UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

CARRERA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

TITULO

Patologías de las construcciones de adobe y fabricación de mortero de albañilería para reparación, en los barrios Florencia y San Juan del cantón y provincia de Loja

Tesis de grado previa a la obtención del título de Ingeniero Agrícola

AUTOR

Pablo Alejandro Arévalo Ramón

DIRECTORA

Ing. Emperatriz Isabel Bailón Abad, Mg. Sc.

Loja - Ecuador

2017

CERTIFICACIÓN

Ing. Emperatriz Isabel Bailón Abad, Mg. Sc.
DOCENTE DE LA CARRERA DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

CERTIFICA:

Que el proyecto de investigación denominado: "***PATOLOGÍAS DE LAS CONSTRUCCIONES DE ADOBE Y FABRICACIÓN DE MORTERO DE ALBAÑILERÍA PARA REPARACIÓN, EN LOS BARRIOS FLORENCIA Y SAN JUÁN DEL CANTÓN Y PROVINCIA DE LOJA***", presentado por el señor **Pablo Alejandro Arévalo Ramón**, previo a la obtención del Título de Ingeniero Agrícola, ha sido dirigido y ejecutado dentro de los objetivos propuestos y una vez que se cumplió con el proceso de revisión en cuanto a su sistematización, se autoriza su presentación.

Loja, 15 de noviembre 2017

Ing. Emperatriz Isabel Bailón Abad, Mg. Sc.
DIRECTORA DE TESIS

CERTIFICACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

En calidad de tribunal de la tesis titulada **"PATOLOGÍAS DE LAS CONSTRUCCIONES DE ADOBE Y FABRICACIÓN DE MORTERO DE ALBAÑILERÍA PARA REPARACIÓN, EN LOS BARRIOS FLORENCIA Y SAN JUAN DEL CANTÓN Y PROVINCIA DE LOJA"** de autoría del señor **Pablo Alejandro Arévalo Ramón** egresado de la Carrera de Ingeniería Agrícola, certificamos que se ha incorporado al trabajo final de tesis las sugerencias realizadas.

Por lo tanto, autorizamos la publicación y difusión de la tesis antes mencionada.

Loja, 30 de noviembre del 2017

Dr. Edison Ramiro Vásquez. PhD.

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Luis Valarezo Manosalvas. Mg. Sc.

VOCAL DEL TRIBUNAL

Ing. Wilman Aldeán Guamán Mg. Sc.

VOCAL DEL TRIBUNAL

AUTORÍA

Yo, **Pablo Alejandro Arévalo Ramón**, declaro ser autor del presente trabajo de tesis titulada ***"PATOLOGÍAS DE LAS CONSTRUCCIONES DE ADOBE Y FABRICACIÓN DE MORTERO DE ALBAÑILERÍA PARA REPARACIÓN, EN LOS BARRIOS FLORENCIA Y SAN JUÁN DEL CANTÓN Y PROVINCIA DE LOJA"*** y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos o acciones legales, por el contenido de la misma.

Los comentarios, criterios y resultados vertidos en la presente investigación, son responsabilidad exclusiva del autor, excepto los conceptos, citas textuales y referencias, obtenidas de la bibliografía consultada y citada durante el desarrollo de la tesis en la bibliografía correspondiente.

Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación del presente trabajo investigativo en el Repositorio Institucional-Biblioteca Virtual.

Autor: Pablo Alejandro Arévalo Ramón

Firma: .....

Cédula: 1105227530

Fecha: 30 de noviembre de 2017

CARTA DE AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL AUTOR, PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO

Yo, **PABLO ALEJANDRO ARÉVALO RAMÓN**, declaro ser el autor de la tesis titulada: **"PATOLOGÍAS DE LAS CONSTRUCCIONES DE ADOBE Y FABRICACIÓN DE MORTERO DE ALBAÑILERÍA PARA REPARACIÓN, EN LOS BARRIOS FLORENCIA Y SAN JUÁN DEL CANTÓN Y PROVINCIA DE LOJA"**, como requisito para optar al grado de: INGENIERO AGRÍCOLA y autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional:

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Digital Institucional - RDI, en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia de la tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los 11 días del mes diciembre del dos mil diecisiete, firma el autor:

Firma: .....
Autor: Pablo Alejandro Arévalo Ramón
Cédula: 1105681165

Dirección: Loja, (Ciudadela Clodoveo Jaramillo Alvarado)

Correo electrónico: pabloalejandroa14@gmail.com
pablo_alejandro1493@hotmail.com
Teléfono: (07) 2613410 **Celular:** 0994133815

DATOS COMPLEMENTARIOS

Directora de Tesis: Ing. Emperatriz Isabel Bailón Abad, Mg. Sc.

Tribunal de Grado: Dr. Edison Ramiro Vázquez, PhD.
Ing. Luis Valarezo Manosalvas, Mg. Sc.
Ing. Wilman Aldeán Guamán ,Mg. Sc.

DEDICATORIA

El presente trabajo lo dedico a mis padres; Carlos B. Arévalo Montaño e Isabel Lastenia Ramón Zúñiga, por ser ejemplo de lucha y sacrificio y por haberse constituido en la base fundamental para la culminación de mis estudios.

A mis seis hermanos y a mis abuelitos por todo el apoyo que me dieron, por sus consejos y valores inculcados para mejorar, día a día, como persona.

A Jeanpier Alejandro Arévalo Soto y Andrea M. Soto Banegas, por ser motivo y razón de lucha y parte fundamental para mí.

A todos mis familiares y amigos que desinteresadamente siempre me apoyaron, en especial cuando más los necesitaba, para poder culminar mis estudios.

Pablo A.

AGRADECIMIENTO

Agradecer primeramente a Dios, por haberme dado fuerza y salud para poder culminar mis estudios, a la Universidad Nacional de Loja y a la Carrera de Ingeniería Agrícola y a todos sus docentes por los grandes conocimientos científico-técnico impartidos durante el período estudiantil y de manera particular a la Ingeniera Emperatriz Isabel Bailón Abad en calidad de directora de tesis, por toda su colaboración, apoyo y consejos empleados, por todos sus conocimientos técnicos y teóricos ya que sin su ayuda hubiese sido muy difícil la ejecución de la presente investigación.

A mis padres y hermanos por estar siempre apoyándome y aconsejándome siendo ustedes el pilar fundamental para poder culminar mi período de formación estudiantil.

A mi hijo, mi esposa y sus padres por todo su apoyo incondicional que me dieron hasta poder terminar mis estudios.

A mi abuelito Benigno Ramón que me colaboro mucho con las visitas de campo que tuve que realizar en la investigación.

A los moradores de los Barrios Florencia y San Juan que fueron entrevistados y me colaboraron desinteresadamente.

Y por último, pero no menos apreciable a todos mis amigos y personas que directa o indirectamente colaboraron con el proceso de investigación.

El Autor.

CONTENIDOS

PORTADA.....*i*

CERTIFICACIÓN.....*ii*

CERTIFICACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO.....*iii*

AUTORÍA.....*iv*

CARTA DE AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL AUTOR.....*v*

DEDICATORIA.....*vi*

AGRADECIMIENTO.....*vii*

CONTENIDOS.....*viii*

TABLAS.....*xiii*

FIGURAS.....*xiv*

TITULO.....*xvi*

RESUMEN.....*xvii*

ABSTRACT.....*xviii*

1. INTRODUCCIÓN.....*1*

2. REVISIÓN DE LITERATURA.....*3*

2.1 La pobreza en América Latina y Ecuador.....**3**

2.2 La vivienda rural en el Ecuador.....**4**

2.3 La construcción y las instalaciones agropecuarias.....**4**

2.3.1 Instalaciones pecuarias.....5

2.3.2 Construcciones agrícolas.....6

2.3.3 Materiales de construcción.....6

2.3.3.1 Propiedades de los materiales.....6

2.3.3.2 El empleo del suelo en la construcción.....7

2.4 El suelo.....**7**

2.4.1 La arcilla.....8

2.4.1.1 Arcillas silíceas.....8
2.4.1.2 Caolinitas.....9
2.4.1.3 Illita. 10
2.4.1.4 Montmorillonita.....10
2.4.1.5 La actividad de la arcilla.....11
2.4.2 Pruebas de laboratorio establecidas para caracterizar los suelos.....12
2.4.2.1 Contenido de humedad.....12
2.4.2.2 Granulometría.....12
2.4.2.3 Consistencia del suelo o Límites de Atterberg. 14
2.4.2.4 Contracción lineal (CL).....16
2.4.2.5 Ensayo de Proctor.....17
2.4.3 Clasificación de los suelos.....17
2.4.3.1 Sistema de clasificación AASHTO. 17
2.4.3.2 Sistema Unificado de Clasificación de Suelos - SUCS.....18

2.5 El adobe.....19
2.5.1 Historia del uso del adobe en construcción. 19
2.5.2 Fabricación del adobe.....20
2.5.2.1 Proporciones para la fabricación de adobe.....20
2.5.2.2 Formas y dimensiones. 20
2.5.2.3 Preparación del barro para la fabricación de adobe.....20
2.5.2.4 Moldes y moldeo. 21
2.5.2.5 Tendales y secado.....21
2.5.3 Mampostería y revestimiento aplicados en el adobe. 21
2.5.4 Resistencia admisible a la compresión del adobe.....22

2.6 La estabilización del suelo.....22
2.6.1 Estabilización química del suelo. 23
2.6.1.1 Estabilización química del suelo con adición de cal. 23
2.6.1.1.1 Efectos en las propiedades del suelo con la incorporación de cal. 24
2.6.1.1.2 Suelos recomendados para ser estabilizados con cal.....24
2.6.1.2 Estabilización química del suelo con adición cemento. 24
2.6.1.2.1 Efectos en las propiedades del suelo con la incorporación de cemento. 25
2.6.1.2.2 Suelos recomendados para ser estabilizados con cemento.....25

2.7 Morteros.....25

2.7.1 Tipos de morteros. 26
2.7.1.1 Mortero de barro. 26
2.7.1.2 Morteros calcáreos. 27
2.7.1.3 Mortero de cemento. 27
2.7.1.4 Morteros de cal y cemento. 28
2.7.1.5 Mortero de suelo estabilizado con cal y cemento. 29

2.8 Revestimientos o enlucidos de mamposterías o paramentos 30

2.9 Patología en la construcción 31
2.9.1 Estudio patológico. 31
2.9.1.1 Observación. 31
2.9.1.1.1 Toma de datos. 32
2.9.1.1.2 Identificación de la lesión. 32
2.9.1.2 Análisis del proceso. 34
2.9.1.2.1 Causas. 34

2.10 Clasificación de las patologías 36
2.10.1 Patologías por defectos. 36
2.10.2 Patologías por deterioro. 36
2.10.2.1 Daños por humedad. 37
2.10.2.2 Daños por Erosión. 38
2.10.2.3 Daños por agentes orgánicos. 38
2.10.3 Patologías por daños. 39
2.10.3.1 Daños en cubiertas. 39
2.10.3.2 Daños por mala cimentación. 39
2.10.3.3 Presencia de Fisuras y grietas 39
2.10.3.4 Presencia de deslizamientos 40

2.11 Técnicas de diagnóstico. 41

2.12 Evolución y seguimiento. 41

2.13 Actuación. 41
2.13.1 Reparación. 42
2.13.2 Mantenimiento. 42

3. MATERIALES Y METODOLOGÍA 43

3.1 Área de estudio 43

3.2 Materiales y equipos 44

3.3 Métodos de investigación 45

3.3.1 Investigación no experimental cuantitativa. 45

3.3.1.1 Metodología para el primer objetivo. 45

3.3.1.1.1 Conjunto universo de estudio. 45

3.3.2 Investigación experimental. 47

3.3.2.1 Metodología para el segundo objetivo. 47

3.3.2.1.1 Caracterización de los componentes. 47

3.3.2.1.2 Fabricación de los adobes 48

3.3.2.1.3 Determinación de las propiedades a evaluar. 48

3.3.2.2 Metodología para el tercer objetivo. 49

3.3.2.2.1 Diseño del experimento con la selección de las variables a utilizar. 49

3.3.2.2.2 Diseño experimental 50

3.3.2.2.3 Determinación de las propiedades a evaluar. 50

4. RESULTADOS Y DISCUSIONES 53

4.1 Resultados y discusiones para el primer objetivo 53

4.1.1 Infraestructura disponible. 53

4.1.1.1 Materiales utilizados en las viviendas. 53

4.1.1.2 Infraestructura agropecuaria. 55

4.1.1.2.1 Materiales utilizados en la infraestructura agropecuaria. 56

4.1.2 Patologías de la vivienda e infraestructura rural 59

4.1.2.1 Patologías constructivas de la vivienda. 59

4.1.2.2 Patologías constructivas de la infraestructura agropecuaria. 61

4.2 Resultados y discusiones para el segundo objetivo 64

4.2.1 Caracterización del suelo para fabricación de adobe y suelo estabilizado. 64

4.2.1.1 Caracterización del suelo. 65

4.2.1.1.1 Granulometría. 65

4.2.1.1.2 Densidad del suelo. 66

4.2.1.1.3 Límites de Atterberg. 67

4.2.1.1.4 Clasificación del suelo. 67

4.2.1.1.5 Contracción lineal del suelo. 67

4.2.2 Estudio de los adobes. 68
4.2.2.1 Fabricación de los adobes. 68
4.2.2.2 Resultados de las pruebas a la compresión de los adobes. 68
4.2.2.3 Prueba de erosión de los adobes. 69

4.3 Resultados y discusiones para el tercer objetivo 71
4.3.1 Estudio de mortero estabilizado. 71
4.3.1.1 Resultados de las pruebas a la compresión del mortero estabilizado. 71
4.3.1.2 Pruebas de erosión en el mortero de revestimiento. 72
4.3.1.3 Resultado de las pruebas de Adherencia. 73

5. CONCLUSIONES 75

6. RECOMENDACIONES 77

7. BIBLIOGRAFÍA 78

8. ANEXOS 83

9. APÉNDICES 102

TABLAS

Tabla 1. *Propiedades de los materiales de construcción* 7
Tabla 2. *Actividad de los suelos arcillosos* 11
Tabla 3. *Grado de plasticidad del suelo* 16
Tabla 4. *Símbolos del grupo.* 18
Tabla 5. *Uso de los morteros de cemento* 28
Tabla 6. *Características de los suelos.* 29
Tabla 7. *Dosificaciones volumétricas para el mortero de suelo estabilizado* 29
Tabla 8. *Resistencia a la compresión y adherencia de los morteros bastardos* 30
Tabla 9. *Principales materiales empleados en el desarrollo de la investigación* 44
Tabla 10. *Valores del Coeficiente Z en función al nivel de confianza del muestreo* 46
Tabla 11. *Normas utilizadas para la caracterización del suelo.* 47
Tabla 12. *Resistencia a la erosión. Criterios de aceptación o rechazo.* 49
Tabla 13. *Dosificaciones empleadas para el mortero estabilizado* 50
Tabla 14. *Resultados de las Patologías Constructivas de la Vivienda* 59
Tabla 15. *Resultados de las Patologías Constructivas de la Infraestructura Agropecuaria*. 62
Tabla 16. *Granulometría del suelo de los barrios Florencia y San Juan* 65
Tabla 17. *Coeficiente de uniformidad y curvatura del suelo* 66
Tabla 18. *Representación tabular de los resultados a partir de la curva de compactación* 66
Tabla 19. *Límites de Atterberg y clasificación del suelo* 67
Tabla 20. *Resultados de la contracción lineal del suelo.* 68
Tabla 21. *Dosificación para la preparación de un adobe.* 68
Tabla 22. *Resistencia a la compresión de los Adobes* 68
Tabla 23. *Resistencia a la erosión de los Adobes* 69
Tabla 24. *Resistencia a la compresión del mortero de revestimiento*. 71
Tabla 25. *Resistencia a la erosión del mortero de revestimiento* 72
Tabla 26. *Tensión de arrancamiento del mortero y tipo de rotura* 73

FIGURAS

Figura 1. Construcciones Agropecuarias 5
Figura 2. (A) Tetraedro de sílica, cada átomo de silicio se localiza en el centro de cuatro átomos de oxígeno. (B) Octaedro de alúmina, cada átomo de aluminio se localiza en el centro de seis grupos OH. 9
Figura 3. Minerales de arcilla (a) Caolinita. (b) Haloisita 10
Figura 4. Minerales de arcilla; estructura de la Illita 10
Figura 5. Minerales de arcilla; estructura de la Montmorillonita 11
Figura 6. Material Graduado 13
Figura 7. Material Uniforme 13
Figura 8. Material Clasificado 13
Figura 9. Límites de Consistencia (Atterberg) 15
Figura 10. Curva de compactación del suelo 17
Figura 11. Ubicación de los barrios Florencia y San Juan 43
Figura 12. Despegue producido en la superficie de contacto entre mortero y sustrato (Rotura tipo a – rotura de adherencia). 51
Figura 13. Rotura se produce en el recubrimiento, la Resistencia es mayor que en el valor de ensayo. (Rotura tipo b – rotura de separación) 52
Figura 14. Rotura se produce en el sustrato, la resistencia de unión es mayor que el valor de ensayo. (Rotura tipo c – rotura de cohesión) 52
Figura 15. Rotura o despegue se produce en la zona del adhesivo. 52
Figura 16. Material predominante en la estructura de las viviendas en los Barrios Florencia y San Juan. 53
Figura 17. Material predominante en las paredes de las viviendas en los Barrios Florencia y San Juan. 54
Figura 18. Material predominante en las cubiertas de las viviendas en los Barrios Florencia y San Juan. 54
Figura 19. Material predominante en los pisos de las viviendas en los Barrios Florencia y San Juan. 55

Figura 20. Las viviendas en los Barrios Florencia y San Juan, que han sido objeto de mantenimiento..... 55
Figura 21. Familias que disponen de edificaciones para las actividades agrícolas o pecuarias en los Barrios Florencia y San Juan..... 56
Figura 22. Infraestructura agropecuaria disponible..... 56
Figura 23. Material de en estructura de la infraestructura agropecuaria en los Barrios Florencia y San Juan. 57
Figura 24. Material en paredes de la infraestructura agropecuaria en los Barrios Florencia y San Juan 57
Figura 25. Material en cubiertas de la infraestructura agropecuaria en los Barrios Florencia y San Juan. 57
Figura 26. Material en pisos de la infraestructura agropecuaria en los Barrios Florencia y San Juan. 58
Figura 27. Mantenimiento en la infraestructura agropecuaria en los Barrios Florencia y San Juan. 58
Figura 28. Curva granulométrica del suelo proveniente de los barrios Florencia y San Juan 65
Figura 29. Curva de compactación del suelo 66
Figura 30. Medición de la profundidad de la oquedad en el adobe 69
Figura 31. Resultado de la profundidad de la oquedad, luego del ensayo de erosión..... 70
Figura 32. Adobe del sector Vilcabamba “no apto”..... 70
Figura 33. Ensayo de resistencia a la erosión para la dosificación 1:4:1 72
Figura 34. Dosificación 1:4:1 (apto) y testigo (no apto) 73
Figura 35. Rotura tipo a/c (rotura de adherencia/rotura de cohesión)..... 74

Patologías de las construcciones de adobe y fabricación de mortero de albañilería para reparación, en los barrios Florencia y San Juan del cantón y provincia de Loja

RESUMEN

En el sector rural de la República del Ecuador predominan las construcciones tanto de viviendas como de infraestructura agropecuaria, con materiales cuya materia prima principal es el suelo, siendo el adobe el que tiene supremacía en el sector norte del cantón Loja, lo que motivó el estudio de las patologías de las edificaciones de los barrios Florencia y San Juan.

Las patologías evidenciadas en el sector de estudio, permitieron identificar que los daños en las obras confeccionados a base de suelo se producen por: la humedad y la acción de los agentes climáticos; y en el caso de las mamposterías por la falta de un recubrimiento o revestimiento adecuado, lo que conllevó al estudio de mortero con suelo estabilizado, pretendiendo que se constituya en una alternativa para el mejoramiento de la vivienda y la infraestructura agropecuaria rural, que pueda ser aplicada de una manera sencilla.

Los métodos de investigación utilizados fueron: La Investigación no Experimental cuantitativa para el caso del estudio de las patologías y la Investigación Experimental para el estudio de mortero estabilizado para revestimiento de paredes de adobe.

El análisis de las patologías presentadas en las edificaciones, permitieron ratificar la falencia presente en las superficies de los paramentos o paredes por falta de un repello adecuado y los ensayos de laboratorio brindaron resultados positivos al utilizar suelo estabilizado para revestimiento, empleando los aglomerantes: cal y cemento, obteniéndose que la mejor dosificación fue de 1-4-1 (cemento-suelo-cal), que alcanza la mejor resistencia a la compresión, es apto en las pruebas de erosión y logra buena adherencia.

