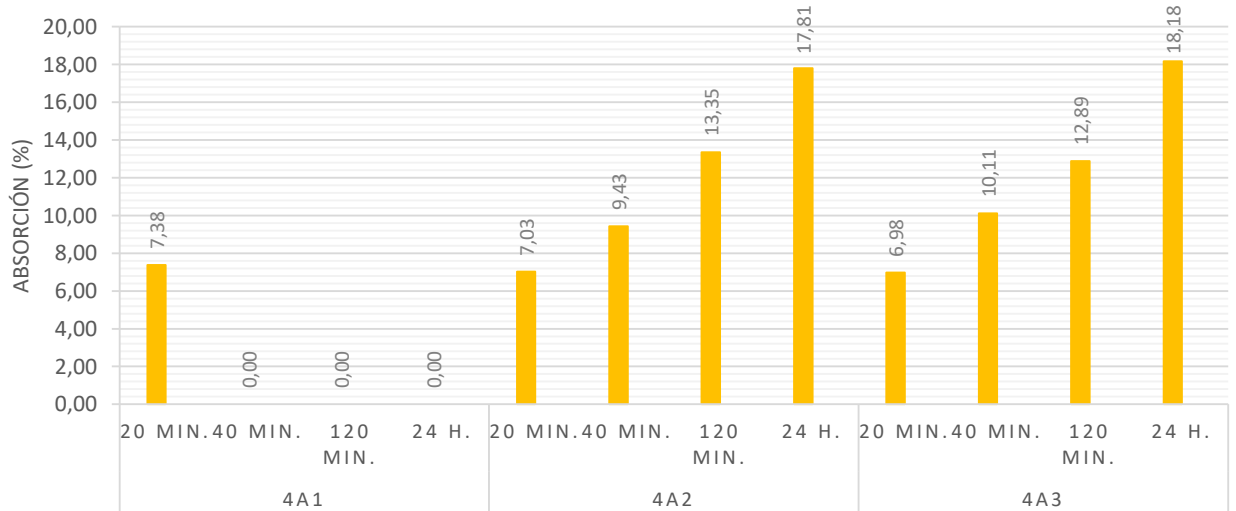
Gráfica 33. Porcentaje de Absorción de agua. (ADOBE TIPO 1).
Benalcázar, M., Zeas, V.,2021



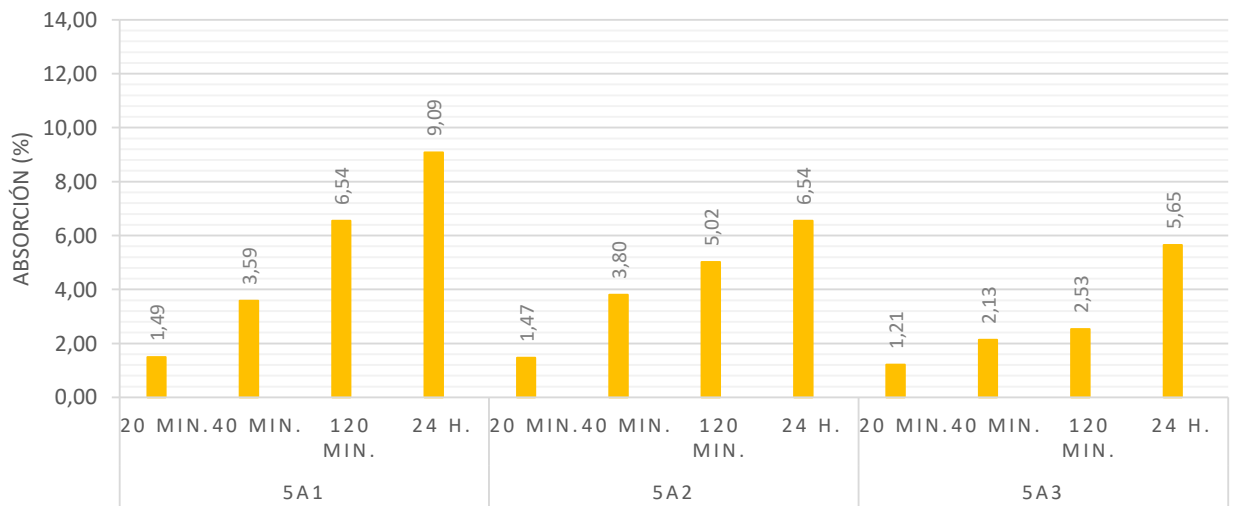
Gráfica 34. Porcentaje de Absorción de agua. (ADOBE TIPO 2).
Benalcázar, M., Zeas, V.,2021



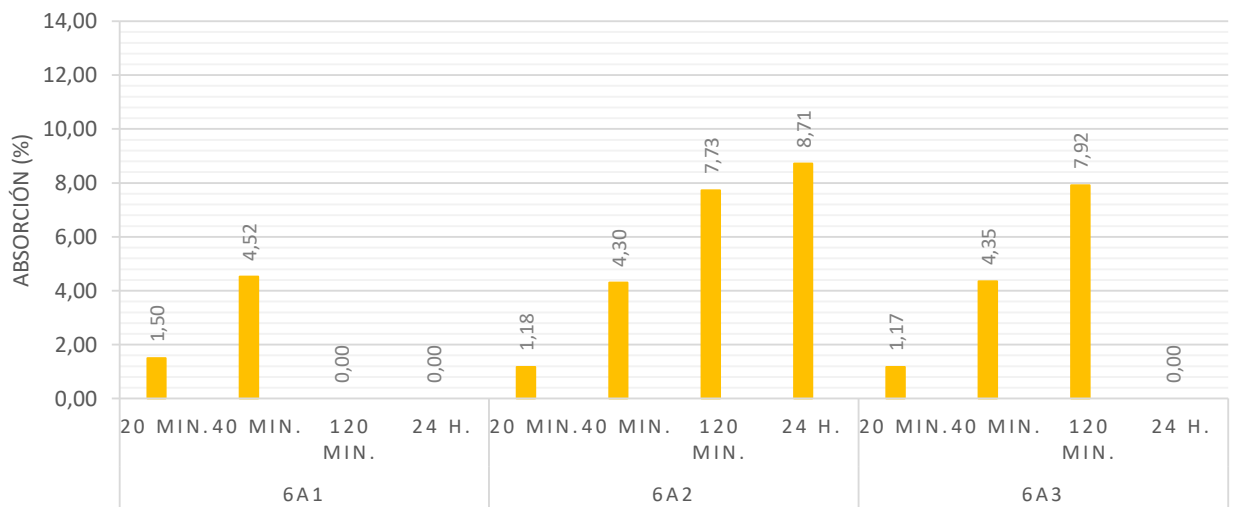
Gráfica 35. Porcentaje de Absorción de agua. (ADOBE TIPO 3).
Benalcázar, M., Zeas, V.,2021



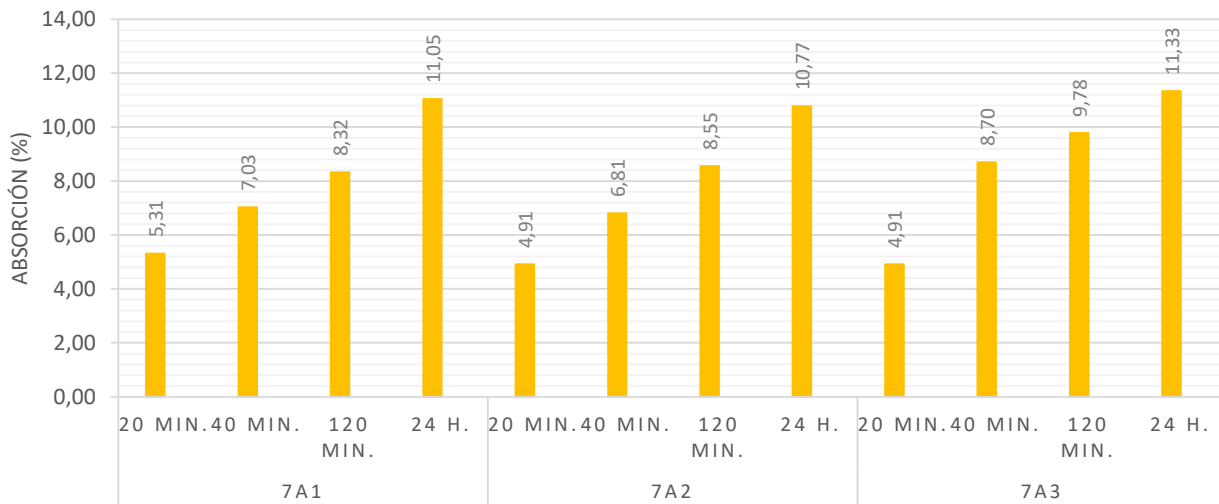
Gráfica 36. Porcentaje de Absorción de agua. (ADOBE TIPO 4).
Benalcázar, M., Zeas, V.,2021



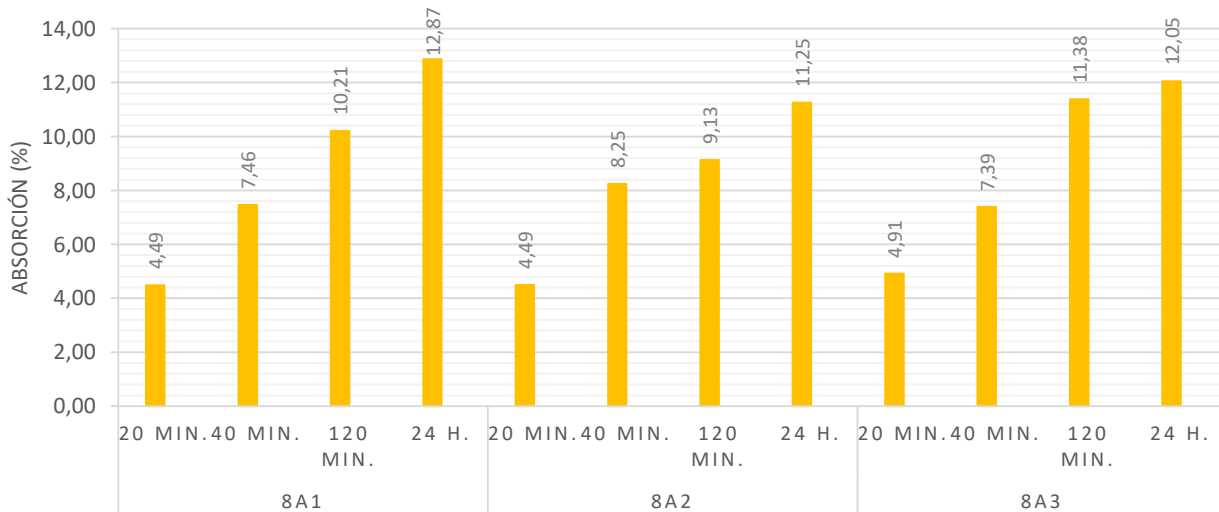
Gráfica 37. Porcentaje de Absorción de agua. (ADOBE TIPO 5).
Benalcázar, M., Zeas, V.,2021.