ABSTRACT

In the rural area of Ecuador predominate the buildings, the most of the houses are made of agricultural infrastructure, they have being made of materials whose main element is the soil; the adobe is the one which has the supremacy in the north sector of Loja canton. It motivated me to study the pathologies of buildings in the Florence and San Juan parishes.

The patent pathologies in the study sector allowed me to identify that the damages in the works which were made of soil were produced mainly by two causes: first, the humidity and the action of the climate conditions; and, second, in the case of the masonries, the problem was the lack of a suitable coating or appropriate lining, This issue encourages me to study the mortar with stabilized soil with the purpose to offer an alternative to improve the housing and the rural agricultural infrastructure, so it can be applied in a simple way.

The research methods used in developing and applying were: the non-experimental quantitative research for the study case of the pathologies and the experimental research to the study of stabilized mortar for coating of adobe walls.

The analysis of the pathologies presented in the buildings gave me the opportunity to ratify the present failure in the surfaces of the paraments or walls for lack of a suitable repelling. Furthermore, the laboratory tests gave positive results when using stabilized soil for coating, using the binders: lime and cement, so the best dosage was of 1-4-1 (cement-soil-lime). It reaches the best resistance to the compression; it is apt for the erosion tests and achieves good adhesion

1. INTRODUCCIÓN

En la Región Sur del Ecuador - RSE, los agricultores del sector rural poseen en sus unidades de producción, construcciones como: vivienda, granero, alojamiento de animales, confeccionadas con materiales del sector, en donde el suelo es la principal materia prima.

Según Barrios, (2008), la pobreza rural está vinculada a la vulnerabilidad económica de los hogares, a través de su dependencia crónica con la agricultura para la generación de ingresos que tiene su causa directa en la desigual distribución de la tierra productiva, el aislamiento geográfico y la limitada inversión en educación y en servicios de salud y vivienda.

La precariedad del hábitat está ligada a la situación de inequidad y abandono que han afectado a las familias y comunidades de las zonas rurales; razón por la cual la solución de los problemas de la vivienda y el hábitat dependen también de las políticas sociales de compensación y de las políticas de reactivación productiva del agro que se implementen. (Pinto y Ruiz, 2009).

Debido a las características del suelo y a la falta de mantenimiento de las edificaciones, la vida útil de esta infraestructura es corta y de mediano plazo y entran en estado de vetustez, por cuanto no existe una cultura de mantenimiento de estas construcciones a lo largo del tiempo, lo que ha propiciado un desprestigio de este tipo de obras y de los materiales confeccionados con suelo.

La escasa investigación para identificar las patologías en estas edificaciones, no ha permitido contribuir con una solución adecuada, para disminuir el deterioro o mejorarlas estructural y estéticamente, para que cada agricultor posea una vivienda digna y acogedora, en correspondencia con la infraestructura agropecuaria.

El cantón Loja al ser parte de la Región Sur, se encuentra inmerso en esta realidad en donde es muy común observar casas e infraestructura agropecuaria construidas con materiales a base de suelo como: adobe, tapial y bahareque, mismas que son fabricadas directamente por los propietarios, porque para las personas de escasos recursos económicos es la única y mejor vía para tener una vivienda y un espacio de apoyo a la producción.

La fabricación de los materiales y la construcción de las obras se las realiza de manera artesanal y basados, en la mayoría de los casos, en un conocimiento ancestral sin sustento científico – técnica, por ese motivo, la presente investigación denominada Patologías de las construcciones de adobe y fabricación de mortero de albañilería para reparación, en los barrios Florencia y San

Juan del cantón y provincia de Loja, tuvo la finalidad plantear alternativas para la restauración, reparación y protección de las mamposterías de adobe, que contribuya con la prolongación de la vida útil de las construcciones de adobe y así los agricultores obtengan viviendas e instalaciones agropecuarias dignas que garanticen el bienestar de sus propietarios, para lo cual se plantearon los siguientes objetivos.

Objetivo General.

- Evaluar las edificaciones y la infraestructura agropecuaria de los barrios Florencia y San Juan del cantón Loja y determinar las patologías presentes en las construcciones realizadas con adobe, la materia prima empleada y sistematizar su proceso de fabricación, que haga posible el estudio del suelo en laboratorio y desarrollar procesos alternativos para restauración, reparación y protección de las mamposterías de adobe, que contribuya con la prolongación de la vida útil de las construcciones de adobe.

Objetivos específicos

- Caracterizar la infraestructura agropecuaria disponible, e identificar los materiales de construcción utilizados así como su distribución espacial para sobre esta base determinar las patologías presentes en las construcciones realizadas con adobe.

- Clasificar el tipo de suelo utilizado como materia prima en la fabricación de los adobes, así como sistematizar su proceso de fabricación para realizar el estudio de mecánica de suelos y paralelamente evaluar en laboratorio el comportamiento a la compresión y erosión de dichos adobes.

- Realizar en laboratorio pruebas con diferentes mezclas de suelo estabilizado que muestren adecuada adherencia y sea resistente a la erosión.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 La pobreza en América Latina y Ecuador

La pobreza rural en América Latina afecta a 175 millones de personas, según informe de la Secretaria Ejecutiva de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL, 2015), que representa el 29,2 % de la población total, situación que se le atribuye a varias causas estructurales y coyunturales, influyendo además el hecho de que un importante sector de la población todavía vive en el campo (Buainain, 2016).

La pobreza rural está vinculada a la vulnerabilidad económica de los hogares, a través de su dependencia crónica con la agricultura para la generación de ingresos (Barrios, 2008) que tiene su causa directa en la desigual distribución de la tierra productiva, el aislamiento geográfico y la limitada inversión en educación y en servicios de salud y vivienda.

Pinto y Ruiz, (2009) señalan que en Ecuador, una de cada tres familias viven en áreas rurales y aunque la tasa de crecimiento de esta población es tres veces menor que la de la urbana, la primera concentra los mayores índices de pobreza, así se estima que 4 de cada 5 familias rurales son pobres.

El Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) por su parte, a finales de 2016, estableció un nivel de pobreza de 22,90 % del total de la población y por ubicación a nivel urbano registró el 15,7 % a diferencia de la rural con el 38,2 % y en cuanto a la categoría de pobreza extrema la cifra llegó a 8,7 %. (INEC, 2016).

La categoría establecida por el INEC respecto de la pobreza por necesidades básicas insatisfechas - NBI, considera que una persona es pobre o no en base a cinco componentes o dimensiones: i) calidad de vivienda, ii) hacinamiento iii) acceso a servicios básicos, iv) acceso a educación y v) capacidad económica. Si el hogar es carente de al menos uno de los componentes los miembros del hogar son considerados pobres.

En tal sentido a nivel nacional la tasa de pobreza por NBI en diciembre de 2016 se ubicó en 32,1 %, en el área urbana en 22,3 % y en la rural en 52,6 %, datos que confirman que las condiciones más deficitarias se encuentran en el sector rural.

2.2 La vivienda rural en el Ecuador

Pinto y Ruiz, (2009) en referencia con la problemática de la vivienda, señalan lo siguiente:

> "El Ecuador, como la mayoría de países latinoamericanos, es un país eminentemente urbano, no por ello la problemática rural tiene menos importancia, tomando en cuenta que los índices de mayor pobreza e indigencia se hallan, precisamente, en las áreas rurales. La precariedad del hábitat está ligada a la situación de inequidad y abandono que han afectado a las familias y comunidades de las zonas rurales; razón por la cual la solución de los problemas de la vivienda y el hábitat dependen también de las políticas sociales de compensación y de las políticas de reactivación productiva del agro que se implementen."

La calidad de las viviendas rurales es más deficitaria en relación con las urbanas, se estima que más de medio millón de viviendas rurales no reúnen las condiciones de habitabilidad necesarias para garantizar la calidad de vida de las familias debido a la carencia de servicios, mala calidad de la construcción, hacinamiento e inseguridad, entre otras. Un aspecto importante que contribuye a evidenciar la pobreza y propicia condiciones de insalubridad en las viviendas y que además es común en Ecuador es la ausencia de cualquier material para cubrir el piso de la vivienda, lo cual según la Organización Mundial de la Salud - OMS (1990) no sólo dificultan la higiene doméstica sino que pueden albergar helmintos.

La vivienda no es más que un elemento dentro del desarrollo de la familia, las comunidades y pueblos, por lo que es particularmente imprescindible plantear el acceso a la vivienda en el marco de propuestas de desarrollo rural que contemplen el apoyo a la producción, implementación de circuitos de comercialización, inclusión de nuevas alternativas productivas como el ecoturismo o el turismo comunitario, desarrollo de tecnologías energéticas, fortalecimiento del tejido social y de la convivencia intercultural, entre otras, (Pinto & Ruiz, 2009).

2.3 La construcción y las instalaciones agropecuarias

Las obras que sirven al sector agropecuario corresponden a toda la infraestructura e instalaciones que se requieren para el desarrollo adecuado de esta actividad, las mismas que están fuertemente ligadas a la construcción, por lo tanto es un componente que debe ser estudiado a profundidad por su incidencia en la vida del agricultor. (Calva, 2015).

La falta de recursos económicos y en ocasiones de espacio físico, hace que gran parte de las actividades agropecuarias se las lleve a cabo en la vivienda, ocupando los espacio de la cocina, siendo común realizar la cría de los animales menores (gallinas y cuyes), lo que conlleva a problemas de salud.

Calva, (2015) señala que en este punto toma fuerza la rama de la ingeniería agrícola, que está relacionada generalmente con las construcciones rurales, siendo la encargada de brindar soporte técnico a los procesos agroindustriales.

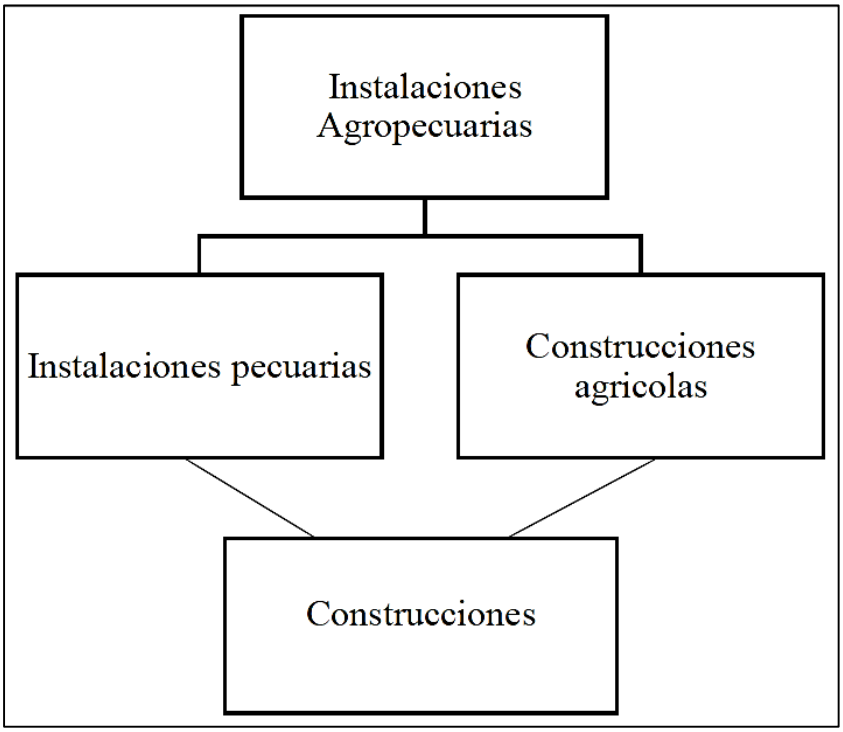


Figura 1. Construcciones Agropecuarias
Fuente: Calva, 2015

2.3.1 Instalaciones pecuarias.

Calva (2015) menciona que son aquellas construcciones que se utilizan en la protección de los animales, a fin de mantenerlos en un ambiente saludable ya sea para su manejo o control, las cuales deben ser diseñadas de tal manera que el productor requiera menor esfuerzo y tiempo mínimo para atender a sus animales.

Los requerimientos según el tipo de animales a manejar se han establecido, entre otros los siguientes:

Instalaciones para bovinos: En ganadería lechera semiestabulada y estabulada, cercas, corrales y establos para manejo de potreros.

Instalaciones para porcinos: comederos, bebederos, estercoleros y báscula.

Instalaciones para aves: galpones, criadoras, comederos y bebederos.

2.3.2 Construcciones agrícolas.

Entre las construcciones o instalaciones agrícolas más comunes se tiene:

- Invernaderos
- Naves
- Almacenamiento para productos agrícolas
- Instalaciones complementarias: silos, biodigestores, tanques de almacenamiento y canales conductores para el agua de riego, sistemas de riego.

2.3.3 Materiales de construcción.

Se definen como materiales de construcción a todos los elementos o cuerpos que integran las edificaciones u obras de ingeniería, cualquiera que sea su naturaleza, composición y forma, de tal manera que cumplan con los requisitos mínimos para tal fin. (Alan, 2011).

Existen dos grandes grupos de materiales de construcción: naturales y artificiales, los cuales en su mayoría se forman o producen a partir de minerales.

2.3.3.1 Propiedades de los materiales.

Según Gómez, (2013) es imprescindible verificar la o las propiedades de mayor interés en los materiales de construcción antes de hacer uso de ellos, lo cual se realiza por medio de ensayos, cuyo procedimiento debe seguir normas estándar y se pueden efectuar en laboratorio y/o en campo. Algunas de las propiedades de los materiales que se contemplan en la construcción son del tipo: físico, químico, mecánico, térmico, óptico, eléctrico y acústico, que según Gómez (2013) las plantea y constan en la Tabla 1.

Tabla 1. *Propiedades de los materiales de construcción*

Físicas	Químicas	Mecánicas	Térmicas	Eléctricas	Acústicas	Ópticas
Dimensiones	Composición química	Resistencia: tensión	Capacidad conductiva	Capacidad conductiva	Transmisión del sonido	Transmisión de la luz
Forma	Acidez o alcalinidad	Compresión cortante	Expansión térmica	Aislamiento eléctrico	Reflexión del sonido	Reflexión de la luz
Peso específico	Reactividad química	Flexión impacto	Contracción térmica		Aislamiento del sonido	Filtrado de la luz
Porosidad	Facilidad de corrosión	Rigidez elasticidad	Aislamiento térmico			
Contenido de humedad		Plasticidad ductilidad				
Textura		Dureza				

2.3.3.2 El empleo del suelo en la construcción.

Desde sus comienzos el ser humano ha modificado su entorno para adaptarlo a sus necesidades, para ello usó todo tipo de materiales naturales que con el paso del tiempo y el desarrollo de la tecnología, se transformaron en distintos productos mediante procesos de manufactura de creciente sofisticación. (Soriano, 2015).

El suelo como bien económico no tiene sólo una primera finalidad: agrícola, forestal o paisajística, como consta en la exposición de motivos de las últimas Leyes del Suelo desde 1992, sino que es en algunos casos se constituye en el hábitat de algunos seres vivos terrestres y marinos y es el espacio donde poder sustentarse ellos y las familias o manadas que hayan formado o lideren (Cuenca, 2013), pero adicionalmente es la primera materia prima que se utiliza para fundar sobre él las construcciones, a más de permitir su empleo en la fabricación de otros materiales, situación que ha continuado hasta la actualidad, por lo que Gatti (2012) afirma que “un tercio de la humanidad habita en viviendas de tierra y en países en vías de desarrollo esto representa más de la mitad”.

2.4 El suelo

Para Duque & Escobar (2002) “El suelo en la Ingeniería Civil, son los sedimentos no consolidados de partículas sólidas fruto de la alteración de las rocas, o suelos transportados por agentes como el agua, hielo o viento”, por lo tanto se lo considera un cuerpo natural heterogéneo.

Según Acevedo (2004), referenciado por Calva (2015), el suelo es un material no consolidado, compuesto de distintas partículas sólidas producto de la desintegración mecánica o de la descomposición química de rocas existentes con anterioridad, con gases o líquidos incluidos y está constituido por un sistema de tres fases: sólida, líquida y gaseosa.

La fase sólida determina fundamentalmente sus propiedades principales y está compuesta por partículas minerales, de tamaños variados como: guijarros (> 20 mm), grava (de 20 mm a 2 mm), arena gruesa (2 mm < φ > 0,2 mm), arena fina (0,2 mm < φ > 0,02 mm), limo y arcilla (0,02 mm < φ < 0,002 mm).

La fase líquida se considera el agua pura, aunque en ocasiones está acompañada por ínfimas cantidades de otros líquidos y con sales disueltas que pueden ocasionar problemas.

La fase gaseosa constituida por aire aunque ocasionalmente se presenta otros gases como el metano contenido en la materia orgánica en descomposición, que puede existir en algunos suelos. El aire es un factor debilitante e indeseable en la construcción, pues además encierra microorganismos y vapor de agua pudiendo deteriorar ambos el componente constructivo.

2.4.1 La arcilla.

Minke (2005) la conceptualiza en los siguientes términos:

> "La arcilla es producto de la erosión del feldespato y otros minerales, el feldespato contiene óxido de aluminio, un segundo óxido metálico y bióxido de silicio. Uno de los más comunes tipos de feldespato tiene la fórmula química $Al2O_3 \bullet K2O \bullet 6SiO_2$ Si durante la erosión los componentes del potasio se disuelven, entonces una arcilla denominada caolinita es formada y tiene la fórmula $Al2O_3 \bullet 2SiO_2 \bullet 2H_2O$. Otro mineral arcilloso muy común es la montmorillonita con la fórmula $AL_2O_2 \bullet 4SIO_2$. Adicionalmente existe una amplia variedad de minerales arcillosos como la illita que no se encuentran comúnmente".

2.4.1.1 Arcillas silíceas

Según Valarezo (2010) las arcillas silíceas son aluminio-silicatos, cuyas unidades elementales son:

- El tetraedro de sílica (un átomo de silicio rodeado de cuatro átomos de oxígeno que forman un cuerpo tridimensional con cuatro caras) y,

- El octaedro de alúmina (un átomo de aluminio rodeado de seis átomos de oxigeno o de seis OH, que forman un cuerpo tridimensional con ocho caras (figura 2).

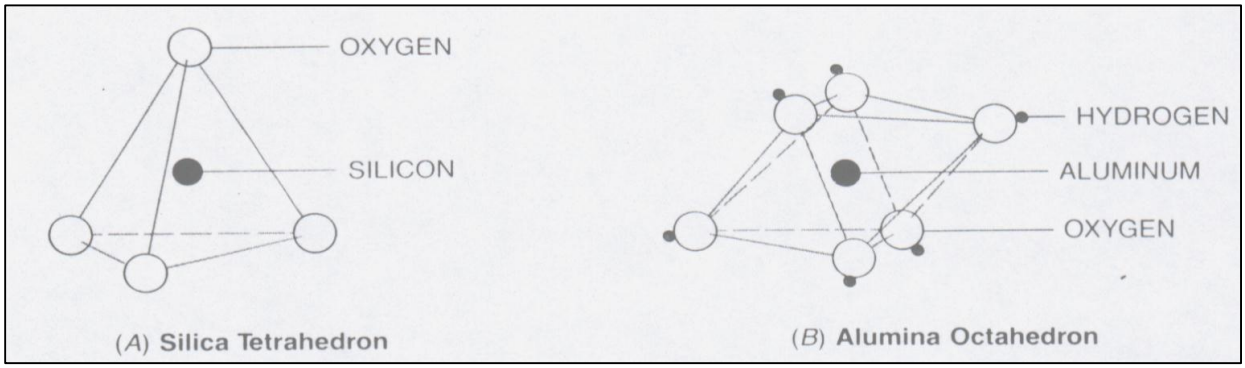


Figura 2. (A) Tetraedro de sílica, cada átomo de silicio se localiza en el centro de cuatro átomos de oxígeno. (B) Octaedro de alúmina, cada átomo de aluminio se localiza en el centro de seis grupos OH.

En base al arreglo interno de las unidades elementales en el mineral se distinguen dos grandes grupos de arcillas silíceas: arcillas silíceas cristalinas (con ordenamiento interno regular de las unidades elementales) y las arcillas silíceas amorfas (sin ordenamiento de las unidades elementales).

En las arcillas silíceas cristalinas, los tetraedros al igual que los octaedros forman láminas, por ello pertenecen al grupo de los filosilicatos. La secuencia y disposición de las láminas de octaedros y tetraedros, el tipo de espacio entre las capas y los cationes asociados, son los elementos que se consideran en la clasificación de estas arcillas.(Valarezo, 2010).

2.4.1.2 Caolinitas.

Para duque y Escobar, (2002) el principal grupo de arcillas que presenta baja capacidad de intercambio, 10 – 12 meq (miliequivalentes) cada 100 gramos y con dos capas de cationes, las llamadas arcillas 1:1 (capa tetraédrica más capa octaédrica de alúmina hidratada) y su actividad es menor a 0,75. El arreglo, que se repite indefinidamente da una carga eléctrica neutra del mineral caolinita, cuya estructura no es expansiva, por no admitir agua en sus retículos. Estas arcillas son moderadamente plásticas, de mayor permeabilidad y mayor fricción interna. Del grupo son: Haloisita, caolinita, endellita, dickita, alofano, nacrita y anauxita. La haloisita, aunque tiene la misma fórmula del caolín, contiene moléculas extra dentro de su estructura. En la figura propuesta por Whitlow (1994) la Gibsita = SiO4 (En la “Carta de Plasticidad” las caolinitas están bajo la línea A = limos).

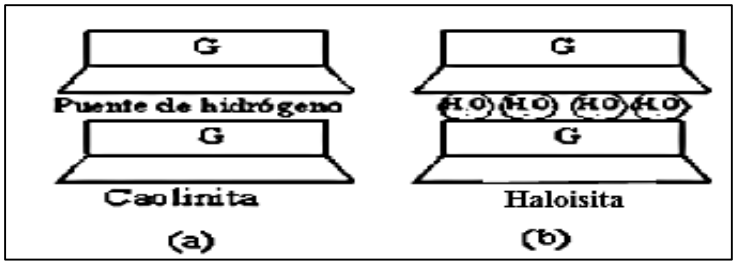


Figura 3. Minerales de arcilla (a) Caolinita. (b) Haloisita

2.4.1.3 Illita.

Es una arcilla 2:1, cuya capacidad de intercambio es de unos 40 meq/100 g, lo que las hace algo expansivas. Las láminas de alúmina están entre dos láminas de SiO4, y estas se ligan por iones de potasio, que le dan cierta estabilidad al conjunto. La actividad de la illita es mayor a 0,75 y menor que 1,25. El coeficiente de fricción interno y la permeabilidad son menores que en la caolinita y mayores que en la montmorillonita. (Duque y Escobar, 2002)

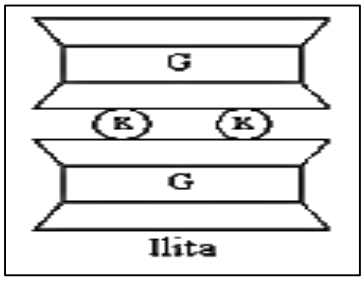


Figura 4. Minerales de arcilla; estructura de la Illita

2.4.1.4 Montmorillonita.

Duque y Escobar, (2002) afirman que corresponde a una arcilla 2:1 cuya capacidad de intercambio es de unos 120 meq/100 g, lo que las hace muy expansivas. Entre las dos láminas de sílice se encuentra una brucita o una gibsita y este arreglo se repite indefinidamente. La unión entre minerales individuales es débil, por lo cual el agua se inserta, introduciendo n moléculas para producir el hinchamiento del suelo.

Además de ser expansiva, este tipo de arcilla es muy plástica y se contrae al secarse, mejorando su resistencia y haciéndose impermeable. La actividad de la montmorillonita es mayor que 1,25. Entre las montmorillonitas existen: La montmorillonita, hectorita, saponita, beidellita, sauconita, talco, porfilita y nontronita.

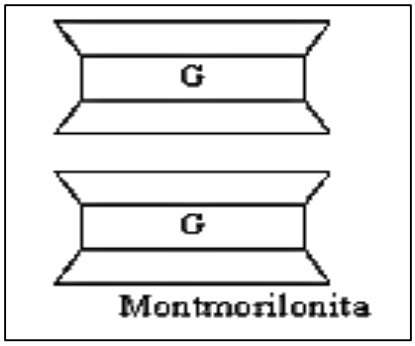


Figura 5. Minerales de arcilla; estructura de la Montmorillonita

2.4.1.5 La actividad de la arcilla.

La plasticidad se atribuye a la deformación de la capa de agua adsorbida alrededor de las partículas de mineral de arcilla. Por lo tanto, el grado de plasticidad que presenta un suelo está relacionado con el tipo y cantidad de minerales arcillosos presentes.

Este parámetro lo expresó Skempton (1953) como la pendiente de la línea que relaciona el Índice Plástico de un suelo con su contenido de minerales de tamaño arcilloso. Una actividad normal es de 0,75 a 1,25. Más de 1,25 es alta y menos de 0,75 es inactiva. La actividad supone cohesión, expansividad y plasticidad.

La actividad de la arcilla se la determina así:

$$\boldsymbol{A} = \frac{\boldsymbol{IP}}{\%\ \boldsymbol{de\ arcilla}} \qquad [1]$$

Donde:

IP = Índice de plasticidad
% de arcilla = % en peso WS de partículas con finos < 2μ

Tabla 2. *Actividad de los suelos arcillosos*

Tipo de Arcilla	**Actividad (A)**	**Potencial de cambio De Volumen**	**Clasificación**
Caolinita	A < 0.75	Bajo	Inactivas
Illita	0.75 < A ≤ 1.25	Medio	Normales
Montmorillonita	A > 1.25	Alto	Activas

2.4.2 Pruebas de laboratorio establecidas para caracterizar los suelos.

Para su identificación, todos los suelos pueden agruparse en tipos base: grava, arena, limo, arcilla y materia orgánica y varias de sus combinaciones. En la naturaleza, los suelos raramente existen por separado como tipos base, sino que se encuentran como compuestos.

La identificación y clasificación de suelos en el laboratorio se fundamenta en el reconocimiento de los tipos base de los suelos y de las características de los compuestos.

Para la caracterización del suelo es necesario realizar algunos ensayos tales como:

- ✓ Contenido de humedad
- ✓ Granulometría
- ✓ Límites de Atterberg
- ✓ Ensayo de Proctor

2.4.2.1 Contenido de humedad.

Es "la relación que existe entre la masa de agua contenida y la masa de las partículas sólidas multiplicadas por 100 para ser expresada en porcentaje" (Torres Merino, 2006).

$$w = \frac{Ww}{Ws} \times 100 = \frac{Wt - Ws}{Ws} \times 100 \quad [2]$$

De donde Ww es el peso del agua contenida en la muestra suelo, Ws es el peso de la fase sólida de la muestra de suelo y Wt el peso total de la muestra de suelo húmedo.

2.4.2.2 Granulometría.

El análisis granulométrico se refiere a la determinación de la cantidad en porcentaje de diversos tamaños de las partículas que constituyen el suelo y para determinar la composición granulométrica de un determinado suelo existen diferentes procedimientos. Para clasificar por tamaños las partículas gruesas el procedimiento más expedito es el del tamizado, sin embargo al aumentar la finura de los granos el tamizado se hace cada vez más difícil, teniendo entonces que recurrir a procesos por sedimentación, por lo que generalmente se usan dos métodos para encontrar la distribución del tamaño de las partículas del suelo:

- ➢ Análisis por tamizado, para tamaños de partículas mayores de 0,075 mm de diámetro, y
- ➢ Análisis por sedimentación (hidrómetro), para tamaños de partículas menores de 0,075 mm de diámetro.

Conocida la composición granulométrica del material, se la representa gráficamente para formar la llamada curva granulométrica del mismo. (Villalaz, 2004).

Figura 6. Material Graduado

Figura 7. Material Uniforme

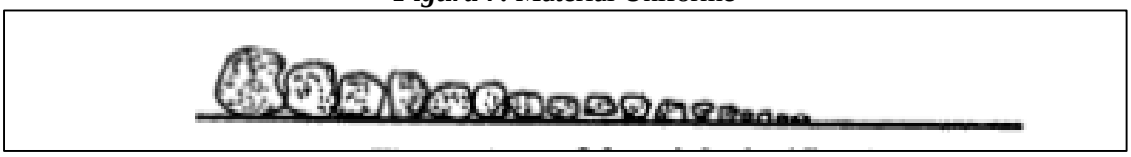


Figura 8. Material Clasificado

- ✓ **Análisis por tamizado**

Previo a la realización del ensayo por tamizado, el suelo debe secarse en la estufa, cuando esté listo se hace pasar por una serie organizada de tamices de arriba hacia abajo, que según la norma AASTHO T88-00 corresponderán a: 72.6 mm, 50.8 mm, 25.4 mm, 9.5mm, Nº 4, Nº 10, Nº 40, y Nº 200. Se tapa con el fin de evitar pérdidas de finos y al final se coloca el fondo que es un recipiente de forma igual a uno de los tamices y recibe el material más fino no retenido por ningún tamiz. (Duque & Escobar, 2002).

- ✓ **Análisis hidrométrico**

Según Duque & Escobar, (2002) el ensayo granulométrico por sedimentación o por hidrómetro se basa en la Ley de Stokes, la cual relaciona la velocidad de una esfera, cayendo libremente a través de un fluido, con el diámetro de la esfera. El hidrómetro se usa para determinar el porcentaje de partículas de suelos dispersados, que permanecen en suspensión en un determinado tiempo.

La profundidad del densímetro, variable con la densidad de la suspensión (Arquímides), es la base para calcular esa distribución de tamaños de granos finos que pasa la malla o tamiz No. 200, con d = 0,074 mm, el sistema se calcula con:

$$\boldsymbol{v = g * D^2 \frac{\rho_s - \rho_F}{18n}} \quad [\mathbf{3}]$$

Donde:

v = velocidad en cm/seg = constante
n = viscosidad en poises = gr/cm sg
ρ_S , ρ_F = densidades de los sólidos y la suspensión en gr/cm^3
D = diámetro de una esferita (diámetro equivalente) en cm

Los autores Berrye y Reis (1993) indican que la posibilidad de expresar la gradación numéricamente mediante el coeficiente de uniformidad (Cu).

$$\boldsymbol{Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}} \qquad [\mathbf{4}]$$

O con el coeficiente de curvatura, Cc, definido como

$$\boldsymbol{Cc = \frac{D_{30}^2}{D_{10}\, D_{60}}} \quad [\mathbf{5}]$$

En donde D_{10}, D_{30} y D_{60} son tamaños de partícula para los cuales el 10, 30 y 60 % del material, respectivamente, es más fino que esos tamaños.

Cu y Cc se utilizan como criterios en el sistema unificado de clasificación de suelos SUCS, en general en cuanto más alto sea el valor de Cu más amplio será el rango de tamaños de partículas en el suelo. Lo suelos se clasifican como bien graduados si Cu> 4 ó 6, y 1 < Cc < 3.

2.4.2.3 Consistencia del suelo o Límites de Atterberg.

El físico sueco Albert Atterberg estableció en 1946 la clasificación de los suelos en función del efecto que la humedad ejerce en su consistencia y fijó límites o fronteras entre cuatro diferentes estados. La consistencia significa el grado de firmeza y en los suelos coherentes varía desde un estado sólido cuando están secos y un estado líquido viscoso cuando el contenido de agua aumenta considerablemente. (Fratelli, 1993).

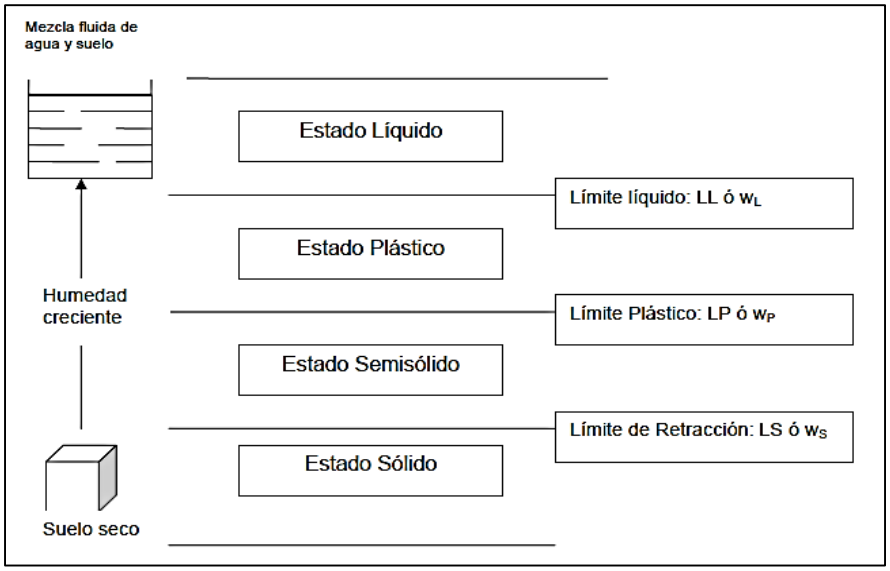


Figura 9. Límites de Consistencia (Atterberg)

- **Límite líquido (LL). –** Según Villalaz, (2004) es el contenido de humedad expresado en porcentaje con respecto al peso seco de la muestra, con el cual el suelo cambia del estado plástico al estado al líquido. De acuerdo con esta definición los suelos plásticos tienen en el límite líquido una resistencia muy pequeña al esfuerzo de corte pero definida y según Atterberg es de 25 g/cm^2.

- **Límite plástico (LP).-** Es el contenido de humedad, expresado en porcentaje con respecto al peso seco de la muestra secada al horno por 24 horas a una temperatura de 105ºC, para el cual los suelos cohesivos pasan de un estado semisólido a un estado plástico.

- **Límite de contracción (LC).-** Villalaz, (2004) lo define como el porcentaje de humedad con respecto al peso seco de la muestra, con el cual una reducción de agua no ocasiona ya disminución en el volumen del suelo.

- **Índice de plasticidad (IP).-** Se denomina índice de Plasticidad o índice Plástico a la diferencia numérica entre los límites líquido y plástico, e indica el margen de humedades dentro del cual se encuentra en estado plástico tal como lo definen los ensayos. (Villalaz, 2004).

$$\mathbf{IP = LL - LP} \qquad [6]$$

Tabla 3. *Grado de plasticidad del suelo*

IP	Descripción
0-3	No plástico
3-15	Ligeramente plástico
15-30	Baja plasticidad
>30	Alta plasticidad

- **Índice de Liquidez (IL).-** En los suelos platicos, el índice de liquidez es indicativo de la historia de los esfuerzos a que ha estado sometido el suelo. Si el valor del índice de liquidez es cercano a cero, se considera que el suelo esta preconsolidado, y si es cercano a uno entonces se lo clasifica como normalmente consolidado. (Villalaz, 2004).

$$\boldsymbol{IL = \frac{W_s - LP}{IP}} \qquad [7]$$

Donde:
Ws= humedad del suelo en estado natural

- **Índice de Contracción (IC).-** La diferencia entre el límite plástico y el límite de contracción se llama índice de contracción, y señala el rango de humedad para el cual el suelo tiene una consistencia semisólida.

$$\mathbf{IC = LP - LC} \qquad [8]$$

2.4.2.4 Contracción lineal (CL).

Villalaz, (2004) la define como el porcentaje de contracción con respecto a la dimensión original que sufre una barra de suelo.

Se la calcula con la siguiente expresión:

$$\boldsymbol{CL = \frac{L1 - L2}{L1} \times 100} \qquad [9]$$

Donde:

CL: contracción lineal expresada en porcentaje, %.
L1: Longitud de la barra del suelo húmeda.
L2: longitud de la barra del suelo seca.

2.4.2.5 Ensayo de Proctor.

Buscando una prueba de laboratorio que igualara los resultados que se obtienen en el campo, el ingeniero Ralph Proctor (1933) propuso una prueba de compactación que hoy lleva su nombre: Prueba de Proctor.

Según Villalaz (2004) esta prueba se refiere a la determinación del peso por unidad de volumen de un suelo que ha sido compactado por un procedimiento definido para diferentes contenidos de humedad. Esta prueba tiene por objeto determinar el peso volumétrico seco máximo que puede alcanzar un material, así como la humedad optima a que deberá hacerse la compactación.

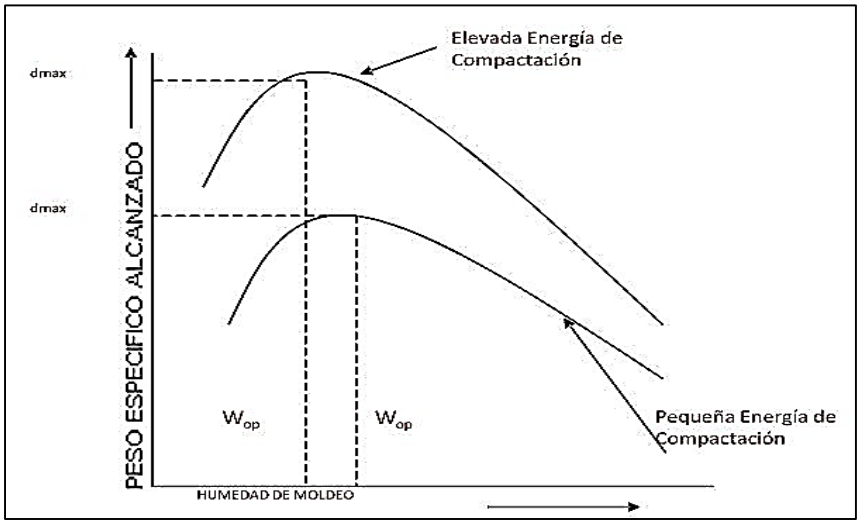


Figura 10. Curva de compactación del suelo

2.4.3 Clasificación de los suelos.

Con el objeto de poder dividir los suelos en grupos que posean características semejantes y con propiedades geotécnicas similares, han surgido un gran número de clasificaciones del suelo, las cuales generalmente se basan en la distribución granulométrica, los límites de Atterberg y el contenido de materia orgánica entre otros. En la actualidad los dos principales sistemas de clasificación son el sistema AASHTO y el SUCS (Bañon et al., 2000).

2.4.3.1 Sistema de clasificación AASHTO.

Sistema adoptado en 1931 por el Departamento de Caminos de U.S.A., de uso especial para la construcción de caminos, en especial para manejo de sub-rasantes y terraplenes (Kraemer et al.,2009).

Los únicos ensayos necesarios para este sistema de clasificación son el análisis granulométrico y los límites de Atterberg.

El sistema AASHTO considera siete grupos básicos de suelos, enumerados del A-1 al A-7, de los cuales algunos se dividen en subgrupos. Además se debe agregar el concepto de índice de grupo (IG) que corresponde a:

$$\boldsymbol{IG = (F - 35) \times [0,2 + 0,05 \times (LL - 40)] + 0,01 \times (F - 15) \times (IP - 10)} \quad [10]$$

Donde:

F: Proporción de finos que pasa por el tamiz No. 200 (%)
LL: Límite líquido (%)
IP: Índice de plasticidad (%)
Este índice de grupo tiene valores enteros entre 0 y 20 (AASHTO, 2008).

El detalle de este sistema de clasificación consta en el Anexo B (Cuadro B.1)

2.4.3.2 Sistema Unificado de Clasificación de Suelos - SUCS.

Según Juárez y Rico (1973) el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos – SUCS cubre los suelos gruesos y los finos, distinguiendo a ambos por el cribado a través de la malla número 200, las partículas gruesas son mayores que dicha malla y las finas son menores. Un suelo se considera grueso si más del 50 % de sus partículas son gruesas y será fino si más de la mitad de sus partículas, en peso, son finas.

Esta clasificación emplea unos símbolos de grupo, que consisten en un prefijo que designa la composición del suelo y un sufijo que matiza sus propiedades. Los ensayos necesarios para poder clasificar un suelo con este sistema son: granulometría, límites de Atterberg y contenido de material orgánico (Kraemer et al.2009).

Tabla 4. *Símbolos del grupo.*

Tipo de suelo	Prefijo	Subgrupo	Sufijo
Grava	G	Bien graduado	W
Arena	S	Pobremente graduado	P
Limo	M	Limoso	M
Arcilla	C	Arcilloso	C
Orgánico	O	Límite líquido alto (>50)	L
Turba	Pt	Límite líquido bajo (<50)	H

Fuente: Manual de carreteras. (Bañon et al., 2000)

De acuerdo a estos símbolos, se pueden establecer distintas combinaciones que indican cada tipo de suelo. El detalle del sistema de clasificación SUCS consta en el anexo B (Cuadro B.2).

2.5 El adobe

El adobe o bloques de tierra sin cocer, es uno de los materiales más antiguos conocidos por el hombre así, las primeras edificaciones se hicieron moldeando de diferentes formas y tamaños. En la actualidad se sigue construyendo con este material en muchos pueblos del mundo. Sean construcciones arqueológicas o de época reciente las construcciones de adobe comparten problemas comunes de mantenimiento y deterioro. (Ramírez García, 2009).

El adobe es un material para construcción hecho de una masa de barro (arcilla y arena) y agua mezclada con material orgánico como paja, ramas o estiércol, moldeada en forma de ladrillo y secada al sol.