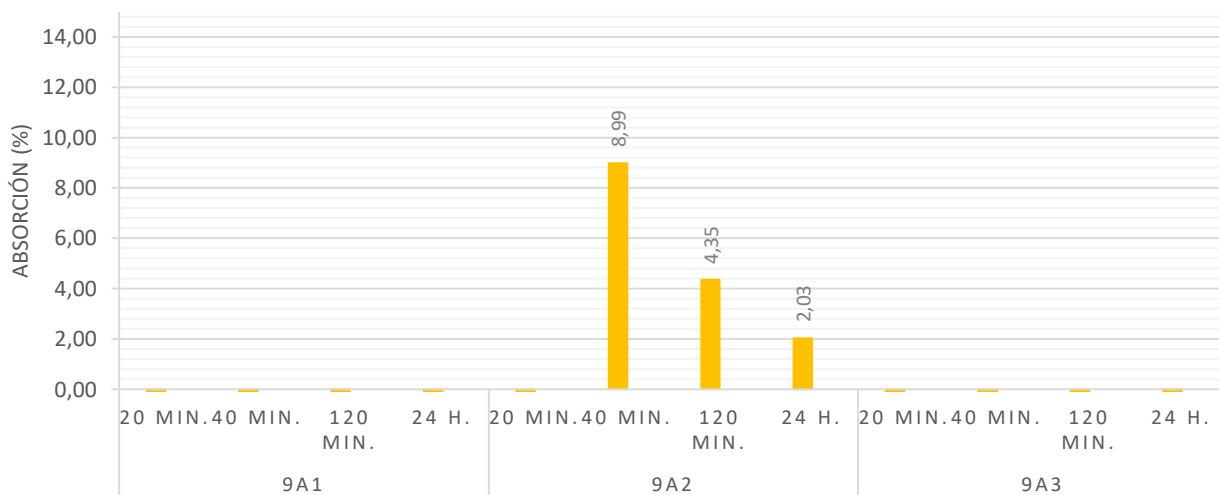
Gráfica 38. Porcentaje de Absorción de agua. (ADOBE TIPO 6)
Benalcázar, M., Zeas, V.,2021



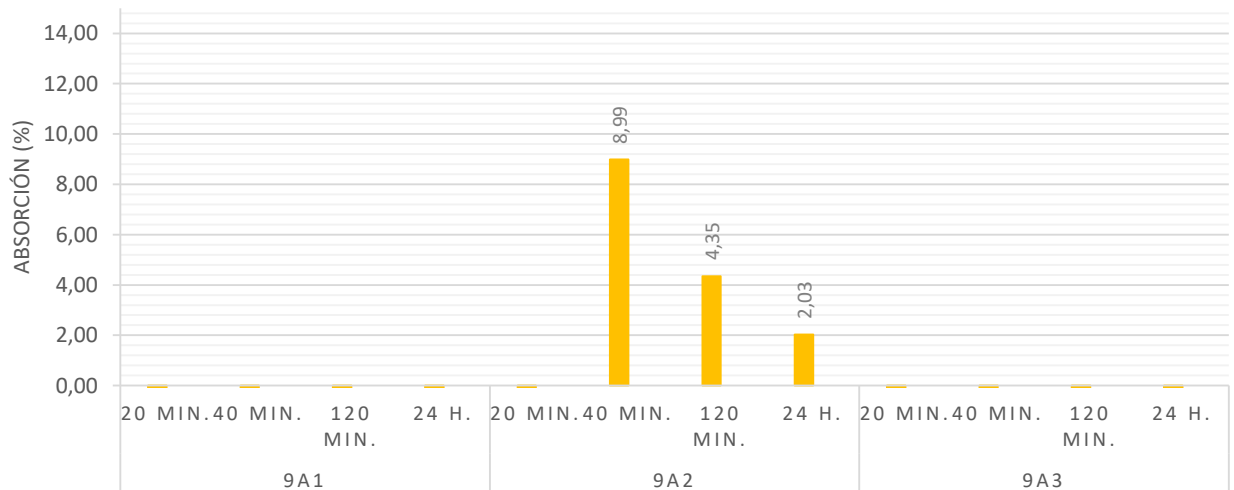
Gráfica 39. Porcentaje de Absorción de agua. (ADOBE TIPO 7).
Benalcázar, M., Zeas, V.,2021



Gráfica 40. Porcentaje de Absorción de agua. (ADOBE TIPO 8).
Benalcázar, M., Zeas, V.,2021



Gráfica 41. Porcentaje de Absorción de agua. (ADOBE TRADICIONAL). Benalcázar, M., Zeas, V.,2021



Gráfica 42. Porcentaje de Absorción de agua. (ADOBE TRADICIONAL). Benalcázar, M., Zeas, V.,2021.

Los resultados que se muestran corresponden a los adobes que no tienen cal en su dosificación. Analizando la Gráfica 38 y la Gráfica 40 se muestran valores en cero; esto se debe a que los especímenes se fracturaron antes de terminar el ensayo, por lo que fueron descartados para no generar inconsistencia en los resultados. Por otra parte, al sacar los especímenes sumergidos por 24 horas éstos mantenían su forma, lo que facilitaba la obtención de los datos al ser pesados.

Los adobes Tipo 1 (Gráfica 37) y Tipo 3 (Gráfica 39) muestran un comportamiento consistente manteniendo un porcentaje de absorción por debajo del 14,25%, además de que todos sus especímenes completaron el ensayo. Esto señala que el aceite de linaza mejora la resistencia a la absorción de agua cuando se mantiene alrededor del 1% y sin superar el 1,5%.

A diferencia de los ensayos anteriores, los especímenes que tienen cal en su mezcla resultaron tener una mayor resistencia a la absorción de agua, como se muestra en la Ilustración 147 y 148, mientras que los adobes que no tenían cal en su mezcla, a los 20 minutos presentaban un aspecto más humedecido en tanto que los adobes que contenían cal tenían un aspecto casi seco. Con estos resultados, al igual que en el caso anterior, el aceite de linaza fue fundamental al momento de mejorar la impermeabilidad de los adobes manteniendo una

tendencia similar y dando mejores resultados al mantener el aceite de linaza alrededor del 1% y sin superar el 1,5%.

En la Gráfica 41 se muestran los resultados de los adobes tradicionales, la cual aporta ciertas inconsistencias provocando que el ensayo esté incompleto. Esto se debe a que estos especímenes no contienen un material que mejore su comportamiento al ser sumergido en agua, lo que provoca pérdida de sustancia por desprendimiento como se muestra en la Ilustración 149 y 150 haciendo imposible su pesaje.

5.4. Conclusiones

Los ensayos mecánicos son necesarios para un conocimiento real de las propiedades que otorgan los nuevos materiales al adobe tradicional a fin de poder sustentar técnicamente la eficacia o no de los nuevos elementos en la elaboración de adobes.

Si se desarrollan los procesos de fabricación adecuadamente, se mejora cualitativa y cuantitativamente la calidad del adobe final obtenido.

Si el adobe tradicional no tiene un material que mejore su resistencia a la absorción de agua es propenso a sufrir desprendimientos y pérdida de material, que por consecuencia provocará erosión del mismo reduciendo su vida útil y comprometiendo a la edificación.

A pesar de que el control de calidad de la cal es bajo, de difícil adquisición y manejo, ésta resulta ser un material excelente para mejorar la resistencia al agua reduciendo hasta en un 5% de absorción a las 24 horas en relación con los especímenes sin cal.

El aceite de linaza en grandes cantidades es de poca utilidad, su uso se debe limitar alrededor del 1% sin superar el 1,5% del volumen de la tierra.

5.5. Recomendaciones

Si se selecciona cal apagada, se recomienda comprobar que ésta se encuentre correctamente apagada, mediante el proceso de apagado lento de la Norma Técnica Ecuatoriana 248, puesto que se evidenció un mal control de calidad de este material comercial en Ecuador. (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2015).

Es preferible trabajar con material que brinde seguridad y en ese campo la cal viva es la más adecuada para controlar desde el proceso de apagado y garantizar su correcto uso. La cal apagada debe de conformar una pasta muy fina que será la que se utilice para mejorar el barro.

En caso de tener cal con presencia alta de arena, se puede hacer la prueba de las esferas de cal ya descritas, a fin de definir si esa cal es o no adecuada para la construcción.



Ilustración 147. Ensayo de Absorción a los 20 min. Adobe 1A1. Benalcázar, M., Zeas, V., 2021.



Ilustración 148. Ensayo de Absorción a los 20 min. Adobe 5A1. Benalcázar, M., Zeas, V., 2021.



Ilustración 149. Ensayo de Absorción 20min (ADOBE TRADICIONAL)
Benalcázar, M., Zeas, V., 2021



Ilustración 150. Ensayo de Absorción 24H (ADOBE TRADICIONAL).
Benalcázar, M., Zeas, V., 2021





C

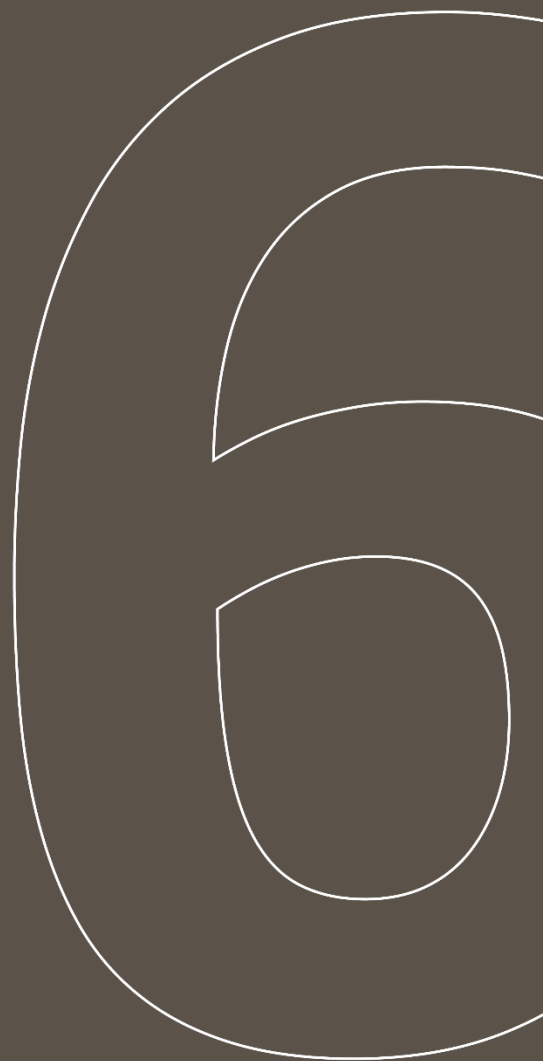
L0
L1
M

2

L0
L1
M

CAPÍTULO

Conclusiones







Capítulo 6. Conclusiones

1. ¿Cuáles son las ventajas y desventajas de la construcción en tierra y cómo ésta vincúlase con la arquitectura sostenible?

La arquitectura sostenible ha pasado de ser un tema de preocupación para unos pocos, para representar una necesidad que debe ser asumida con responsabilidad, ya que se enfoca en satisfacer las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de los futuros habitantes de la Tierra para satisfacer las propias necesidades. Para esto, la arquitectura sostenible centra sus esfuerzos en un desarrollo enfocado en el crecimiento económico, la inclusión social, la protección del medio ambiente y una buena gobernanza.

Para conseguir la arquitectura sostenible se indagó en la búsqueda de materiales de mínimo impacto ambiental, de origen natural o procedente de residuos, esto con el fin de dar un uso eficiente de dichos materiales, manteniendo un equilibrio entre lo ecológico, lo económico y lo social.

En la búsqueda de estos materiales se encontró a **la tierra**, la cual, a menos de que sea mezclada con otros elementos que afecten a sus características, es totalmente reciclable y al no ser un combustible no se descompone, no tiene daños por insectos y es perfecta para trabajar con otros materiales de origen natural como la madera.

La construcción en tierra se caracteriza por ser un material que va ligado a los saberes ancestrales, la cultura y las tradiciones; esto permite que el estudio de la construcción en tierra sea más relevante para los pueblos que lo consideran aún como un material relevante.

Se presenta a la construcción en tierra como la forma más eficiente de llegar a un desarrollo sostenible, la misma que impacta positivamente en tres pilares fundamentales: medio económico, medio social y medio ambiental.