2.5.1 Historia del uso del adobe en construcción.

Minke, (2005) señala que "las técnicas de construcción con barro datan de hace más de 9000 años. En el Turquestán fueron descubiertas viviendas de tierra del período 8000 – 6000 a.C. Durante siglos los indios de Pueblo en Taos Nuevo México, USA construyeron sus viviendas con adobes, utilizando la tierra del lugar, el agua de los ríos cercanos y la paja de sus cosechas de cereales."

Navas, Cisneros, y Nolasco, (2010) afirman que "La más antigua ciudad conocida, Catalhöyük, en Anatolia, del VII milenio antes de Cristo, tenía las casas construidas con adobes."

En el Antiguo Egipto se empleó frecuentemente el adobe, elaborado con limo del Nilo, en la construcción de casas, tumbas (mastabas), fortalezas e incluso palacios, aunque los egipcios también fueron los primeros en emplear la piedra tallada para erigir templos, pirámides y otras edificaciones monumentales.

En Perú existe la ciudadela de Chan Chan, la ciudad de barro más grande de América, perteneciente a la Cultura Chimu, (1200-1480).

En México, Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia, Argentina y en el sur y norte de Chile las casas de adobe son un patrimonio de muchas familias humildes, que conservan esta tradición desde tiempos inmemorables. Mezclar el pasto seco con el barro permite una correcta aglutinación, gran resistencia a la intemperie y evita que los bloques una vez solidificados tiendan a agrietarse.

Posteriormente los bloques se adhieren entre sí con barro para levantar muros. (Navas, Cisneros, y Nolasco, 2010).

2.5.2 Fabricación del adobe.

2.5.2.1 Proporciones para la fabricación de adobe.

Para hacer o labrar adobes los suelos recomendables son los que contienen un balance apropiado de arena (55% a 70%), limo (15% a 25%) y arcilla (10% a 20%). (Barrionuevo, 2011). Sobre el porcentaje de arena que debe ser agregada, Barrios (1987) citado por Calva (2015), plantea que:

> "Para establecer un rango se toma como nivel mínimo de arena aquel que las fisuras, producto de la absorción de agua capilar, ya no aparezcan o sea de escasa ocurrencia y magnitud y, como nivel máximo, aquel que se inicia la caída de resistencia a flexo tracción, el que satisface las condiciones deseables de mantener la resistencia a la compresión alta y no permitir una excesiva velocidad de ascenso de humedad capilar".

Es por ello que los especialistas establecen el porcentaje de arena debe ser entre el 55 a 65 %, y no más que eso.

2.5.2.2 Formas y dimensiones.

Según Barrionuevo, (2011) los adobes pueden ser cuadrados o rectangulares, en estos últimos el largo será aproximadamente el doble del ancho. La relación largo / altura es de 4 / 1. En lo posible la altura debe ser mayor a 8 cm y no más de 10 cm.

2.5.2.3 Preparación del barro para la fabricación de adobe.

Se prepara el barro con suelo, libre de piedras mayores de 5 mm y elementos extraños, para lo cual se puede tamizar. Luego se procede a humedecerlo totalmente y se deja en reposo durante 24 o 48 horas antes de proceder al moldeado, a esta operación se denomina "podrir" o "dormir".

Una vez que el suelo se encuentra saturado, se realiza la fase de mezclado que puede ser manual o con animales y en muy raras ocasiones se los realiza mecánicamente, utilizando pequeñas máquinas de mezclado, dependiendo del volumen de obra y de la disponibilidad de la mano de obra. (Barrionuevo, 2011).

2.5.2.4 Moldes y moldeo.

Barrionuevo, (2011) indica que para la fabricación de adobes se usan moldes con o sin fondo, de éstos, el que posee la base permite una mejor compactación del barro y la labor se puede realizar a pie, con menor fatiga del trabajador; contrariamente, el que no dispone de fondo permite un mayor avance pero es menor la compactación que se aplica y obliga al trabajador a incrementar su esfuerzo.

La colocación en el molde se la debe realizar con fuerza, de una sola vez, para que el barro se distribuya en toda la superficie y en ambos casos se usa una reglilla para retirar los excesos. El molde después de cada uso se limpia y rocía con arena fina, para evitar que el barro se adhiera a las paredes.

2.5.2.5 Tendales y secado.

Los adobes se secan en un área o tendal limpio, nivelado y suficientemente extenso y para evitar la adherencia entre el adobe y el tendal, a fin de que no se produzcan grietas y rajaduras, se coloca una capa de arena fina. Si el tendal presenta una superficie con suelo salino, la capa debe ser aislante y cuidadosamente preparada.

El tiempo del secado varía de acuerdo al clima, puede tardar de 2 a 4 semanas, si el clima es muy caluroso es mejor secar los adobes a la sombra durante los primeros 2 días para evitar las grietas, por la pérdida brusca de humedad. Cuando la consistencia de los adobes lo permita (3 a 5 días) se les coloca “de canto” (o lado lateral) para asegurar un secado más rápido, completo y uniforme, transcurridos 15 a 20 días se puede apilar igualmente colocados por la cara lateral para que circule el aire entre los adobes, hasta que complete su secado, lo que sucede a los 28 o 30 días. (Barrionuevo, 2011).

2.5.3 Mampostería y revestimiento aplicados en el adobe.

El mortero para pegar adobes o “mortero de pega” se prepara con el suelo del terreno siempre y cuando proporcione una buena cohesión, si ésta no es suficiente se le agrega cal, en otros casos también se adiciona paja, estiércol de caballo e incluso sangre de ganado vacuno macho, para mejorar su resistencia a la tensión. Generalmente el espesor de las juntas de mortero es del orden de 20 mm.

Para la aplicación de los revoques o revestimientos se efectúan con cal o mortero de tierra y paja, el cual es aplicado en una o varias capas de aproximadamente de 10 a 15 mm, según sea su necesidad. (Carazas, 2001).

2.5.4 Resistencia admisible a la compresión del adobe.

Gonzáles, (2014) indica que los ensayos efectuados por Schwalen han demostrado que, a semejanza con lo que sucede con los especímenes de concreto, la relación existente entre la altura del espécimen y el ancho del mismo influyen en los resultados obtenidos, por efecto del zunchado, es decir la acción del rozamiento entre las caras de la muestra y de los platinos de la máquina que retardan la rotura.

En el caso de construcciones de adobe es conveniente efectuar las pruebas de rotura sobre las unidades mismas, sean completas o la mitad de ellas.

La determinación de las resistencias debe expresar como un promedio de los resultados obtenidos del ensayo de por lo menos cinco muestras, a fin de tener en cuenta la variabilidad propia del material.

La edad a la cual deben ensayarse los especímenes es variable según los requerimientos del proyecto, en todo caso estos ensayos, no debían realizarse antes de una semana de preparada la muestra.

En cuanto a los requisitos del adobe la norma peruana para el adobe E0.80 se establece:

El adobe terminado deberá tener una resistencia mínima de compresión de 22 Kg./cm^2 o 2,16 MPa.

2.6 La estabilización del suelo.

Generalmente el suelo presenta muchas limitaciones al utilizarlo como materia prima para la fabricación de otros elemento constructivo, por lo que se puede recurrir a la estabilización que consiste en un tratamiento que puede ser físico, químico o mecánico, que busca mejorar o estabilizar una masa de suelo, mediante la mejora de las propiedades mecánicas del mismo. Las principales características que se buscan mejorar en un suelo son: aumentar su resistencia a la deformación, disminuir su sensibilidad al agua, controlar la erosión, disminuir los cambios de volumen y mejorar su trabajabilidad (Solminihac et al, 1989).

Según los resultados de la investigación realizado por Calva (2015), sugiere que la estabilización física y mecánica no ofrecen los mejores resultados, por lo que recomienda “buscar

la estabilización de la arcilla por métodos químicos, que permitan superar las limitaciones encontradas”

2.6.1 Estabilización química del suelo.

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones de Perú (2004), afirma que la estabilización química de suelos es una tecnología que se basa en la aplicación de un producto químico, existiendo una amplia variedad de tipos, entre los cuales se encuentran: sales, productos enzimáticos, polímeros, subproductos del petróleo y los aglomerantes, de los cuales se puede seleccionar uno en concordancia con las características del suelo, mismo que deberá lograr una mezcla íntima y homogénea.

La aplicación de un estabilizador tiene como objetivo principal mejorar el comportamiento de ciertas propiedades ya sea en la etapa de construcción y/o de servicio.

2.6.1.1 Estabilización química del suelo con adición de cal.

La cal es utilizada para estabilizar suelos finos, ricos en sílice y alúmina la cual cuando se mezcla y se suministra agua, el medio acuoso permite su llegada a las partículas de arcilla, donde se produce un intercambio catiónico, que consiste en que iones de sílice y alúmina son reemplazados por iones de calcio. Esto produce una disminución de la doble capa de la partícula de arcilla, ocasionando la aglomeración de las partículas. Como resultado de esto, se modifica la textura del suelo, su plasticidad y produce partículas de mayor tamaño (Junta de Investigación en el Transporte, 1987).

Además, la cal se transforma en hidróxido de calcio y reacciona con el sílice y alúmina (reacción puzolánica) formando compuestos cementantes, tales como silicatos de calcio hidratados ($CaO \bullet SiO_2 \bullet H_2O$) y aluminatos de calcio hidratados ($CaO \bullet AlO_2 \bullet H_2O$). La reacción puzolánica se produce en el mediano y largo plazo, con lo cual la resistencia del suelo estabilizado aumenta a medida que pasa el tiempo (Junta de Investigación en el Transporte 1987).

Las reacciones químicas que se producen en un suelo al adicionar cal en presencia de agua son:

- Una reacción rápida de floculación (Aglomeración de partículas que las transforma en partículas más grandes), debido al intercambio iónico del calcio por parte de las partículas arcillosas del suelo, lo que provoca variaciones en su plasticidad (Bañon et al., 2000).

- Una reacción lenta del tipo puzolánico que propicia nuevos compuestos insolubles en agua, estos son los silicatos y aluminatos que se forman a partir de la sílice y la alúmina y que se encuentran en las partículas del suelo, al ser mezcladas con la cal en presencia de agua (Bañon et al., 2000).

2.6.1.1.1 Efectos en las propiedades del suelo con la incorporación de cal.

Según lo señalado por Jofre et al., (2008), Bañon et al., (2000), Quintana (2005), se pueden concluir los siguientes efectos:

- El índice de plasticidad (IP) disminuye, debido a que aumenta el limite plástico (LP)
- Aumento de las propiedades resistentes
- Reducción de la humedad natural del suelo
- Disminución de la densidad seca máxima
- Aumenta la humedad óptima de compactación
- Mayor trabajabilidad
- Mejora de la estabilidad volumétrica del suelo
- Aumenta la resistencia a la erosión

2.6.1.1.2 Suelos recomendados para ser estabilizados con cal.

La estabilización con cal es conveniente utilizarla en suelos arcillosos, con altos contenidos de finos de plasticidad media o alta, aunque también se utiliza en suelos de elevada humedad natural. (Bañon et al., 2000).

2.6.1.2 Estabilización química del suelo con adición cemento.

La estabilización de suelos con cemento o comúnmente llamado suelo - cemento, corresponde a la mezcla de un suelo previamente disgregado, cemento portland y agua, la cual es compactada bajo condiciones de humedad y densidad establecidas, para luego someterse a un tiempo de curado adecuado. Los principales factores que afectan a las propiedades de esta estabilización son: clasificación de suelo, proporción de cemento, capacidad de mezclado, tiempo de curado y densidad máxima seca compactada (Solminihac et al., 1989).

El cemento al ser hidratado desarrolla uniones muy fuertes entre los minerales del cemento y los del suelo, formando enlaces que unen a estos minerales de manera que no puedan deslizarse los unos sobre los otros (Jofre et al., 2008).

2.6.1.2.1 Efectos en las propiedades del suelo con la incorporación de cemento.

Según lo señalado por Bañon et al.,(2000) los efectos producidos en el suelo por la adición de cemento son:

- Mejora de la resistencia mecánica
- Insensibilidad al agua
- Mayor durabilidad
- Disminución de la plasticidad
- Problemas derivados del proceso de retracción

Al añadir cemento Portland y agua a un suelo, sus propiedades químicas, mecánicas y estructurales en general cambian en una forma positiva, se reduce la plasticidad, disminuye su condición de retener agua, aumenta su capacidad de soporte y resistencia al esfuerzo cortante. En esta composición el valor de la cohesión verdadera del material resultante es un factor importante pues de éste depende la mayor o menor estabilidad, para lo cual es importante que el fraguado del cemento se realice sin alteraciones. Los retrasos prolongados entre la mezcla mencionada y compactación del suelo tienen una influencia tanto en la densidad como en su resistencia (West, 1959).

2.6.1.2.2 Suelos recomendados para ser estabilizados con cemento.

Bañon et al., (2000) asegura que los mejores suelos para ser utilizados con cemento son los granulares con finos de baja plasticidad y agrega que según el sistema de clasificación AASHTO los suelos más adecuados para la estabilización con cemento corresponde a los siguientes grupos A-1, A-2 y A-3.

Mientras tanto Solminihac et al., (1989) señala que la gran mayoría de suelos puede ser estabilizado con cemento Portland, pero que la mejor eficiencia y economía se logra con arenas y arcillas de baja a media plasticidad.

2.7 Morteros

En el sentido general de la palabra, el mortero puede definirse como la mezcla de un material aglutinante (cemento portland y/u otros cementantes), un material de relleno (agregado fino o arena), agua y eventualmente aditivos, que al endurecerse presenta propiedades, físicas y mecánicas similares a las del concreto y es ampliamente utilizado para pegar piezas de

mampostería en la construcción de muros, o para recubrirlos, en cuyo caso se le conoce como pañete, repello o revoque (Sánchez de Guzmán, 2001).

2.7.1 Tipos de morteros.

2.7.1.1 Mortero de barro.

Según Castilla (2004), por morteros de barro son aquellos que están formados principalmente por tierra con contenido variable de arena y limo y una cierta cantidad de arcilla, generalmente entre el 5 y 12 %, necesaria para proporcionar adherencia al soporte y cohesión entre los granos de arena, de modo que al amasarla con agua no se produce ningún tipo de reacción conglomerante, sino aglomerante.

Es difícil establecer las proporciones ideales para un revestimiento de barro pues son muchos los factores adicionales que condicionan sus propiedades:

- La distribución granulométrica (para evitar el agrietamiento por retracción del mortero es necesario que tenga suficiente arena gruesa, que deberá ser añadida en caso de un exceso de arcilla).
- El contenido de agua (cantidad adecuada y buen amasado ya que para conseguir una buena cohesión es necesario humedecer completamente las partículas de arcilla y un exceso produciría fisuración en el secado), la cantidad suele depende del tipo de arcilla.
- Los aditivos empleados (casi siempre se debe añadir una cierta cantidad de fibras (animales o vegetales) aunque en revestimientos interiores, más finos, bastaría con añadir aserrín, celulosa o cortezas de cereales. Por otro lado se pueden adicionar estabilizantes de tipo químico o conglomerante hidráulicos, aunque en este caso el comportamiento difiere bastante, pasando a ser la tierra en la mayoría de los casos la parte inerte del conglomerado).

Por otra parte, la preparación del barro no difiere en gran medida del utilizado para la fabricación de morteros de albañilería, elementos de tierra moldeada como los adobes o rellenos de entramados, siendo su composición en muchos casos lo que los distingue. En general, los morteros de barro se adhieren bien sobre cualquier superficie, no sólo de tierra (ladrillo, hormigón, piedra), siempre que sea lo suficientemente rugosa, pues no se produce una reacciona químicamente con el soporte, por lo que debe tener la superficie de contacto áspera para proporcionar uniones de carácter “físico”. (Castilla, 2004).

2.7.1.2 Morteros calcáreos.

La cal es un plastificante y ligador conocido desde la antigüedad, estas características hacen del mortero de cal el más manejable de los conocidos. Sin embargo no pueden esperarse de él altas resistencias, debido a su baja velocidad de endurecimiento.

Las cal aérea más conocida son la cal blanca y la cal dolomita (cal gris). La arena en este caso en realidad constituye un material inerte cuyo objetivo principal es evitar el agrietamiento y contracción del mortero, para lo cual se recomienda que tenga partículas angulosas y esté libre de materia orgánica, piedras grandes, polvo y arcilla, las proporciones cal arena más usadas en morteros aéreos son 1:2 para pañetes (revoques) y 1:3 o 1:4 para mampostería simple. Si la proporción aumenta el mortero es más magro y pierde ductilidad y trabajabilidad y si el mortero es más graso pueden ocurrir contracciones y agrietamientos no deseables, especialmente en pañetes. (Sánchez de Guzmán, 2001).

2.7.1.3 Mortero de cemento.

Cuando se requieren altas resistencias iniciales o resistencias elevadas, una vez el mortero ha endurecido, se pueden usar como aglomerantes los cementos naturales o los cementos portland. Sus condiciones de trabajabilidad son variables de acuerdo con la proporción cemento: arena usada. La confección de este mortero, que es hidráulico, ha de efectuarse de un modo continuo, organizando un abastecimiento con arreglo al consumo de cada momento, de manera tal entre el amasado y la colocación en obra haya el menor tiempo posible debido a lo rápido del fraguado del cemento. Por ello se acostumbra a mezclar en obra, primero el cemento y la arena y luego se le añade agua. (Sánchez de Guzmán, 2001).

El mortero de cemento está constituido por un esqueleto de granos de arena, tangentes entre sí. Con el cemento se pretende darle una soldadura perfecta de manera tal, que cada grano quede cubierto por una fina película de cemento. Como además el mortero deberá formar una masa homogénea y compacta, las características de la arena, tales como: la granulometría, módulo de finura, forma y textura de las partículas deben ser las adecuadas para lograr un acomodamiento de partículas que permiten la mayor compacidad y menor consumo de cemento. (Sánchez de Guzmán, 2001).

La cantidad de cemento no puede disminuir mucho, ya que si la mezcla es muy pobre en aglomerante, esta se hace áspera e intrabajable porque las partículas de arena rozan entre sí, al no existir la pasta lubricante de cemento. Si se desea aumentar la trabajabilidad, pueden usarse arenas

con ligeras proporciones de limo e incluso arcilla (arenas grasas, ya que su contenido de finos brinda rellenos lubricantes a los granos de arena).

Tampoco deben preparase morteros muy ricos para usos normales, ya que pueden ser demasiado resistentes y con alta retracción al secado, y por ello susceptibles al agrietamiento. (Sánchez de Guzmán, 2001).

Tabla 5. *Uso de los morteros de cemento*

Mortero	Usos
1:1	Mortero muy rico para impermeabilizaciones. Rellenos
1:2	Para impermeabilizaciones y pañetes de tanques subterráneos. Rellenos
1:3	Impermeabilizaciones menores. Pisos
1:4	Pega para ladrillos en muros y baldosines. Pañetes finos
1:5	Pañetes exteriores: pega para ladrillos y baldosines, pañetes y mampostería en general. Pañetes no muy finos.
1:6 y 1:7	Pañetes interiores: pega para ladrillos y baldosines, pañetes y mampostería en general. Pañetes no muy finos.
1:8 y 1:9	Pegas para construcciones que se van a demoler pronto. Estabilización de taludes en cimentaciones.

2.7.1.4 Morteros de cal y cemento.

"Los morteros hechos de cemento portland y cal debe combinarse de tal manera que se aprovechen las propiedades adhesivas de la cal y las propiedades cohesivas del cemento portland, siendo importante tener en cuenta que cada adición de cal incrementa la cantidad de agua de mezclado necesaria" (Sánchez de Guzmán, 2001).

Los morteros de cal y cemento portland tienen una buena retención de agua y pueden lograr altas resistencias iniciales; también se los conoce como morteros rebajados cuando el contenido de cemento es escaso.

En cuanto a la dosificación de agua, se tiene un abanico grande ya que dependerá del mortero y la trabajabilidad deseada, si el contenido de cemento es alto la resistencia será alta y se acortara el tiempo entre el amasado y la colocación, contrariamente si el contenido de cal es elevado se tendrá menos resistencia, pero será mayor el tiempo entre el amasado y la colocación. Si la cantidad de áridos es muy alta se obtendrán resistencias bajas y poca trabajabilidad teniendo como ventaja que el mortero tendrá poca retracción. (Sánchez de Guzmán, 2001).

2.7.1.5 Mortero de suelo estabilizado con cal y cemento.

En la investigación realizada por: Cabrera, Fernández, González y Bermúdez (2000), destinada para realizar morteros a base de suelo, primeramente se realizó una clasificación del suelo que se muestra en la tabla 6:

Tabla 6. *Características de los suelos.*

TIPO DE SUELO	CLASIFICACIÓN	OBSERVACIONES
A	A-1-a	Suelo gravoso-arenoso con pequeñas cantidades de limo
B	A-1-b	Suelo gravoso-arenoso con pequeñas cantidades de limo
C	A-4	Suelo que presenta gravas y arena, pero con alto contenido en limo (18%)
D	A-7-5	Suelo muy fino donde predominan los materiales arcillosos

Una vez obtenida la clasificación se realizan diferentes dosificaciones volumétricas del mortero compuesto por suelo, cemento y cal (mortero bastardo) que consta en la Tabla 7.