Medio económico:

- Utilizar materiales de la región
- Contratar mano de obra local
- Uso correcto de metros cuadrados. Mantenimiento sencillo de los materiales.
- Material con poca o nula envoltura que produce contaminación.
- Promover la colocación de materiales en seco para que en una posible demolición sea posible la reutilización.
- Lograr eficiencia energética.

Medio social:

- Respeto del uso de las costumbres locales.
- Conservación de la identidad arquitectónica.
- Producir materiales locales para favorecer el desarrollo de la industria regional.

Medio ambiental:

- Reduce la contaminación generada por transporte y el empaque de insumos provenientes de distancias lejanas.
- Interrelación con la naturaleza
- Material fácilmente reciclable y reutilizable.
- Materiales locales que permiten evitar la producción de CO2.
- Menor cantidad de desechos y residuos.

Tabla 40. Aporte de la construcción en tierra al Desarrollo Sostenible. Benalcázar, M., Zeas, V., 2021

Sin embargo, la construcción en tierra también muestra desventajas en su uso, las cuales principalmente encuéntranse en los procesos, tanto en la implementación, cimentación, elaboración de los adobes, muros, esquinas, encuentros de paredes, vanos, diseño y



construcción de cubierta y la mano de obra. (Cevallos Salas, 2015)

Entre las debilidades principales están la baja capacidad mecánica, la baja resistencia al agua, sus condiciones estrictas de construcción. No se puede realizar un diseño exacto, los elementos al secarse pueden presentar fisuras, grietas o bajas resistencias y la baja propagación de sus saberes ancestrales, lo que provoca pérdida de territorio en el campo de la construcción.

2. ¿Cómo se compone un adobe tradicional y cuáles son las características físicas, mecánicas y térmicas del mismo?

EL adobe tradicional es un material de construcción que está compuesto principalmente por barro y materiales orgánicos.

El barro es el material principal del adobe, el mismo que está compuesto de tierra y agua. La función principal de **la tierra** es otorgar las características físicas, mecánicas, térmicas y químicas predominantes del barro como son: la plasticidad, la cohesión, la resistencia, la retractilidad, etc. Por lo tanto, es importante la clasificación granulométrica de la tierra, puesto que cada partícula, según su tamaño, otorga características diferentes al elemento.

En cambio, **el agua** es la encargada de permitir que se integren las partículas de la tierra y de activar las fuerzas aglutinantes de la arcilla, dándole la plasticidad necesaria para la construcción de los adobes. La colocación excesiva de agua en el adobe hace que la arcilla se expanda demasiado y al secarse se retraiga provocando las fisuras características del adobe.

Además, se utilizan **fibras** que contribuyen a estabilizar físicamente al adobe, las cuales

varían dependiendo del lugar donde se lo fabrica, ya que se adaptan a los componentes de mayor accesibilidad. La fibra más utilizada en la zona del Austro ecuatoriano es la paja.

En cuanto a las propiedades del adobe tradicional, las más importantes son la propiedad mecánica, física y térmica. También, la propiedad mecánica es importante ya que, al ser un sistema de muro estructural, los elementos del muro son los más primordiales para obtener una buena resistencia, estabilidad y comportamiento sísmico de la estructura. La propiedad física, la cual se obtiene de las características de los componentes respecto a su procedencia, cantidad y estado, es igualmente eminente. Y la propiedad térmica, ni se diga, al ser un material de uso como envoltura total que afecta a la capacidad térmica de toda la edificación.

De las **propiedades mecánicas** del adobe tradicional se conocen valores promedio de:

Esfuerzo máximo a compresión de: 0,85 MPa
Esfuerzo máximo a tracción de: 0,24 MPa

De las **propiedades físicas** del adobe tradicional se conocen valores promedio de:

El adobe de 20x20x40cm, con un peso específico de alrededor de 22.5kg.
Absorción de agua a los 20 min. de: Indefinida
Absorción de agua a los 40 min. de: Indefinida
Absorción de agua a los 60 min. de: Indefinida.
La capacidad de absorción de agua en el adobe es muy alta.

De las **propiedades térmicas** del adobe tradicional se conocen datos importantes como:

La densidad del adobe permite al material almacenar calor, por lo que balancea el clima interior, siendo efectivo para temperaturas variables. También cuenta con una buena



capacidad aislante. Además, la conductividad térmica es baja y retiene calor por alrededor de 9h; es decir, al recibir calor al medio día éste liberará la energía entre las 21h, logrando confort. (Cuitiño Rosales et al., 2020).

Las **propiedades químicas** permiten que el adobe preserve la madera y otros materiales orgánicos en contacto, en virtud de su bajo equilibrio de humedad, que ahuyenta insectos y hongos.

3. ¿Qué nuevas alternativas de materiales del adobe tradicional existen que sirvan para mejorar sus características?

Se estudia el uso de la fibra de cabuya y el aceite de linaza como alternativas de nuevos materiales componentes para el adobe tradicional. Estos materiales son seleccionados pues se los considera como estabilizantes, ya que apoyan al mejoramiento del adobe tradicional y además porque son materiales accesibles, principalmente en costo, a los pobladores de la zona rural del Azuay-Ecuador.

La fibra de cabuya cuenta con un alto grado de lignina frente a otros materiales, la cual aparte de brindar mayor resistencia mecánica tanto de compresión y flexión contribuye a la impermeabilización. Posee una elongación a la fractura superior al yute, al sisal, al lino, lo que favorece en un momento de secado disminuyendo considerablemente no solo las trizaduras sino también la ruptura de la fibra; igualmente en lo que se refiere al índice de humedad la absorción es nula- Esto permite que la humedad del adobe se mantenga bajo sus propias propiedades y velocidad de secado, sin que afecte la presencia de la cabuya.