Tabla 7. *Dosificaciones volumétricas para el mortero de suelo estabilizado*

Cemento	Suelo	Cal
1	4	1
1	5	1
1	6	1
1	7	1
1	4	2
1	5	2
1	6	2
1	7	2

El estudio de Cabrera et al., (2000) resumido en la Tabla 8 presenta los resultados obtenidos en los morteros bastardos, donde la mejor resistencia a la compresión se alcanza a los 28 días, y se observa que disminuye a medida que se aumenta la cantidad de cal, pero mejora la trabajabilidad y retención de agua, parámetros que son positivos por lo que respecta a los morteros de albañilería.

Por otra parte, la resistencia a la adherencia incrementa cunado existe mayor presencia de cal en la mezcla.

Tabla 8. *Resistencia a la compresión y adherencia de los morteros bastardos*

Dosificaciones			Rc_{28d} (MPa)	Rahd $_{28d}$ (MPa)
Cemento	**Suelo**	**Cal**		
1	4	1	8,57	0,31
1	5	1	8,35	0,22
1	6	1	6,66	0,14
1	7	1	6,47	0,14
1	4	2	7,60	0,29
1	5	2	7,07	0,27
1	6	2	6,25	0,25
1	7	2	5,56	0,16

Es importante que los revoques de los muros de fachada tengan un óptimo contenido de cal, pues esto evita que se desmoronen y vuelvan a la estructura susceptible a los factores climáticos.

El uso de revoques de cemento o materiales no tradicionales, genera un bloqueo del frente de evaporación del muro, lo cual disminuye la cohesión entre las partículas de adobe; esto produce pérdida en la capacidad portante y disminución de la vida útil de las construcciones tradicionales. (Cabrera y Plaza, 2014)

2.8 Revestimientos o enlucidos de mamposterías o paramentos

Los revestimientos son la protección externa e interna casi indispensables para las paredes a base de tierra, como es el caso de las mamposterías de adobe, pues la alta proporción de fibras de la mezcla y su densidad relativamente baja, así como el tipo de tierra que lo componen, lo convierten en un material poroso y particularmente sensible a la erosión de las lluvias y las heladas, por lo que el enlucido de los paramentos reducen los efectos de la intemperie y evita que la humedad afecte la resistencia de éstas construcciones

Los enlucidos pueden ser también de suelo estabilizado con la aplicación de aglomerantes como el cemento y la cal que comúnmente son los aglomerantes más usados. (Construmática., 2016).

2.9 Patología en la construcción

Broto y Mostaedi, (2005) conceptualizan la patología en los siguientes términos:

> "La palabra patología, etimológicamente hablando, procede de las raíces griegas pathos y logos, y se podría definir, en términos generales, como el estudio de las enfermedades. Por extensión la patología constructiva es la ciencia que estudia los problemas constructivos que aparecen en la edificación o en alguna de sus unidades con posterioridad a su ejecución."

Para afrontar un problema constructivo se debe ante todo conocer su proceso, su origen, sus causas, su evolución, sus síntomas y su estado, este conjunto de aspectos es el que conforma el proceso patológico y se agrupa de un modo secuencial.

En esta secuencia temporal del proceso patológico se puede distinguir tres partes diferenciadas: el origen, la evolución y el resultado final; y, para el estudio conviene recorrer esta secuencia de modo inverso, es decir se debe observar el resultado de la lesión, luego el síntoma para seguir con la evolución de la misma y llegar a su origen: la causa. Este proceso permitirá establecer tanto la estrategia de reparación como la hipótesis de la prevención.

2.9.1 Estudio patológico.

El estudio debe ser metódico y exhaustivo, para ello debe ser preciso adoptar un método sistemático de observación y toma de datos.

2.9.1.1 Observación.

Se trata de la primera fase del proceso de estudio patológico, mediante una simple observación visual in situ, se puede obtener datos, los cuales se complementarán y ampliarán con posteriores análisis. Mediante la observación se detecta el efecto o daño producido en la construcción. (Broto y Mostaedi, 2005). De la lesión o lesiones, que se manifiestan como síntoma de un proceso patológico y a partir de las cuales se puede conocerlo:

- ✓ **Detectar la lesión.-** en realidad se suele iniciar el estudio justamente porque se ha detectado alguna lesión.
- ✓ **Identificar la lesión.-** de que se trate, para poder dar los pasos adecuados.
- ✓ **Aislar lesiones.-** y procesos patológicos distintos, con objeto de hacer el seguimiento adecuado para cada caso, sobre todo teniendo en cuenta su posible imbricación.

Broto y Mostaedi, (2005) indican que el primer trabajo fundamental para enfrentarse a una edificación que es necesario restaurar, es la ejecución de un estudio histórico del mismo para determinar la época de construcción, estilo y tipología utilizada, fases en que se ha realizado, sistemas de fabricación y de cimentación empleados, posibles restauraciones y modificaciones, materiales y dosificaciones usadas, origen y fuentes de dichos materiales.

2.9.1.1.1 Toma de datos.

Una vez identificada y aislada la lesión, se inicia el proceso de la toma de datos, en el que se aplica al máximo la metodología. Ello implicará en ocasiones, un mínimo repetido de visitas; en otros casos la aplicación y seguimiento de una serie de instrumentos de análisis y evolución de la lesión; a veces el uso de aparatos diversos de medidas y siempre la utilización de fotografías que permitan plasmar gráficamente la lesión (el síntoma) en un momento determinado, tanto para poder seguir su evolución, como para continuar el análisis (Broto y Mostaedi, 2005).

De este modo se puede obtener una serie de datos físicos, e incluso muestras de materiales que serán elementales para proceder al análisis posterior.

También se trata de deducir su estado actual de conservación y mantenimiento, con especial atención a los daños existentes y a los posibles procesos patológicos por él sufridos, conviene realizar reportajes fotográficos.

2.9.1.1.2 Identificación de la lesión.

Broto y Mostaedi, (2005) afirma que dentro de la fase de observación se encuentra el momento de diagnóstico o identificación de la lesión, en el que el fin fundamental es la recolección de datos sobre las lesiones producidas.

En un primer momento, es preciso obtener el máximo posible de datos estadísticos, una vez terminada la toma de datos directa se puede iniciar la reconstrucción de los hechos es decir, tratar de conocer cómo se ha desarrollado el proceso patológico, cuál ha sido su origen y sus causas, su evolución y es su estado actual.

- **Toma de datos sobre los elementos constructivos**

Broto y Mostaedi, (2005), recomiendan que la lesión aislada debe contar con la existencia de documentos gráficos o escritos fiables sobre la construcción dañada y deben contener:

- Localización de la lesión en la edificación.
- Material o materiales afectados.

- Elemento constructivo dañado.
- Sistema y detalles constructivos.
- Toma de muestras para ensayo.
- **Fisuras y grietas.-** En ambos casos se trata de grietas, las primeras de menos de 1 mm de anchura y las segundas, de más de 1 mm de anchura.
- **Distorsión e inclinación.-** Es falta de verticalidad en los elementos, bien de origen o por un problema de movilidad posterior.
- **Pérdida de materiales.-** Mediante la observación se puede determinar los puntos en los que consta falta de material, anotando su localización, profundidad de la pérdida y área afectada.
- **Deterioro diferencial.-** Es aquel que provoca distintos niveles de degradación dentro de un mismo material.
- **Expoliación y descamación.-** Se trata de la separación superficial de láminas paralelas o escamas entre sí, esta forma de alteración se observa con frecuencia en las paredes situados en las zonas más bajas de las construcciones debido a la presencia de agua.
- **Alteración cromática**.- Son las manchas que aparecen sobre la superficie de los materiales.
- **Pátinas de suciedad.-** Los materiales de construcción antiguos están afectados por una pátina natural de envejecimiento, observable en cualquier corte fresco que deje ver en profundidad el color primitivo.
- **Película y moteado.-** Capa de espesor muy reducido de menos de 1 mm, cuyo origen suele ser biológico.
- **Arenización y disgregación granular.-** Pérdida de cohesión entre los granos de un material, generalmente debida a la desaparición del aglomerante que provoca que los granos queden sueltos.
- **Pulverización.-** Forma de alteración semejante a la anterior, en la que la disgregación reduce el material al tamaño del polvo.
- **Depósito superficial.-** Los depósitos superficiales se suelen acumular en las zonas que no están sometidas a lavado, y en las partes bajas de las edificaciones.
- **Eflorescencias.-** Esta forma de alteración indica la presencia de sales solubles en el material son de color claro, suelen manifestarse con más nitidez en primavera.

- **Alveolización.-** Los alvéolos se originan por disgregación y posterior separación de los granos de arena de la matriz de los materiales porosos, produciendo unos surcos que van progresando en extensión y profundidad.

2.9.1.2 Análisis del proceso.

Una vez finalizada la toma de datos directa y contando ya con los resultados de los eventuales ensayos in situ y de laboratorio, se puede iniciar la "reconstrucción de los hechos", es decir, tratar de determinar cómo se ha desarrollado el proceso patológico, cuál ha sido su origen, sus causas y su estado actual y cómo será su evolución. (Broto y Mostaedi, 2005).

2.9.1.2.1 Causas.

Broto y Mostaedi, (2005) afirman que hay que tener en cuenta que las causas posibles son muy variadas dentro de cada proceso patológico y que por lo tanto, será una clasificación tipológica general para comprender las características distintivas de cada una de ellas.

Es importante recordar también, que las causas no son únicas en cada proceso patológico y que siempre están actuando conjuntamente unas directas y otras indirectas.

✓ **Causas directas de las lesiones**

Broto y Mostaedi, (2005). Afirman que las causas directas son las acciones que ponen en marcha los procesos patológicos iniciando la degradación de los materiales, estas se dividen en cuatro grupos:

- **Mecánicas.-** Son las acciones no previstas que aplican sobre una unidad un esfuerzo mecánico superior al que es capaz de soportar, este tipo de causas son debidas a errores en los cálculos (sobrecargas), defectos en la ejecución, en el diseño o a un mal uso.

  Afectan sobre todo a los elementos estructurales, pero también pueden aparecer en cerramientos, tabiques o acabados, en cualquier caso las lesiones más comunes producidas por este tipo de causa son las deformaciones, grietas y fisuras.

  También se incluyen entre las causas directas de origen mecánico los impactos y rozamientos que se generan en los acabados, incluso el producido por el viento.

- **Físicas.-** Las causas físicas son los agentes atmosféricos que inciden sobre las edificaciones, la lluvia provoca humedades, ensuciamientos por lavado diferencial y el cambio de temperatura induce dilataciones y contracciones que suelen convertirse en

fisuras y grietas; las heladas generan desprendimientos y erosiones; el viento influye en la acción de la lluvia, y la contaminación atmosférica produce el ensuciamiento de las fachadas por lavado diferencial y por depósito.

- **Químicas.-** Las causas químicas se producen a partir de todo tipo de productos, tanto procedentes de organismo vivos como del uso de químicos, que provocan reacciones en el elemento constructivo, las sales solubles que se encuentran en los ladrillos, piedras y morteros reaccionan junto con la humedad produciendo eflorescencias. Los contaminantes ambientales reaccionan con componentes mineralógicos de las fachadas y provocan erosiones químicas muy variadas. Los organismos, tanto animales como vegetales, segregan ácidos que atacan los materiales.

- **Lesiones previas.-** En ocasiones, la causa directa de una lesión es otra anterior, como ejemplo las deformaciones suelen ser la causa inmediata de: desprendimientos, fisuras y grietas; y, éstas a su vez son la causa de erosiones físicas, desprendimientos y humedades que a su vez provocan: eflorescencias, corrosiones y desprendimientos.

✓ **Causas indirectas de las lesiones**

Las causas indirectas son todos los factores inherentes a las unidades constructivas, como la composición química, la forma o la disposición y que se deben casi siempre a un diseño defectuoso o a una mala selección. (Broto y Mostaedi, 2005).

Una causa indirecta no es suficiente para que se produzca un proceso patológico, en general se necesita la combinación de varias causas indirectas y de diferentes tipos. Estos podrían clasificarse de la siguiente manera:

- **De proyecto.-** Se deben a errores en la: Elección del material, la técnica utilizada y el diseño inadecuado, la mala disposición de los distintos elementos y unidades constructivas, que producirá a la larga, filtraciones, desplazamientos y grietas.

- **De ejecución.-** Son aquellos factores que proceden errores en la ejecución de una unidad constructiva y que no tienen relación con los errores de proyecto suelen ser, en líneas generales, debidos al incumplimiento de las condiciones técnicas (pliegos, especificaciones, normativas).

- **De material.-** Son los factores que proceden errores durante la fabricación de un material determinado y que producen la pérdida de las características correctas de dicho material, si un material específico no cumple las características físicas, mecánicas y químicas necesarias para la misión constructiva que le corresponde, el proceso patológico surgirá más pronto o más tarde.

- **De mantenimiento.-** Son factores inherentes al mal uso de una construcción, por falta de un mantenimiento periódico apropiado o porque la edificación realiza funciones para las que no ha sido diseñado, en este tipo de causas en muy importante que el usuario tenga conciencia de que un correcto uso del edificio alargará su vida útil.

En definitiva, las causas indirectas son casi siempre susceptibles de corrección, bien por sustitución o por nueva disposición y por la aplicación de nuevos materiales o nuevos elementos constructivos.

2.10 Clasificación de las patologías

Según Astorga y Rivero, (2009) una manera sencilla de clasificar las patologías que se presentan en las edificaciones, es subdividiéndolas según su causa de origen. De acuerdo a esto, las patologías pueden aparecer por tres motivos: Defectos, Daños o Deterioro.

2.10.1 Patologías por defectos.

Son aquellas relacionadas con las características intrínsecas de la estructura, son los efectos que surgen en la edificación producto de un mal diseño, una errada configuración estructural, una construcción mal elaborada, o un empleo de materiales deficientes o inapropiados para la obra. (Astorga y Rivero, 2009).

2.10.2 Patologías por deterioro.

Astorga y Rivero, (2009) indican que las obras generalmente se diseñan para que funcionen durante una vida útil, pero con el transcurrir del tiempo, la estructura va presentando manifestaciones que deben ser atendidas con prontitud. La exposición al medio ambiente, los ciclos continuos de lluvia y sol, el contacto con sustancias químicas presentes en el agua, en el aire y en el entorno hacen que la estructura se debilite continuamente. Por esta razón, es de vital

importancia para las edificaciones un adecuado y permanente mantenimiento que ayuda a prevenir el deterioro normal e inevitable causado por el tiempo.

2.10.2.1 Daños por humedad.

Según Cabrera y Plaza (2014), la humedad es la aparición de un porcentaje de agua superior al deseado en un elemento constructivo, se puede manifestar por simples manchas o por goteos, que alteran las características físicas del material. Se pueden distinguir 5 tipos de humedad en función de su causa.

1. Humedad en Obra.- Originada por la humedad aportada durante la ejecución de la obra, la cual no se seca de manera correcta, ya que en muchas ocasiones se aplica acabados superficiales que dificultan la evaporación. En el momento de construir se deben seleccionar los materiales menos higroscópicos y que eviten el paso de humedades y la formación de eflorescencias.

2. Humedad Capilar.- Es la humedad que proviene del suelo o una plataforma cualquiera, ascendiendo por elementos verticales hasta alturas no determinadas, dependiendo de la consistencia del material de la estructura. La falta de sobrecimientos en los muros de adobe favorece la presencia de humedades en la zona inferior de los elementos, la cual se produce por capilaridad.

3. Humedad de Filtración.- Aquella que proviene desde el exterior e ingresa mediante los poros de los materiales, aberturas, grietas y fisuras constructivas o de dilatación. La humedad infiltrada aumenta con las precipitaciones y sus efectos perniciosos son la formación de goteras, manchas, eflorescencias, desprendimientos en ladrillos y morteros.

4. Humedad de Condensación.- Se presenta debido a la condensación del vapor de agua (luego de un evento de lluvia) en su recorrido de ambientes con mayor presión (interiores) a menor presión (exteriores).

5. Humedad accidental.- Debido a roturas de instalaciones hidrosanitarias que provocan focos puntuales cercanos a su origen. Dentro de este grupo, se puede incluir a la humedad que se produce cuando la cubierta de una estructura se encuentra deteriorada, pues permite el paso de la lluvia hacia el interior, lo que produce daños en los elementos que la conforman.

El agua y la humedad son factores que afectan a las construcciones con tierra, pues la resistencia a la compresión y al corte de la mampostería de adobe disminuye drásticamente con el contenido de agua. (Cabrera y Plaza, 2014).

La humedad en las paredes tiene las siguientes causas:

a. Protección inadecuada de los muros contra las lluvias.
b. Presencia de humedad en el suelo y una inadecuada cimentación o ausencia total de ella.
c. Instalaciones de agua defectuosas en los muros de adobe.

La presencia de humedad es particularmente peligrosa cuando ocurre en la base de los muros de adobe; puesto que éstos comienzan a hincharse transversalmente llegando a producir colapso por el peso propio. (Cabrera y Plaza, 2014).

2.10.2.2 Daños por Erosión.

Según Cabrera y Plaza, (2014) usualmente las casas de tierra poseen un enlucido cuya finalidad es proteger los muros de acciones erosivas externas tales como el viento, la acción del hombre o animales. Cuando no existe este enlucido o se pierde por falta de mantenimiento, el efecto de la erosión disminuye la sección neta del muro reduciendo su resistencia al corte ya cargas verticales con los consiguientes efectos adversos.

2.10.2.3 Daños por agentes orgánicos.

Aroca (2008) afirma que los mohos y fungosidades son organismos vivos microscópicos vegetales de la familia de las criptógamas agrupadas en:

- Fucus o líquenes.
- Hongos tubulares y pectinifórmeos (penicilinas y aspergillus)

Se adhieren a las superficies húmedas y porosas que les ofrecen una rugosidad y un grado de humedad apto para su crecimiento, como son las cubiertas, partes de fachada que por su orientación y situación relativa con respecto a otros edificios o a otros cuerpos salientes, no disfrutan apenas de soleamiento, incluso durante el verano.

La humedad puede llegar desde el exterior (humedad relativa del aire, lluvias) o desde el interior, gracias a la condensación superficial del vapor de agua que proviene de los espacios habitados. También la humedad de la obra si no consigue a secarse lo suficiente produce hongos. (Aroca, 2008).

2.10.3 Patologías por daños.

Son las que se manifiestan durante y/o luego de la incidencia de una fuerza o agente externo a la edificación. Los daños pueden ser producto de la ocurrencia de un evento natural, como por: sismo, inundación o derrumbe, entre otros, pero también pueden aparecer averías en las estructuras causados por el uso inadecuado de las mismas, por ejemplo el caso en el que la edificación es obligada a soportar un peso superior al que fue concebido inicialmente (sobrecarga). (Astorga y Rivero, 2009)

2.10.3.1 Daños en cubiertas.

La utilización de vigas de madera en cubiertas que no han sido apropiadamente inmunizadas y protegidas de la humedad es muy frecuente su pudrición o deterioro. El uso de material de cubierta demasiado pesado, normalmente constituido por tejas de barro, las cuales no pueden ser toleradas adecuadamente por las deficiencias en las conexiones de los elementos de soporte o por el deterioro de los mismos. (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2011).

2.10.3.2 Daños por mala cimentación.

Un gran número de edificaciones de adobe se construyen sin un adecuado sistema de cimentación, lo que facilita que se presenten asentamientos que debilitan los muros principales y reducen la capacidad de la estructura ante las diferentes fuerzas que debe soportar. Adicionalmente, la ausencia de cimentación contribuye a la acumulación de humedad en los muros de tierra que disminuye su capacidad portante de manera significativa y aumentando su nivel de deterioro con el tiempo (Cabrera y Plaza, 2014).

2.10.3.3 Presencia de Fisuras y grietas

Las fisuras se atribuyen a múltiples causas y logran sólo afectar la apariencia de una edificación, pero también pueden ser indicadoras de fallas estructurales significativas y representar la totalidad del daño, así como señalar problemas de mayor magnitud. Su importancia depende del tipo de estructura, asimismo de la naturaleza de la fisuración. (Astorga y Rivero, 2009)

Las fisuras son roturas de distintas longitudes, espesores y profundidades, que aparecen en la construcción, y se manifiestan externamente con un desarrollo lineal.

En cuanto a su comportamiento pueden ser:

- **Vivas:** cuando continúan en movimiento, expandiéndose, abriéndose o cerrándose.