El aceite de linaza es un estabilizante químico ya que es capaz de cambiar las propiedades del suelo optimizando su comportamiento; es también un producto orgánico que mejora la resistencia mecánica y le otorga resistencia a la

absorción del agua, sin hacerle perder la capacidad de transpiración al barro. Este aceite es insoluble al agua, que al mezclar con disolventes orgánicos se obtienen compuestos de propiedades filmógenas y adhesivas. Además, mejora la resistencia a la compresión y considéraselo como una alternativa ecológica frente a los aditivos sintéticos, reacciona de mejor manera en conjunto con la cal y mejora sustancialmente en la porosidad.

Finalmente, **la cal** es un estabilizante químico, mejora sus propiedades frente al agua, al casi impermeabilizar la capa exterior del adobe. Asimismo, es un material que posee ventajas de tipo ecológico frente a otros materiales de obtención minera, por requerir menor tiempo y temperatura de calcinación para su fabricación, por presentar cualidades higiénicas y por no inferir en el flujo natural del aire y el vapor de agua que requieren las estructuras de tierra.

4. ¿Cuáles son las propiedades técnicas y mecánicas de los bloques tradicionales y cómo se relacionan con los adobes con adición de cabuya y aceite de linaza?

Rigiéndonos a los requerimientos de la normativa técnica peruana E 0. 80 se estableció como medidas del material: 10cm de alto, 20cm de ancho y 40cm de profundidad. Se fabrica bajo condiciones lo más aproximadas al medio real de los productos actualmente comercializados, con las variaciones correspondientes de los materiales.

El adobe es un material compuesto; es decir, cuenta con distintos componentes de características diferentes que, al mezclarlos, forman un compuesto con propiedades imposibles de obtener con solo uno de aquellos. La propuesta del adobe mejorado está compuesto de barro, cabuya, aceite de linaza con y sin cal, siempre pensando en el



aporte de cada componente para el elemento constructivo.

Los materiales utilizados son considerados estabilizantes. Dos estabilizantes químicos, el aceite de linaza que es totalmente orgánico y la cal, que es un material de procedencia minera. A más de un estabilizante físico: la cabuya, fácil de obtener y procedente del penco.

Con el uso de estos materiales se ha logrado obtener un adobe con mejores características que el adobe tradicional.

La fibra de cabuya y el aceite de linaza han aportado en la resistencia mecánica tanto en el esfuerzo de tracción como de compresión, pues durante los ensayos se observó y escuchó cómo la fibra de cabuya mantiene al material cohesionado y evita su fácil ruptura y desmoronamiento.

Debido a que la fibra de cabuya no absorbe humedad y que el aceite de linaza es insoluble al agua, el barro actúa de manera más eficaz permitiendo que el secado sea mas homogéneo, reduciendo las fisuras.

También se muestra en el estudio cómo el aceite de linaza mejora la impermeabilización del material, sin eliminar su capacidad de transpiración. Sin embargo, la mezcla de cal con aceite de linaza otorgó mayor impermeabilidad, creando una especie de caparazón que protege al bloque del agua.

Finalmente, con los ensayos mecánicos se establece que los especímenes con mejores prestaciones, tomando en cuenta un equilibrio en los 3 ensayos, son los adobes de Tipo 3 con la siguiente dosificación en relación al peso de la tierra: cal 0%, cabuya: 0,5% y aceite de linaza: 1%.

	Ensayo a compresión	Ensayo a flexión	Ensayo de absorción (24H)
Adobe tipo 3 Cal 0%, Cabuya:0,5% Aceite de linaza: 1%.	1,81MPa	0,5MPa	13,39%- 13,98%
Adobe Tradicional	0,85Mpa	0,24MPa	0 resistencia al agua

Tabla 41. Comparación de resultados finales entre adobe tradicional y la mejor dosificación. Benalcázar, M., Zeas, V.,2021

En la *tabla 41* se comparan los resultados obtenidos entre el adobe, el adobe tradicional comercializado en Cuenca y la mejor dosificación de los adobes mejorados, los cuales superan un 100% las características mecánicas de los adobes tradicionales y además otorgan mayor impermeabilidad al material.

En cuanto a la adición de la cal, se pone a considerar su uso como componente del elemento o su dosificación, ya que disminuye la resistencia mecánica. Por otro lado, se recomienda estimar su uso como revoque, debido a su gran influencia para generar impermeabilidad en el sistema constructivo.

5. ¿Cómo se relacionan los resultados de los adobes mejorados con los objetivos de sostenibilidad de la Agenda 2030?

Los adobes mejorados aumentan sustantivamente las características en relación a los adobes tradicionales; es decir, se ha generado una nueva propuesta de material que debido a sus componentes y métodos de fabricación aporta a la arquitectura sostenible, lo cual permite que estos elementos contribuyan al cumplimiento de varios objetivos de desarrollo sostenible. A continuación se desarrollan los aspectos más importantes por los cuales se considera que son un aporte en cada objetivo con el que se relaciona.



Objetivo 1. Poner fin a la pobreza en todas sus formas y en todo el mundo.

- Al otorgar materiales resistentes sostenibles económicos y de fácil fabricación, la construcción de viviendas confortables son más accesibles para el sector más vulnerable de la población.

Objetivo 3. Salud y Bienestar.:

- Derivado de las propiedades térmicas, físicas y químicas de los materiales nuevos y tradicionales, se otorga mayor capacidad higroscópica al elemento, obteniendo viviendas confortables que mejoran la calidad de vida de sus ocupantes.

Objetivo 8. Trabajo decente y crecimiento Económico

Objetivo 9. Industria, innovación e infraestructura.

- Al ser elementos con materiales locales, se puede impulsar su producción en la industria del sector, promocionándose como nuevo producto innovador, sostenible y seguro.

Objetivo 11. Lograr que las ciudades sean más inclusivas, seguras, resilientes y sostenible.

- Otorga la oportunidad de que la parte interesada genere sus propios materiales constructivos con sus naturales recursos en el lugar donde reside, facilitando el acceso a una vivienda para el sector más pobre de la población, promoviendo la inclusión social, económica y política de las personas.
- Se reducen las pérdidas humanas y económicas provocadas por los desastres, mediante el incremento de la resistencia mecánica del sistema constructivo tradicional con adobes mejorados que duplican las propiedades mecánicas del adobe tradicional, únicamente con un incremento de un 5% del precio (porcentaje

que se atribuye al uso de aceite de linaza para impermeabilizar al elemento; el cual, si se utiliza revoque con cal podría reducir su dosificación).