- **Muertas:** Cuando ya han dejado de crecer, no se mueven. También se les llaman "estabilizadas".

En cuanto a su espesor o tamaño de abertura pueden ser:

- **Microfisuras:** Tienen espesores menores a 2 mm, en general carecen de importancia estructural.
- **Fisuras:** Tienen espesores entre 2 y 10 mm, pueden llegar a ser muy perjudiciales para la edificación.
- **Macrofisuras:** tienen espesores mayores 10 mm, Pueden ser muy peligrosas para la integridad de la estructura. (Astorga y Rivero, 2009)

2.10.3.4 Presencia de deslizamientos

Cuando un edificio está situado en una ladera inestable lo más probable es que aparezcan lesiones causadas por los propios movimientos de ésta. (Basset Salom, 2015).

✓ **Defectos producidos por el agua**

a. **Socavaciones y arrastres .-** La acción de corrientes subterráneas naturales o la rotura de conducciones de agua o saneamiento arrastra las partículas del suelo y lo erosiona provocando la formación de cavidades que van descalzando los cimientos.
b. **Arcillas expansivas.-** Las arcillas expansivas son sensibles a los cambios de humedad del suelo, traduciéndose en cambios de volumen que pueden provocar daños.

Las patologías por cimentación en arcillas expansivas, dependen de:

- La naturaleza geológica y geotécnica del suelo (porcentaje de finos).
- El grado de expansividad.
- Cambios de humedad del terreno.
- Tipo de cimentación, profundidad y presión transmitida al terreno.
- Peso de la estructura y superficie expuesta

c. **Suelos colapsables.-** Los suelos colapsables son suelos de naturaleza inestable (suelos limo-yesíferos o limo-arenosos), que en determinadas circunstancias, provocan asientos bruscos de centímetros o decímetros.

En ausencia de agua, estos suelos cementados se mantienen estables, pero con la presencia del mismo las partículas más finas y los cementos yesíferos que ocupan sus huecos se disuelven, perdiéndose su escasa capacidad portante y produciéndose el colapso.

Este riesgo depende de la colapsabilidad potencial del suelo (determinada mediante los ensayos y el reconocimiento geotécnico) y de las condiciones de contorno como cambios de humedad, inundación o concentración de tensiones. (Basset Salom, 2015).

Según Uriel, (1983) en ciertas regiones y localidades que se asientan sobre terrenos inestables o con precaria estabilidad se dan muchos fallos en estructuras cimentadas en laderas asociados con movimientos lentos de reptación o con deslizamientos habitualmente producidos por obras de excavación (casos frecuentes en los valles de elevadas pendientes naturales) o al borde de barrancos que van siendo profundizados y ensanchados por los ríos.

2.11 Técnicas de diagnóstico.

Los métodos de diagnóstico pueden ser concretados en dos grandes grupos: Pasivos, cuando los métodos empleados revelan fenómenos físicos en el interior del material estudiado y activos, en los que el método pone de manifiesto una respuesta a un estímulo físico realizado desde el exterior.

En un primer momento, las observaciones y medidas pueden ser convencionales, se pueden emplear elementos como cinta métrica, martillo, sondas y aparatos topográficos convencionales. Sin embargo, estos procedimientos no son suficientes en muchos casos y se precisa recurrir a métodos más sofisticados para obtener más información. (Broto y Mostaedi, 2005).

2.12 Evolución y seguimiento.

Broto y Mostaedi, (2005) afirma que una vez que se cuenta con los datos para concluir con un diagnóstico definitivo se puede reconstruir el desarrollo del proceso patológico definiendo su origen y causas, su evolución y estado actual, se atenderá a la evolución de dichos trastornos mediante un seguimiento adecuado.

Sobre todo habrá que atender a los tiempos su posible periodicidad, la transformación o ramificación en nuevos procesos patológicos, para ello serán de gran utilidad las fichas de registro realizadas después de cada toma de material, en ellas se hará constar el tipo y cantidad de muestra analizada, su localización exacta en la construcción, fecha de análisis, así como el propósito del mismo.

2.13 Actuación.

Una vez que se realiza todas las fases del proceso patológico, mediante la observación, toma de datos necesarios, analizados y estudiada su evolución, se llega al punto de actuar, puesto

que se conoce el diagnóstico de comenzar un tratamiento de recuperación de esos materiales que sufren el deterioro, para ello existen una serie de propuestas de saneamiento en el caso de que el objetivo sea reparar la edificación de algún daño causado o propuestas de mantenimiento o que el objetivo sea prevenir exactamente que se produzca el daño por estudios previos que se haya realizado. (Broto y Mostaedi, 2005).

Así, como objetivo final el diagnóstico permite llegar a propuestas de actuación que tendrán como misión devolver a la unidad su función constructiva, dichas propuestas habrá que contemplarlas en dos frentes: reparación y mantenimiento.

2.13.1 Reparación.

Rojas, (2005) afirma que finalizando el diagnóstico (descripción del proceso patológico con su origen o causa), se puede aplicar "el remedio", el cual busca devolver a la unidad constructiva lesionada su funcionalidad original. Al conjunto de actuaciones (demoliciones, saneamientos, reposición o sustitución de nuevos materiales, etc.), destinados a recuperar el estado constructivo original de dicha unidad, se llama reparación.

La reparación contempla dos fases:

- ✓ En la primera, se actúa sobre la causa o causas que dieron origen al proceso, hasta su total anulación.
- ✓ En la segunda, se actúa sobre la lesión o lesiones que constituyen el síntoma del proceso.

Nunca se debe actuar sólo sobre la lesión, ya que la causa seguirá actuando y la lesión volverá a aparecer, tampoco se debe invertir el orden de actuación, ya que puede aparecer de nuevo el proceso patológico.

2.13.2 Mantenimiento.

Toda idea de reparación de un proceso patológico debe ir acompañada por una oferta de mantenimiento, que estará en función del diagnóstico alcanzado es decir, de sus causas, su evolución y de la propuesta de reparación de causa y efecto. (Broto y Mostaedi, 2005).

3. MATERIALES Y METODOLOGÍA

3.1 Área de estudio

Localización.- La investigación se llevó a cabo en los Barrios Florencia y San Juan pertenecientes a la parroquia el Valle del cantón y provincia de Loja, situados aproximadamente a 6 Km al norte del centro de la ciudad, ubicado en las siguientes coordenadas planas, Latitud: 9567100 N y Longitud: 698200 E.

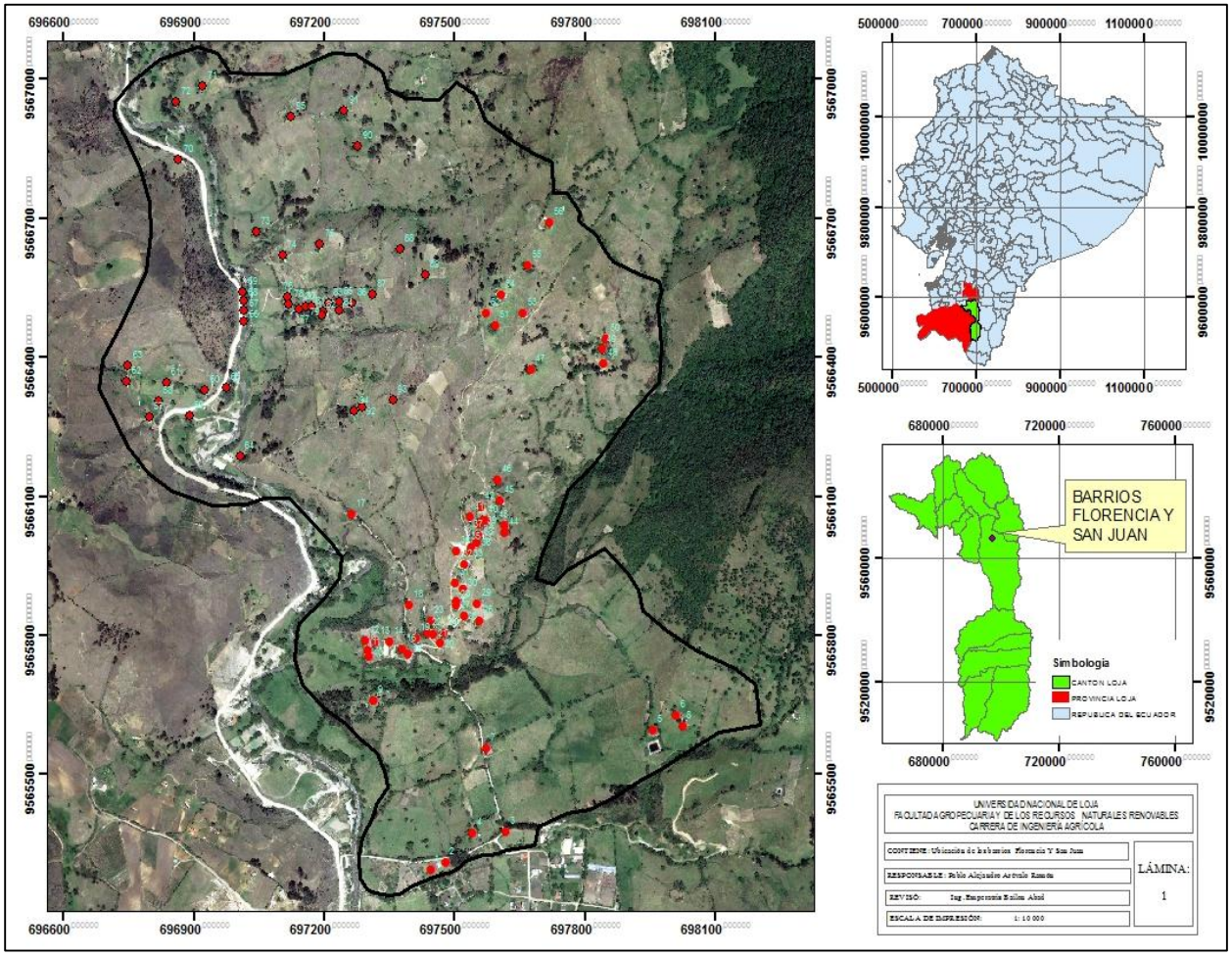


Figura 11. Ubicación de los barrios Florencia y San Juan

Características Climáticas.- Los barrios Florencia y San Juan al encontrase dentro del cantón Loja los datos disponibles del INAMHI de la estación meteorológica la Argelia, localizada a una altitud de 2100 m.s.n.m, poseen un clima templado andino a excepción de los meses de junio y

julio, en los que se presenta una llovizna tipo oriental con vientos alisios con un registro de lluvia anual es de 900 mm. Las temperaturas fluctúan entre los 12 y 21° C, con promedio de 16°C.

Los barrios tienen un declive muy pronunciado, se encuentran ubicados en la parte baja del cerro Zañe y la topografía más o menos plana se sitúa en las conocidas playas situadas cerca del río Zamora.

3.2 Materiales y equipos

Los materiales empleados en el presente trabajo investigativo se dividen en tres categorías:

- **Materiales de campo:** Necesarios para recopilar la información en el lugar de estudio.
- **Materiales de laboratorio:** Utilizados al realizar los diferentes ensayos y pruebas físicas y mecánicas.
- **Materiales de oficina:** Empleados en el análisis y generación de datos e información.

Tabla 9. *Principales materiales empleados en el desarrollo de la investigación*

Materiales de campo	Materiales de laboratorio	Materiales de oficina
Entrevista	Herramientas manuales	Laptop
Libreta de campo	Cápsulas metálicas	Software: ArcGIS 10.1
GPS	Bandejas	Software: Excel 2013
	Probetas	Impresora
	Mortero de porcelana	Documentos
	Balanza de precisión	Bolígrafos
	Juego de tamices	
	Estufa para secado	
	Cuchara de Casagrande, espátula de acero, acanalador.	
	Conjunto de equipo para pruebas Proctor estándar	
	Prensa hidráulica para ensayos de compresión	
	Equipo para ensayo de resistencia a la erosión	
	Equipo para ensayo de adherencia	

3.3 Métodos de investigación

3.3.1 Investigación no experimental cuantitativa.

En el marco del diseño no experimental cuantitativo, la investigación sobre las patologías de las construcciones se trabajó con la investigación de tipo transeccional correlacional-causal pues se recolectó datos en un solo momento, en un tiempo único, con el propósito de describir variables y analizar su incidencia e interrelación en un momento dado y luego establecer relaciones entre dos o más categorías o variables, ya sea en término correlacionales o en función de la relación causa-efecto, este método se lo utilizo para el primer objetivo de la investigación.

3.3.1.1 Metodología para el primer objetivo.

Caracterizar la infraestructura agropecuaria disponible, e identificar los materiales de construcción utilizados así como su distribución espacial para sobre esta base determinar las patologías presentes en las construcciones realizadas con adobe.

La investigación se orientó en la identificación de los materiales utilizados en la zona y la evaluación de los daños evidentes en las construcciones y la causa que los originó.

En el área de estudio se realizó un reconocimiento espacial mediante el software libre ArcGis 10.1, para obtener la distribución de las construcciones existentes.

Definido el universo de estudio, se seleccionó una muestra y en concordancia con el método de investigación se realizó la visita para evaluar el estado de las viviendas y se recabo la información correspondiente. (Apéndice A).

3.3.1.1.1 Conjunto universo de estudio.

El estudio se centralizó en el análisis de la vivienda y la infraestructura agropecuaria disponible en los barrios Florencia y San Juan, corresponde a 95 viviendas en los cuales se incluye casas habitadas o no habitadas, cuya base de datos se presenta en el Anexo C.

El tamaño de la muestra se determinó en la siguiente formula:

$$n = \frac{N\, Z_{1-\alpha/2}^{2}\, pq}{(N-1)\varepsilon^{2} + Z_{1-\alpha/2}^{2}\, pq} \qquad [11]$$

Donde:

N = Tamaño de la población o universo
$\boldsymbol{Z_{1-\alpha/2}}$ **=** Percentil de la distribución normal (Tabla 10).
α= Nivel de significación
p= Proporcion de las respuestas favorables
q= Proporción de las respuestas desfavorables
ε = Error máximo admisible

Por cuanto: $p.q = 0{,}25$

Tabla 10. *Valores del Coeficiente Z en función al nivel de confianza del muestreo*

Confianza o Seguridad del Muestreo	Coeficiente $Z_{1-\alpha/2}$
85 %	1,440
90 %	1,645
95 %	1,96
97,5%	2,24
99 %	2,576

Fuente: Castellanos, M. (s.a.)

Para el caso de la presente investigación el universo o población (N) corresponde a 95 viviendas, se ha fijado un nivel de confianza del 85% y un porcentaje de error del 15%. Empleando la formula [11], el tamaño de la muestra corresponde a:

$$n = \frac{(95)\ (1.440^2)\ (0.25)}{(95-1)\ (0.15)^2 + (1.440^2)\ (0.25)} = 18.7\ \approx 19$$

El tamaño de la muestra de la población a encuestar es de 19 viviendas (11para el barrio Florencia y 8 para el Barrio San Juan), las cuales fueron seleccionadas siguiendo un esquema de muestreo sistemático que consiste en elegir un individuo al azar y a partir de él, a intervalos constantes, se eligen los demás hasta completar la muestra.

El cálculo se realiza con la siguiente formula:

$$\boldsymbol{K = \frac{N}{n}} \qquad [12] \qquad \boldsymbol{1 \leq A \leq K}$$

Donde:

N = Tamaño total de la población o Universo
n = Tamaño de la muestra
K= Tamaño del salto sistemático
A= Valor de arranque; en la tabla de números aleatorios.

De la formula [12], el tamaño del salto sistemático corresponde a:

$$K = \frac{95}{19} = 5$$

Con el valor de K se ingresa a la tabla de números aleatorios.

3.3.2 Investigación experimental.

Se trata de un experimento porque precisamente el investigador provoca una situación para introducir determinadas variables de estudio manipuladas por él, para controlar el aumento o disminución de esa variable o en su defecto en las conductas observadas.

La investigación se centró en el estudio del suelo reconociéndolo como materia prima para la fabricación de materiales de construcción como es el abobe y el mortero estabilizado para revestimiento, planteados en el segundo y tercer objetivo de la investigación.

3.3.2.1 Metodología para el segundo objetivo.

Clasificar el tipo de suelo utilizado como materia prima en la fabricación de los adobes, así como sistematizar su proceso de fabricación para realizar el estudio de mecánica de suelos y paralelamente evaluar en laboratorio el comportamiento a la compresión y erosión de dichos adobes.

3.3.2.1.1 Caracterización de los componentes.

El componente utilizado para los ensayos de laboratorio fue el suelo proveniente de los barrios Florencia y San Juan, del sitio ubicado en las coordenadas Latitud: 9566270 N y Longitud: 697272 E, habiéndose escogido el sector por encontrase dentro del límite entre los dos barrios además, por cuanto de la información de los moradores del sector es una cantera cuyos materiales permiten obtener adobes duraderos y resistentes siendo de uso común.

Para caracterizar los suelos fue necesario realizar varios ensayos de laboratorio, basados en las correspondientes normas descritas en la tabla 11.

Tabla 11. *Normas utilizadas para la caracterización del suelo.*

Ensayos	Normas
Contenido de agua	ASTM7 D 2216/ NTE8 INEN9 690 (1982)
Límite líquido	ASTM D 4318/ NTE INEN 691
Límite plástico y el índice de plasticidad	ASTM D 4318/NTE INEN 692
Ensayo de compactación. Proctor estándar	AASHTO T99-01 /ASTM D 698
Ensayo de Granulometría por tamizado	AASHTO T88-00/ ASTM D422
Ensayo de Granulometría a través del hidrómetro	AASHTO T88-00/ ASTM D422

Con la información obtenida de los ensayos realizados al suelo, se ingresó al sistema unificado de clasificación de suelos SUCS y AASHTO, facilitando la identificación y obteniendo sus características.

Ensayo de contracción lineal

Para la ejecución de este ensayo se ejecutó la metodología de contracción lineal explicada en el Anexo E.

3.3.2.1.2 Fabricación de los adobes

Para el proceso de fabricación de los adobes se utilizó un molde de madera de 380 mm de largo, 180 mm de ancho y 180 mm de altura. Se preparó una mezcla de suelo, agua y paja, en el cual se determinó sus respectivas dosificaciones en campo.

La mezcla preparada, se coloca en el molde, esto se realizó de unidad en unidad.

Los adobes fabricados fueron puestos a secar lenta y uniformemente bajo techo, y transcurridos los primeros 8 días se colocó de costado, hasta los 30 días y luego llevados al laboratorio para ser sometidos a las pruebas tanto de compresión, como de erosión.

3.3.2.1.3 Determinación de las propiedades a evaluar.

Las variaciones en las características de los materiales obligan a realizar numerosos ensayos para llegar a tomar decisiones apropiadas. Los ensayos proporcionan una determinación del comportamiento del elemento constructivo ante diferentes situaciones. Para evaluar la calidad de la mezcla confeccionada, se fabricaron probetas que posteriormente se sometieron a ensayos para determinar las propiedades mecánicas y de durabilidad. (Acevedo, 2004 citado por Calva, 2015), consecuentemente, las propiedades que se eligieron para la presente investigación fueron mecánicas y de durabilidad a través de los siguientes ensayos 1.- Resistencia a la compresión, y 2.- Resistencia a la erosión. Es necesario señalar que todos los ensayos previstos se debieron efectuar bajo normas internacionales, en razón de no disponerse de las mismas en las regulaciones ecuatorianas.

- ✓ **Resistencia a la compresión**

Se realizó el ensayo de la resistencia a la compresión bajo la norma española UNE 41410.

Para el ensayo a la compresión de los adobes se utilizó la prensa hidráulica configurada previamente a una velocidad de 0,075 MPa/s y una sensibilidad de 10 kN.

- ✓ **Resistencia a la erosión acelerada Swinburne (SAET)**

Con el propósito de determinar la durabilidad del adobe, se aplicó el ensayo denominado resistencia a la erosión acelerada Swinburne, especificado por la norma española UNE 41410 para bloques de tierra, para muros y tabiques y que consiste en la liberación de agua desde un pequeño deposito elevado, hasta la muestra, la cual esta inclinada para permitir que se produzca necesariamente humedecimiento, absorción, erosión y escorrentía.

El adobe se clasificará como "apto" o "no apto" de acuerdo al análisis de resultados que se encuentran en la norma mencionada anteriormente.

Tabla 12. *Resistencia a la erosión. Criterios de aceptación o rechazo.*

Propiedad	Criterio	Resultados
D, (profundidad de la oquedad, en mm)	$0 \leq D \leq 10$	Adobe apto
	$D > 10$	Adobe no apto

3.3.2.2 Metodología para el tercer objetivo.

Realizar en laboratorio pruebas con diferentes mezclas de suelo estabilizado que muestren adecuada adherencia y sea resistente a la erosión.