- Disminuye el uso de productos vulnerables para el medio ambiente al cambiar la paja por cabuya, la cual, aparte de mejorar sus propiedades, es un material más accesible más comercial y con mínimo impacto ambiental.

Objetivo 12. Producción y consumo responsable.

- La propuesta del adobe utiliza de forma eficiente los recursos naturales, con el uso de productos sostenibles, reutilizables y de mínima huella de carbono, mitigando el cambio climático con procesos limpios de fabricación.

Objetivo 13. Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos

- Se reduce el impacto ambiental negativo per cápita de los ciudadanos, con la reducción de desechos al ser reutilizables los escombros del adobe mejorado.



Bibliografía

- Aguilar, E. D., y Quezada, R. A. (2017). Caracterización física y mecánica del adobe en el cantón Cuenca. En *Universidad de Cuenca-Ecuador*. Recuperado de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/28143>
- Aguirre, M. del C., Avila, M., & Pesántez, J. (2017). *ARQUITECTURA TRADICIONAL DE CUENCA, RECUPERACIÓN Y ALTERNATIVA SUSTENTABLE EN LA CONTEMPORANEIDAD*. (1557), 48-70.
- Asamblea General de las Naciones Unidas. (2015). Resolución A/RES/70/1 Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. *Comunidad y Salud*, 13(2), 1-40. Recuperado de https://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=E
- Asociación de Academias de la Lengua Española. (2014). *Diccionario de la Real academia de la Lengua* (N.º 23).
- Benites, V. (2017). Adobe estabilizado con extracto de cabuya (*Furcraea andina*). *Repositorio Institucional PIRHUA*, 1-86. Recuperado de <https://hdl.handle.net/11042/2993>
- Brundtland, G. H. (1987). Informe de la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y el Desarrollo: Nuestro futuro común. *Documentos de las Naciones, Recolección de un ...*, 416. Recuperado de <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Informe+de+la+comision+mundial+sobre+el+medio+ambiente+y+el+desarrollo.+nuestro+futuro+comun#5>
- Carazas, W. (2020). *¿Por qué construir con tierra? Una arquitectura sostenible con un material de bajo impacto ambiental para mitigar el cambio climático global*. 3, 113-124.
- Cevallos Salas, P. (2015). La construcción con tierra en Ecuador y la necesidad de la norma. *Tierra, sociedad, comunidad: 15º Seminario Iberoamericano de Arquitectura y Construcción con Tierra, 2015, ISBN 978-9978-14-313-1, págs. 631-642*, 631-642. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6086019>
- Cuitiño Rosales, M. G., Rotondaro, R., & Esteves, A. (2020). Análisis comparativo de aspectos térmicos y resistencias mecánicas de los materiales y los elementos de la construcción con tierra. *Revista de Arquitectura*, 22(1), 138-151. Recuperado de <https://editorial.ucatolica.edu.co/index.php/RevArq/article/view/2348>
- Ediciones Larousse SA. (2009). *Diccionario Enciclopédico* (Larousse, Ed.). Mexico.
- Fernandes, M., & Velosa, A. (s. f.). *Estabilización De Tierra Con Cal - Ventajas Y Desventajas*.
- Flores, M. (2010). Definición de Mejora Continua. Recuperado de <https://www.eoi.es/blogs/mariavictoriaflores/definicion-de-mejora-continua/>
- Garcés Basantes, N. E. (2017). *Análisis y comparación de las tecnologías aplicadas a la vivienda vernácula durante el período del 12000AC al 1830 DC en la Región Andina del Ecuador*.
- García, C. E. V. (2004). *Arquitectura Residencial en el Sector B de Caral valle de Supe*.
- Guerrero Baca, L. F., Roux Gutierrez, R. S., & López, S. (2010). Ventajas constructivas del uso de tierra comprimida y estabilizada con cal en México. *Palapa*.



- revista de Investigación Científica en Arquitectura*, 5(1), 45-57. Recuperado de <http://revistasacademicas.ucol.mx/index.php/palapa/article/view/120/106>
- Guzman, D., & Iñiguez, J. (2015). "Estudio de una propuesta de mejoramiento del sistema constructivo Adobe". Universidad de Cuenca.
- Guzmán, S., & Iñiguez, M. (2016). Election methodology of chemical stabilizers for earth blocks. *Estoa*, 5(9), 151-159. <https://doi.org/10.18537/est.v005.n009.12>
- Huezo Maldonado, H. M., & Orellana Martínez, A. C. (2009). *Guía básica para estabilización de suelos con cal en caminos de baja intensidad vehicular en el Salvador*. 261. Recuperado de http://ri.ues.edu.sv/2138/1/Guía_básica_para_estabilización_de_suelos_de_cal_en_caminos_de_baja_intensidad_vehicular_en_El_Salvador.pdf
- Ilustre Municipalidad de Cuenca. (2005). *Parroquias rurales del cantón Cuenca*.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (1982a). Norma Técnica Ecuatoriana. Mecánica de Suelos Determinación del Límite Plástico. 692. *Inen*.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (1982b). Norma Técnica Mecánica de Suelos Método de Casa Grande. 693. *Inen*, 1-14.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2015). *Norma Técnica Ecuatoriana. Cal viva para propósitos estructurales. Requisitos*. 248.
- Jokhio, G. A., Saad, F. M., Gul, Y., Syed Mohsin, S. M., & Ramli, N. I. (2018). Uniaxial compression and tensile splitting tests on adobe with embedded steel wire reinforcement. *Construction and Building Materials*. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.05.006>
- Kafodya, I., Okonta, F., & Kloukinas, P. (2019). Role of fiber inclusion in adobe masonry construction. *Journal of Building Engineering*, 26(February), 100904. <https://doi.org/10.1016/j.job.2019.100904>
- Kita, Y., & Daneels, A. (2014). Evaluación de aditivos orgánicos para intervención de la construcción prehispánica en tierra del sitio arqueológico de La Joya, Veracruz, México, a través de experimentos en el sitio. *Arquitectura de Tierra: Patrimonio y sostenibilidad en regiones sísmicas. 114° Seminario Iberoamericano de Arquitectura y Construcción con Tierra (SIACOT), San Salvador, El Salvador, Centro América*, (February 2015), 58-65.
- Macedo, B. (2005). El concepto de sostenibilidad. *Oficina Regional de Educación para América Latina y el Caribe-UNESCO*, 4.
- Maldonado, L., & Vela-Cossío, F. (2011). El patrimonio arquitectónico construido con tierra. Las aportaciones historiográficas y el reconocimiento de sus valores en el contexto de la arquitectura popular española. *Informes de la Construcción*, 63(523), 71-80. <https://doi.org/10.3989/ic.10.062>
- Mata Cabrera, F. (2010). La selección sostenible de los materiales de construcción. *Tecnología y desarrollo*, 8(8), 4-16.
- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2015). Informe Nacional del Ecuador para la Tercera Conferencia de las Naciones Unidas sobre Vivienda y Desarrollo Urbano Sostenible HABITAT III. *Subsecretaría de Hábitat y Asentamientos Humanos*, 110. Recuperado de <http://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp->