3.3.2.2.1 Diseño del experimento con la selección de las variables a utilizar.

Para el diseño del mortero de revestimiento estabilizado y en concordancia con la literatura existente sobre el tema se aplicó tres componentes con diferentes dosificaciones volumétricas, empleando el cemento portland, la cal y el suelo.

- ✓ **Materiales a utilizar en la fabricación del mortero estabilizado.**

Agua.- En la fabricación del mortero estabilizado en la presente investigación se empleó agua potable, cuyo uso está aprobado por la norma NTE INEN 2617:2012.

Cal.- Se empleó cal hidratada CAL FORTE correspondiente a la empresa CRILARSA C.A; con registro INP-R No. 000817, es un producto muy utilizado en todas las fases del proceso de construcción, es ideal para acabados, morteros, cimentaciones, impermeabilización así como para estabilizar suelos ácidos y arcillosos.

Cemento.-El cemento empleado corresponde al de la empresa HOLCIM Ecuador S.A., Tipo GU, el cual dentro de la región es de uso común en la construcción en general y cumple con la Norma NTE INEN 2380.

Suelo. - El suelo es proveniente de los barrios Florencia y San Juan a una profundidad de 0,5 - 1 metros, previamente caracterizado en el Laboratorio de Materiales de Construcción del Proyecto 818 SENESCYT-UNL.

3.3.2.2.2 Diseño experimental

Con base en la investigación realizada por Cabrera et al (2000), se tomó tres variables que representan las mejores condiciones en su investigación y fueron adoptadas bajo las siguientes proporciones:

Tabla 13. *Dosificaciones empleadas para el mortero estabilizado*

Dosificación	% Cemento	% Suelo	% Cal
1 : 4 : 1	17	66	17
1 : 4 : 2	14	57	29
1 : 5 : 1	14	72	14
Testigo		100	

3.3.2.2.3 Determinación de las propiedades a evaluar.

Las propiedades que se eligieron al igual que el segundo objetivo fueron mecánicas y de durabilidad través de los siguientes ensayos 1.- Resistencia a la compresión, 2.- Resistencia a la erosión y 3.- Adherencia.

- ✓ **Resistencia a la compresión**

Se realizó el ensayo de la resistencia a la compresión bajo la norma española UNE 41410.

En el caso de la prueba de compresión del mortero se fabricó probetas o cubos de 5 cm por lado, para cada una de las dosificaciones y después de 30 días de secado bajo sombra se procedió a ejecutar el ensayo.

Las probetas realizadas con el mortero de suelo estabilizado, fueron sometidas al ensayo de compresión en la prensa hidráulica configurada previamente a una velocidad de 1 N/s y una sensibilidad de 0,1 kN.

- ✓ **Resistencia a la erosión acelerada Swinburne (SAET)**

Al igual que el segundo objetivo se aplicó el ensayo denominado resistencia a la erosión acelerada Swinburne, especificada por la norma española UNE 41410.

El mortero se clasificará como “apto” o “no apto” de acuerdo al análisis de resultados que se encuentran en la norma mencionada anteriormente.

En lo referente en las pruebas de erosión y adherencia los especímenes empleados fueron adobes cubiertos por una capa de mortero estabilizado de 1,5 – 2 cm de espesor y luego de transcurrir 30 días de secado se procedió a ejecutar los ensayos.

- ✓ **Ensayo de adherencia- Método de Tracción directa**

La adherencia es la resistencia que opone un recubrimiento al ser separado de la superficie donde está colocado, al aplicarle una fuerza de tracción.

El propósito de esta norma NCh 2471 es establecer el procedimiento de ensayo que determina la adherencia de un recubrimiento sobre un sustrato mediante el método de tracción directa, esta se aplica en recubrimientos tipo morteros, revoques u otros semejantes colocados sobre una superficie.

Como adhesivo se utilizó SIKADUR®- 32 PRIMER N cuyas características contan en el Anexo F.

Para obtener los resultados de adherencia se debe calcular con la formula siguiente:

$$B = \frac{F}{A} \qquad [13]$$

En donde:

B = Adherencia en Megapascal, MPa
F = Carga de rotura en Newton, N
A= Área de la probeta en milímetros cuadrados, mm^2

Se puede clasificar también de acuerdo al tipo de rotura que se presenta:

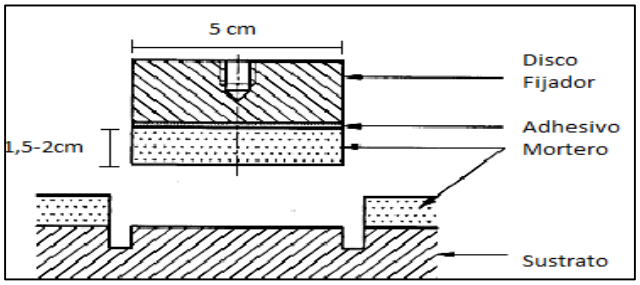


Figura 12. Despegue producido en la superficie de contacto entre mortero y sustrato (Rotura tipo a – rotura de adherencia).

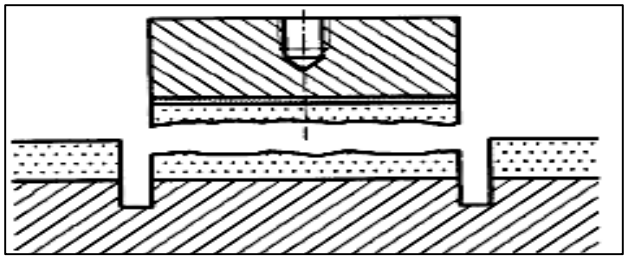


Figura 13. Rotura se produce en el recubrimiento, la Resistencia es mayor que en el valor de ensayo. (Rotura tipo b – rotura de separación)

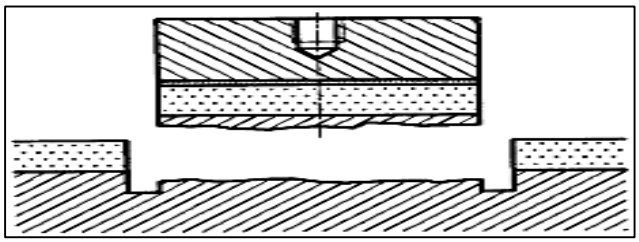


Figura 14. Rotura se produce en el sustrato, la resistencia de unión es mayor que el valor de ensayo. (Rotura tipo c – rotura de cohesión)

Si el despegue se produce en la zona del adhesivo (ver figura 15) indica falla en su adherencia con el recubrimiento o con el disco fijador. Al producirse esta falla se deben preparar nueva probetas para repetir el ensayo.

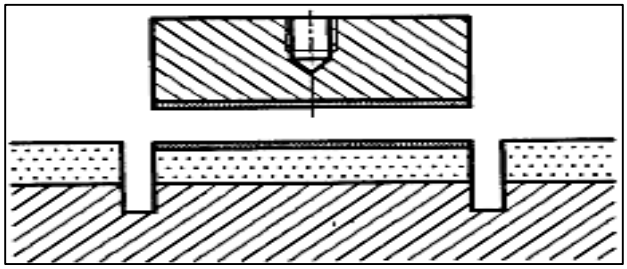


Figura 15. Rotura o despegue se produce en la zona del adhesivo**.**

4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 Resultados y discusiones para el primer objetivo

Caracterizar la infraestructura agropecuaria disponible, e identificar los materiales de construcción utilizados así como su distribución espacial para sobre esta base determinar las patologías presentes en las construcciones realizadas con adobe.

4.1.1 Infraestructura disponible.

4.1.1.1 Materiales utilizados en las viviendas.

A través de la visita a cada edificación previamente asignada, en los barrios Florencia y San Juan, se pudo obtener los siguientes resultados:

En lo referente al material utilizado en la estructura portante de las viviendas, se registra que el 53 % están construidas con paredes soportantes, el 32 % con madera y el 16 % hormigón armado (Figura 15).

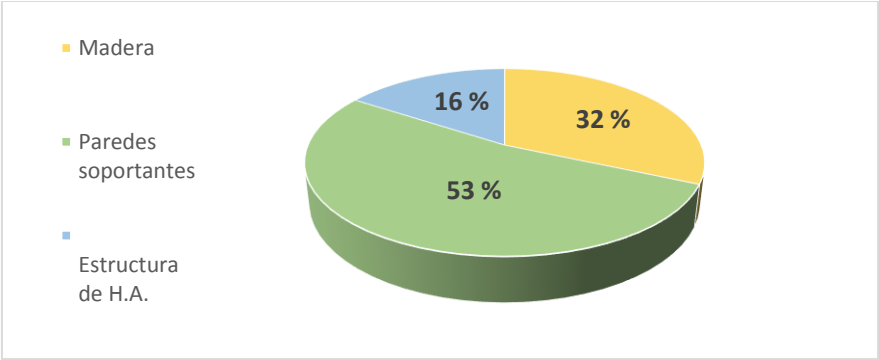


Figura 16. Material predominante en la estructura de las viviendas en los Barrios Florencia y San Juan.

En la figura 17 se observa que la mayoría el (84 %) tienen viviendas construidas con mamposterías o paredes en donde se ha utilizado el suelo como materia prima principal, en materiales tales como: adobe, tapial y bahareque (Anexo A). En la actualidad las nuevas edificaciones el (16 %) usan ladrillo de arcilla cocida en reemplazo de los materiales tradicionales.

Los resultados obtenidos sobrepasan la cantidad estimada por Gatti (2012) en cuanto a viviendas construidas con suelo, pues en el sector de estudio no sólo cubren la mitad, sino que superan los dos tercios de la totalidad, lo que permite reconocer que los materiales tales como adobe, tapial o bahareque forman parte de la cultura de la población rural.

Sin embargo, a pesar de lo señalado la influencia externa, la oferta y fácil acceso en los mercados locales de materiales importados o elaborados en otros sectores del país, ha dado como

resultado que la actividad de fabricación de adobe, tapial o bahareque deje de ser rentable, por lo que se ha producido una pérdida del conocimiento en cuanto a la técnica de fabricación, siendo muy pocos los artesanos del sector que los elaboran, por lo que hoy en día resulta inclusive un material costoso a menos que se utilice la modalidad de autoconstrucción y la familia lo elabore utilizando su propia fuerza de trabajo o el sistema de minga.

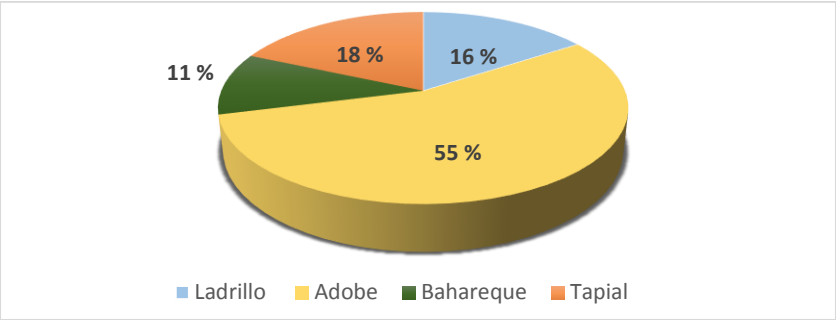


Figura 17. Material predominante en las paredes de las viviendas en los Barrios Florencia y San Juan.

La figura 18 demuestra en lo referente a la cubierta que casi la totalidad son construidas con teja de arcilla cocida con el (90 %), material que requiere mantenimiento periódico (Anexo A), sin embargo sigue siendo el más económico y de fácil colocación a diferencia de las losas de hormigón y cubierta de fibrocemento que son más onerosas, por tal razón de estos dos últimos materiales únicamente en ambos casos sólo se registra un 10 %.

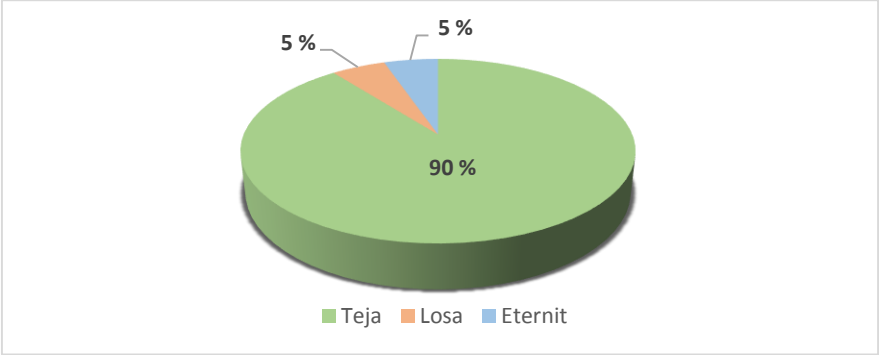


Figura 18. Material predominante en las cubiertas de las viviendas en los Barrios Florencia y San Juan.

A más de las paredes, otros elementos que permiten identificar el nivel de pobreza de una familia son las condiciones cualitativas de su vivienda, que se las puede observar en el tipo de piso, que para el caso del área de estudio sobresale el hecho de que más de la mitad de las viviendas el (58 %) tienen pisos de tierra, lo cual pone en riesgo la salud de las familias que las habitan, concordando con lo señalado por la OMS (1990) de que esta situación contribuye para que las

familias se desenvuelvan en condiciones de insalubridad. Por otra parte, el 8 % utiliza madera en los pisos, a pesar de ser un material escaso en la zona, siendo caro y de uso limitado (figura 19).

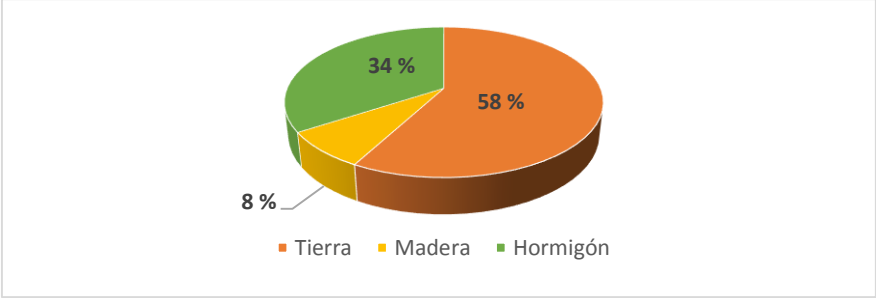


Figura 19. Material predominante en los pisos de las viviendas en los Barrios Florencia y San Juan.

La situación de pobreza en la que se desenvuelven las familias y la carencia de programas por parte de las Gobiernos Autónomos Descentralizados- GADs y las Universidades, que permitan capacitar a los propietarios en procesos de fabricación y reparación de materiales de construcción a base de suelo, por lo que estas labores son poco realizadas, así que el 58 % no ha realizado labores para reparar, detener o disminuir el deterioro causado por el paso del tiempo o por el efecto de factores relacionados con el clima, lo que contribuye con el daño de las edificaciones y el 42 % si ha efectuado este tipo de trabajos, al menos una vez desde su construcción (figura 20).

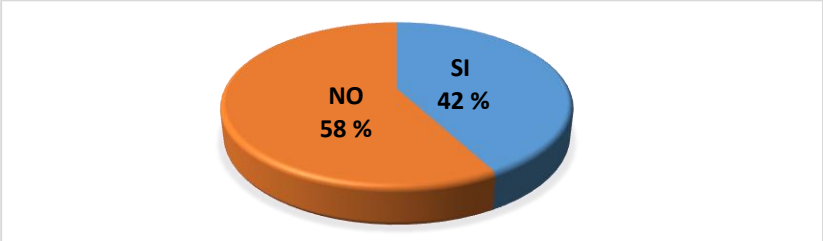


Figura 20. Las viviendas en los Barrios Florencia y San Juan, que han sido objeto de mantenimiento.

4.1.1.2 Infraestructura agropecuaria.

El 63 % de los entrevistados a más de sus viviendas disponen también de construcciones para actividades agrícolas o pecuarias, mientras que el 37 % no disponen debido a la falta de recursos y terrenos para poder producir y por la actividad diaria a la que se dedican, generalmente los hombres ofrecen su fuerza de trabajo para laborar en el ámbito de en las construcciones en el centro de la ciudad y en otras provincias y las mujeres como empleadas domésticas, esto hace que no exista el tiempo disponible para poder producir.(Figura 21).

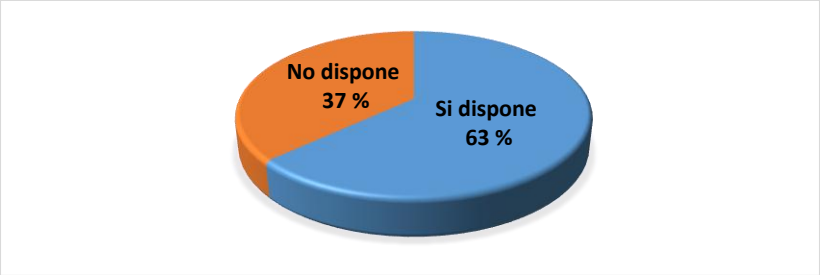


Figura 21. Familias que disponen de edificaciones para las actividades agrícolas o pecuarias en los Barrios Florencia y San Juan.

En la figura 22 demuestra que de la infraestructura agropecuaria se puede clasificar según lo mencionado por Calva (2015) en instalaciones que en su mayoría con el (92 %) son pecuarias, es decir que son aquellas construcciones que se utilizan en la protección de los animales, a fin de mantenerlos en un ambiente saludable ya sea para su manejo o control (polleras, cuyeros y porquerizas) y el (8 %) son agrícolas destinados para el mejoramiento de la producción (invernaderos).

De igual manera se corrobora que por falta de recursos y la indisposición de espacios, la infraestructura agropecuaria está dentro de la vivienda en su mayoría en la cocina y parte de ésta la destinan para criar los animales menores como: gallinas y cuyes, los animales mayores como: ganado, borregos y cerdos los dejan en el exterior, amarrados a los cercos o en las porquerizas.

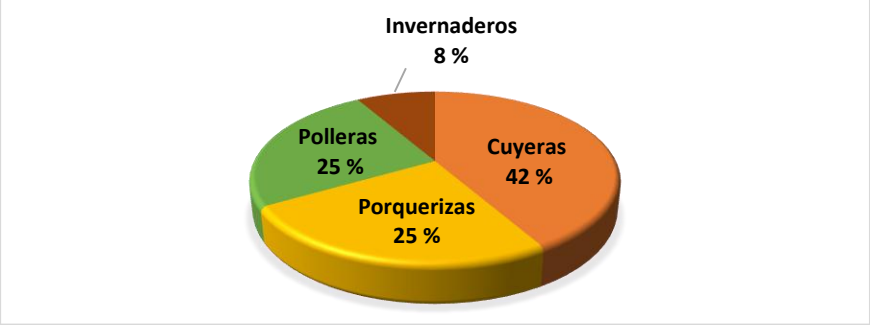


Figura 22. Infraestructura agropecuaria disponible

4.1.1.2.1 Materiales utilizados en la infraestructura agropecuaria.

En cuanto a los materiales empleados en la construcción de la infraestructura agropecuaria, se puede observar que el 71 % de la estructura portante está fabricada a base de madera y el 29 % tiene paredes autosoportantes (Figura 23).

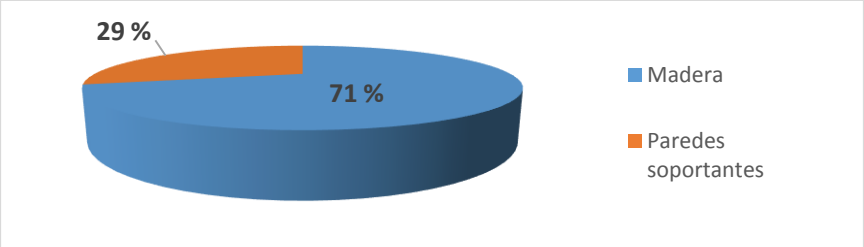


Figura 23. Material de en estructura de la infraestructura agropecuaria en los Barrios Florencia y San Juan**.**

Respecto a los materiales utilizados en la infraestructura agropecuaria, se identifica que el 61 % utilizó madera, siendo el que predomina en las paredes de dichas construcciones por ser áreas pequeñas (Anexo A). Por otro lado el 39 % han empleado materiales como el adobe, tapial y bahareque, estableciéndose que el empleo del suelo en actividades agropecuarias al igual que en la vivienda es de suma importancia (figura 24).