- content/uploads/downloads/2017/05/Informe-Pais-Ecuador-Enero-2016_vf.pdf
- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, & Cámara de la Industria de la Construcción. (2015). NEC Norma Ecuatoriana de la Construcción. En *Norma Ecuatoriana de la Construcción*. Recuperado de <http://www.indeci.gob.pe/proyecto58530/objetos/archivos/201110606102841.pdf> %0Ahttps://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/02/NEC-SE-DS-Peligro-Sísmico-parte-1.pdf (in spanish)
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, P. (2017). NORMA E.080 Diseño y construcción con tierra reforzada. *El Peruano*, 29.
- Minke, G. (2005). *Manual-Construccion-En-Tierra-Minke.pdf* (p. 222). p. 222.
- Naciones Unidas. (2018). La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe. LC/G.2681-P/Rev.3), Santiago. En *Publicación de las Naciones Unidas*. Recuperado de https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40155/24/S1801141_es.pdf
- NEC SE Vivienda. (2015). *VIVIENDAS DE HASTA 2 PISOS CON LUCES DE HASTA 5 m. 2*, 40. Recuperado de <http://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/02/NEC-SE-VIVIENDA-parte-2.pdf>
- Neves, C., Borges Faria, O., & Proterra. (2011). *Técnicas de Construcción con tierra*.
- Neves, C. M. M., Faria, O. B., Rotondaro, R., Cevallos, P. S., & Hoffmann, M. V. (2009). Selección de suelos y métodos de control en la construcción con tierra. *Proterra*, 34. Recuperado de <http://www.redproterra.org>
- Nunes, C., Mácová, P., Frankeová, D., Ševčík, R., & Viani, A. (2018). Influence of linseed oil on the microstructure and composition of lime and lime-metakaolin pastes after a long curing time. *Construction and Building Materials*, 189, 787-796. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.09.054>
- Olacia, E., Pisello, A. L., Chiodo, V., Maisano, S., Frazzica, A., & Cabeza, L. F. (2020). Sustainable adobe bricks with seagrass fibres. Mechanical and thermal properties characterization. *Construction and Building Materials*. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117669>
- ONU-Habitat. (2018). Vivienda y ODS en México. En *Onu*.
- ONU. (2019). Informe de los objetivos del desarrollo sostenible 2019. *Informe de los objetivos del desarrollo sostenible 2019*, 64. Recuperado de https://ods.org.mx/docs/doctos/SDG_Report2019_es.pdf
- Organización de las Naciones Unidas. (s. f.). Naciones Unidas. Recuperado de <https://www.un.org/es/>
- Organización Internacional del Trabajo. (2017). Manual de referencia Sindical sobre la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. En *Organización Internacional del Trabajo* (Vol. 1). Recuperado de http://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/@ed_dialogue/@actrav/documents/publication/wcms_569914.pdf
- Pesántes, M., & González, I. (2010). *Arquitectura tradicional en Azuay y Cañar Tecnologías, creencias, prácticas y saberes* (E. Noboa Jiménez & G. Eljuri Jaramillo, Eds.). Recuperado de <https://issuu.com/inpc/docs/arquitectura>
- Quezada, M. (2015). *Análisis, desarrollo y*



evaluación de aislantes térmicos naturales utilizando Tatora (Schoenoplectus californicus) en bloques de adobe y placas rígidas. 121.

Reyes, P. (2015). *Análisis económico de la industria de la construcción residencial y su impacto en la generación de empleo en el cantón Cuenca, periodo: 2001 - 2012.* Universidad del Azuay.

Sachs, J., & Vilà, R. (2015). La Era del Desarrollo Sostenible. *Deusto*, 606. Recuperado de https://www.planetadelibros.com/libros_contenido_extra/31/30978_La_era_del_desarrollo_sostenible.pdf

Szydłowska-Czerniak, A., Tymczewska, A., Momot, M., & Włodarczyk, K. (2020). Optimization of the microwave treatment of linseed for cold-pressing linseed oil - Changes in its chemical and sensory qualities. *Lwt*, 126(October 2019), 109317. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109317>

Tamayo, N. A. (2012). *Obtención y caracterización de materiales compuestos de matriz poliéster reforzados con fibra de cabuya mediante estratificación.* 1-246.

Vargas, Z. (2017). El origen de la Mejora Continua fue escrita con resiliencia. Recuperado de <https://www.linkedin.com/pulse/el-origen-de-la-mejora-continua-zita-vargas-c-?originalSubdomain=es>