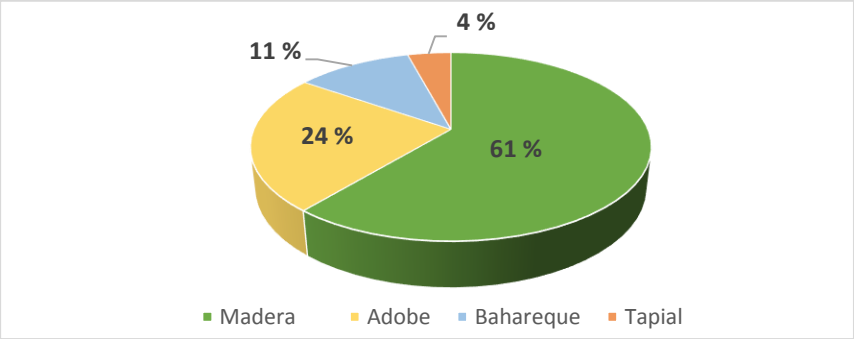


Figura 24. Material en paredes de la infraestructura agropecuaria en los Barrios Florencia y San Juan

En lo que concierne a la cubierta un poco más de la mitad son construidas a base de teja de arcilla cocida, con el 54 %, se aplica este material por estar sobre áreas pequeñas y en algunos casos por ser sobrantes de sus viviendas y el 29 % poseen cubiertas de Zinc, y el 17% tienen cubiertas echas de plástico ya que por la falta de recursos lo han tomado a este material como parte de las cubiertas (figura 25).

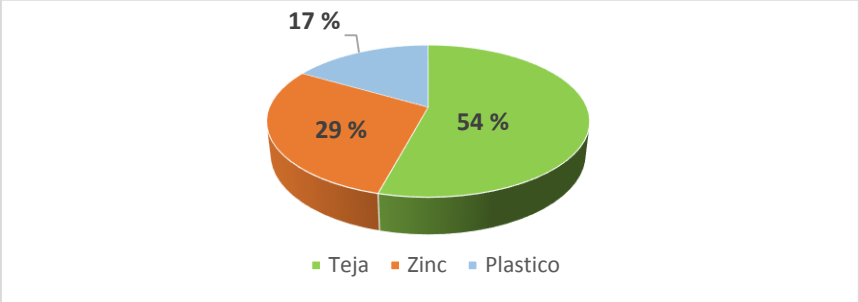


Figura 25. Material en cubiertas de la infraestructura agropecuaria en los Barrios Florencia y San Juan.

La figura 26 muestra que otro aspecto importante es el material dispuesto en los pisos ya que el 58 % posee piso de tierra siendo es un problema cuando se requiere dar mantenimiento, mientras que el 25 % es construido a base de madera destinado para la crianza de animales menores como aves ya que por ser animales pequeños y de poco peso disminuye el deterioro y además conserva una temperatura agradable siendo el más adecuado para dicha crianza y el 17 % conformado por pisos de hormigón simple que son empleados en las porquerizas este material facilita la limpieza y la conservación de las infraestructuras.

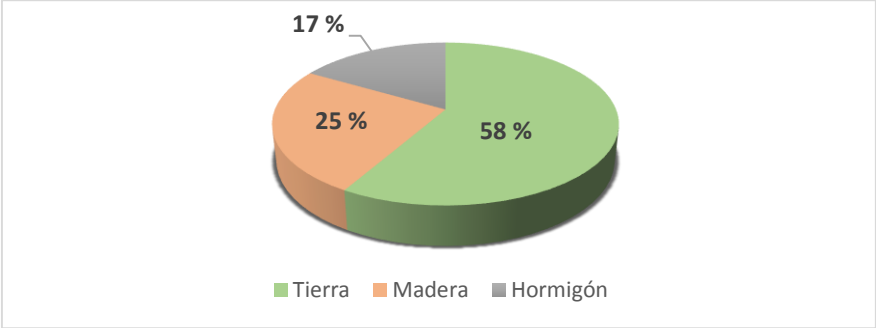


Figura 26. Material en pisos de la infraestructura agropecuaria en los Barrios Florencia y San Juan.

Al igual que en la vivienda las construcciones agropecuarias por la falta de recursos, obliga a la utilización de materiales económicos, que generalmente requieren de mantenimiento o reemplazo periódico, encontrándose que el 83 % no ha realizado este tipo de actividades, prefiriendo que se destruya la infraestructura por cuanto los costos de reparación son los mismos que el de una nueva construcción, mientras que el 17 % sí ejecuta acciones al menos una vez que permitan la reparación especialmente a las construcciones que cuentan con pisos hechos de hormigón (figura 27).

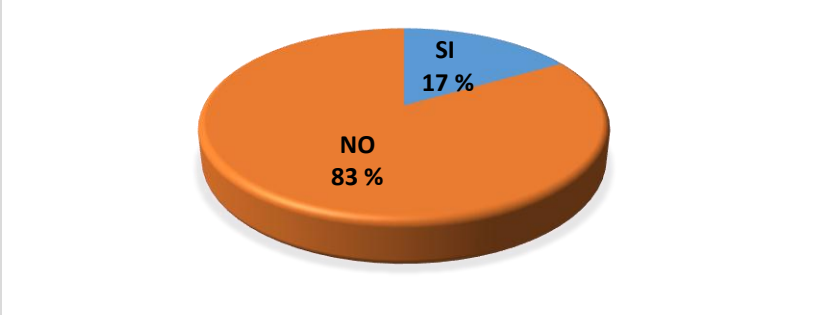


Figura 27. Mantenimiento en la infraestructura agropecuaria en los Barrios Florencia y San Juan.

4.1.2 Patologías de la vivienda e infraestructura rural.

4.1.2.1 Patologías constructivas de la vivienda.

Para la determinación de las patologías en las construcciones existentes en los hogares de los Barrios Florencia y San Juan, se obtuvo información directa mediante la visita realizada a cada vivienda, los resultados se muestran a continuación:

Tabla 14. *Resultados de las Patologías Constructivas de la Vivienda*

Patologías en viviendas	Cantidad	Porcentajes
Constructivas		
- Por defecto	8	42 %
- Deterioro	9	47 %
- Daños	2	11%
Humedad		
- Presencia	15	79 %
- Ausencia	4	21 %
Erosión física		
- Presencia	13	68 %
- Ausencia	6	32 %
Cimentación		
- Adecuada	5	26 %
- Inadecuada	14	74 %
Grietas o fisuras		
- Presencia	12	63 %
- Ausencia	7	37 %
Estado de las grietas o fisuras		
- Vivas	6	50 %
- Muertas	6	50 %
Tamaño o espesor		
- Microfisuras	4	33 %
- Fisuras	5	42 %
- Macrofisuras	3	25 %
Organismos vegetales		
- Cubiertas	15	79 %
- Paredes	3	16 %
- Pisos	1	5 %
Daños por influencia del techo		
- Si	5	26 %
- No	14	74 %
Daños por asentamientos		
- Si	8	42 %
- No	11	58 %

La tabla 14 muestra los resultados de las viviendas de la zona de estudio y se ha podido clasificar las patologías en tres tipos como afirma Astorga y Rivero, (2009) se obtuvo que cerca de la mitad (47 %) de las edificaciones sufren patologías constructivas caracterizadas como

deterioro que es causada por los factores climáticos como son los ciclos continuos de lluvia, sol y sustancias químicas presentes en el agua y en el aire que hacen que la estructura se debilite conforme pase el tiempo, por otro lado el 42 % es originado ***por defecto***, como es el empleo de materiales deficientes para la construcción así como el mal diseño y ejecución de la obra, el 11 % se representan ***por daños***, producto de una sobrecarga de peso en la edificación así como también influye un evento natural como un derrumbe o una inundación.

De acuerdo con la investigación, existe presencia de humedad en el 79% de las edificaciones (Anexo A), situación que se origina en razón de que la mayoría son fabricadas a base de suelo, material que posee la propiedad de higroscopicidad que le permite absorber agua del medio ambiente, esto hace que sus paredes estén constantemente humedecidas específicamente en sus bases; las restantes (21 %) al ser montadas a base de hormigón y ladrillo la humedad les afecta en menor grado.

La presencia de humedad dio paso a que en una gran parte exista erosión física (68%), en las paredes especialmente a las desprotegidas por la falta de enlucidos adecuados que protejan el adobe, tapial y bahareque, de las lluvias, vientos y la misma acción del hombre que provoca que disminuya la sección del muro por ende reduzca su resistencia obteniendo una mala apariencia y el posible colapso, en cambio el 32% aún no ha sufrido daños por erosión por ser construcciones nuevas y que están elaboradas con ladrillo cocido y enlucidos con morteros de arena y cemento.

Por otro lado, la cimentación de las viviendas en la mayoría (74 %) son realizadas con piedra y suelo, situación que causa problemas cuando por la presencia del agua en época de lluvias debilita al suelo lo que genera asentamientos, el 26 % presenta mejores condiciones al haberse empleado hormigón ciclópeo y hormigón armado, ya que su comportamiento con la presencia del agua ayuda a mejorar su resistencia.

La mala cimentación es una de las consecuencias para que se generen problemas como la presencia de microfisuras un 33 %, fisuras 42 % y macrofisuras en un 25 % y de acuerdo con Astorga y Rivero (2009), se observa que hay aberturas que abordan en 1mm hasta los 20mm de espesor, siendo indicadores de que existe fallas estructurales, al igual que el 50 % de dichas grietas se encuentran en estado vivo es decir, van expandiéndose o cerrándose conforme pasa el tiempo y por otra parte, la otra mitad están en estado muerto, una vez que ya han dejado de crecer (están estabilizadas).

Otro gran problema es la manifestación de organismos vegetales que se adhieren en superficies rugosas y con un grado de humedad óptimo para su crecimiento, en su mayoría están presentes en las cubiertas (79 %) ya que la presencia de polvo y agua facilitan su desarrollo, de la misma forma aparecen en los muros a base de suelo con el (16 %) produciéndose hongos, mientras que el (5 %) brotan en los pisos, estos problemas llegan a acelerar el proceso de deterioro, al igual de ser un problema de insalubridad.

Un problema que se aqueja en las viviendas es el daño en la infraestructura por la influencia del techo con 26 % daños producidos el desarrollo de materia vegetal que crece por la acumulación del polvo, por el abandono o por la falta de mantenimiento generalmente en cubiertas a base de un material pesado como es tejas de barro, esto genera la retención de humedad en épocas lluviosas produciéndose goteras que afectan a las estructura de madera provocando pudrición y deterioro, sumado todo el peso llega afectar a las paredes de la infraestructura.

La mala ubicación de las viviendas construidas en los barrios Florencia y San Juan es otro gran problema representando el 42 % de los encuestados, dichas edificaciones han sufrido daños en su infraestructura, ya sea por deslizamientos o asentamientos del terreno, esto se debe a la construcción en zonas de riesgo por estar cerca de ríos o en laderas peligrosas y debido a la falta de conocimiento sobre el comportamiento del terreno o por la mala distribución del suelo y de no poseer más espacios donde puedan construir, elevando el nivel de inseguridad para sus habitantes, por otro lado el 58 % de las casas, de alguna u otra forma están bien ubicadas y no poseen daños por dichas razones.

4.1.2.2 Patologías constructivas de la infraestructura agropecuaria.

Del 63 % del total que disponen de infraestructura agropecuaria, que se indicó anteriormente (Figura 21), mediante la entrevista realizada en la investigación, se pudo obtener información sobre las patologías constructivas existentes, como se muestran los resultados presentados a continuación.

Tabla 15. *Resultados de las Patologías Constructivas de la Infraestructura Agropecuaria***.**

Patologías en infraestructura agropecuaria	Cantidad	Porcentajes
Constructivas		
- Por defecto	5	42 %
- Deterioro	4	25 %
- Daños	3	33 %
Humedad		
- Presencia	5	42 %
- Ausencia	7	58 %
Erosión física		
- Presencia	1	8 %
- Ausencia	11	92 %
Cimentación		
- Adecuada	1	8 %
- Inadecuada	11	92 %
Grietas o fisuras		
- Presencia	**2**	17 %
- Ausencia	10	83 %
Estado de las grietas o fisuras		
- Vivas	0	0 %
- Muertas	2	100 %
Tamaño o espesor		
- Microfisuras	1	50 %
- Fisuras	1	50 %
- Macrofisuras	0	0 %
***Organismos vegetales**		
- Cubiertas	5	71 %
- Paredes	2	29 %
- Pisos	0	0 %
Daños por influencia del techo		
- Si	1	8 %
- No	11	92 %
Daños por asentamientos		
- Si	1	8 %
- No	11	92 %

*** La presencia de organismos vegetales existió únicamente en 7 construcciones correspondientes a las infraestructuras Agropecuarias.**

La tabla 15 muestra que dentro del porcentaje disponible de infraestructura al igual que en la vivienda se ha podido clasificar las patologías en tres tipos como afirma Astorga y Rivero, (2009), ya que el 42 % sufre ***por defecto***, producto del mal diseño o por el empleo de materiales inapropiados y deficientes que no pueden ser resistentes a la presencia del agua y sol, por otra parte el 33 % es producido ***por daños*** es decir que se manifiesta por la incidencia de una fuerza externa a la infraestructura como puede ser: sismo, inundación, derrumbe o por la sobrecarga que llega a exponerse.

En otro aspecto las patologías constructivas son producidas por ***el deterioro*** con el 25 %, ya que por ser en su mayoría edificaciones a base de madera y suelo, la exposición continua a los ciclos de lluvia, sol y sumado a la falta de mantenimiento hacen que la infraestructura se debilite y posteriormente colapse.

Según la investigación realizada se puede manifestar que un poco menos de la mitad 42 % de la infraestructura agropecuaria consta de presencia de humedad particularmente en la base de la estructura, ya que la madera al igual que el suelo poseen la propiedad de higroscopicidad en la cual por su gran porosidad absorbe y cede agua del medioambiente, esto genera que las paredes estén continuamente humedecidas, generalmente en épocas de lluvias, por otra parte más de la mitad 58 % no hay presencia de humedecimiento es las construcciones.

La humedad presente en la infraestructura agropecuaria ha dado paso a que exista erosión física, pero únicamente se ha afectado al 8 % de las infraestructuras especialmente en las que están construidas a base de suelo y por la falta de enlucidos que protejan la pared hace que la sección del muro disminuya lentamente haciéndose más susceptible al colapso; por otra parte, ya que un su mayoría son obras realizadas a base de madera en el 92 % no hay presencia de erosión física pero la presencia de agua ha generado la aceleración de la pudrición y deterioro de las construcciones.

Otro problema presente en la infraestructura agropecuaria, que afecta al 92 %, es la ausencia de cimentación que no se la construye por la falta de recursos y conocimiento, pues se cree que por ser pequeñas áreas de construcción no la necesitan en sus estructuras. También el empleo de materiales hechos a base de piedra y tierra, hace que con la presencia de humedad se facilite la existencia de asentamientos reduciendo la capacidad de soporte de las construcciones, siendo un peligro para la crianza de animales. El 8 % restante posee cimientos a base de hormigón ciclópeo.

La inexistencia de cimentación, en la mayoría de las construcciones ha generado que en las paredes a base de suelo se presenten fisuras, que se las ha podido clasificar en microfisuras (50 %) y fisuras (el otro 50 %) con aberturas que oscilan de 1mm a 10mm de espesor, siendo un indicador de que existen fallas estructurales como asentamientos, dentro de este porcentaje dichas grietas en su totalidad se encuentran en estado muerto es decir ya fueron controlados o han dejado de crecer.

La manifestación de organismos vegetales es otro problema que existe en la infraestructura agropecuaria ya que se adhieren en superficies rugosas y necesitan de un grado de humedad óptimo para su crecimiento en su mayoría están presentes en las cubiertas 71%, siendo el lugar donde se acumula una gran cantidad de polvo y en épocas de lluvia guardan humedad, siendo un lugar adecuado para su desarrollo, de la misma forma están presentes pero en una menor cantidad en las paredes (29%) esto ayuda para que la madera se deteriore rápidamente y en muros con suelo se generen criadero de hongos perjudicando a la salud de los animales.

Debido al desarrollo de organismos vegetales y la acumulación de plantas que crecen en las cubiertas por el abandono o por la falta de mantenimiento el 8 % sufre daños en la construcción por el sobrepeso que se genera y por la retención de humedad que existe en épocas de lluvias, esto crea goteras que afecta a la estructura a base de madera acelerando el proceso de pudrición y el posterior colapso, mientras que el 92 % no ha sufrido daños especialmente por ser construcciones pequeñas.

Por ser obras pequeñas o por no tener demasiado peso y por estar ubicados en un lugar que no están expuestas a peligros el 92% de las construcciones agropecuarias de los barrios Florencia y San Juan no ha sufrido daños por deslizamiento o asentamiento del terreno, pero el 8 % si tiene problemas comúnmente por la construcción en zonas de riego y no tomar en cuenta excavaciones existentes, así como la cercanía de pequeñas quebradas o por la falta de conocimientos sobre el comportamiento del suelo.

4.2 Resultados y discusiones para el segundo objetivo

Clasificar el tipo de suelo utilizado como materia prima en la fabricación de los adobes, así como sistematizar su proceso de fabricación para realizar el estudio de mecánica de suelos y paralelamente evaluar en laboratorio el comportamiento a la compresión y erosión de dichos adobes.

4.2.1 Caracterización del suelo para fabricación de adobe y suelo estabilizado.

En la presente investigación, se procedió a establecer las características del suelo que se utiliza en los Barrios Florencia y San Juan como materia prima para la elaboración de adobes el cual fue empleado en la fabricación del mortero estabilizado. El análisis desde la perspectiva de la mecánica de suelos se realizó en el laboratorio de materiales de construcción del proyecto 818 SENESCYT-UNL.

4.2.1.1 Caracterización del suelo.

4.2.1.1.1 Granulometría.

Los resultados obtenidos en el laboratorio indican que existe predominio de arena y limo, que se presentan en proporciones bastante similares (37,77 % y 38,35) y la arcilla se encuentra en menor cantidad (23,88 %). Los detalles del ensayo de granulometría constan en el Anexo D del presente documento.

Tabla 16. *Granulometría del suelo de los barrios Florencia y San Juan*

Material	% Retenido	% Desagregación fino retenido	% Totales
Grava	0,00	--	0,00
Arena	27,19	10,58	37,77
Limo	--	38,35	38,35
Arcilla	--	23,88	23,88

Al realizar el análisis de los porcentajes presentes de los componentes señalados por su granulometría con los planteados por Barrionuevo, (2011) para fabricación de adobe, se observa una importante diferencia ya que un balance apropiado seria utilizar suelos con de arena (55% a 70%), limo (15% a 25%) y arcilla (10% a 20%). Consecuentemente el suelo motivo de estudio no estaría dentro de los parámetros de las proporción aceptables, pero es la materia prima que existe en el lugar y por lo tanto es muy utilizado en la fabricación de adobe y tapial para las viviendas e infraestructura agropecuaria de la zona.

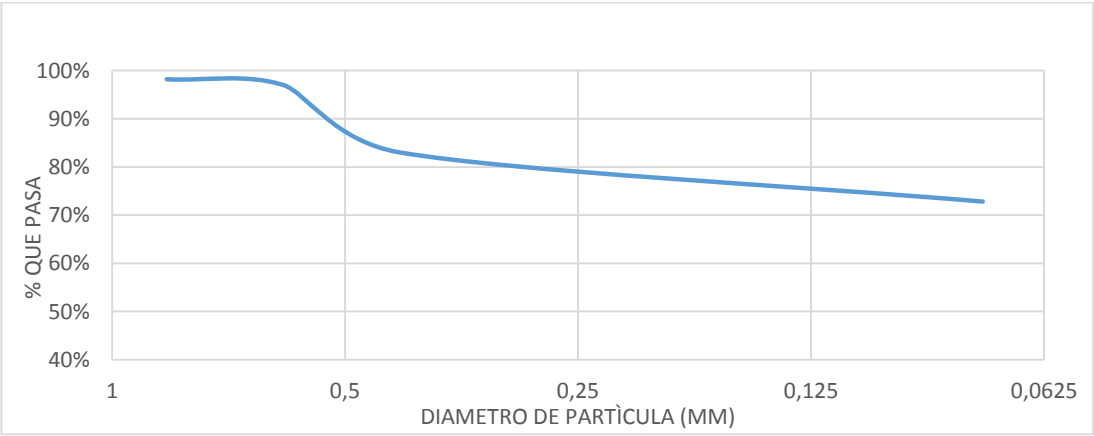


Figura 28. Curva granulométrica del suelo proveniente de los barrios Florencia y San Juan

Tabla 17. *Coeficiente de uniformidad y curvatura del suelo*

Graduación del suelo	
D10 =0,76 mm D30 =0,86 mm D60 =1,02 mm	C_U = 1,34 C_C = 0,96

Según los resultados obtenidos en laboratorio y con un previo cálculo se clasifico al suelo como mal graduado por tener un Cu < 4 y Cc < 1, como se indica en la revisión bibliográfica.

4.2.1.1.2 Densidad del suelo.

Una vez que se ejecutó el ensayo Proctor Estándar con la muestra de suelo en estudio, se logra obtener la curva de densidades en función del porcentaje de humedad, que consta en la figura 29.

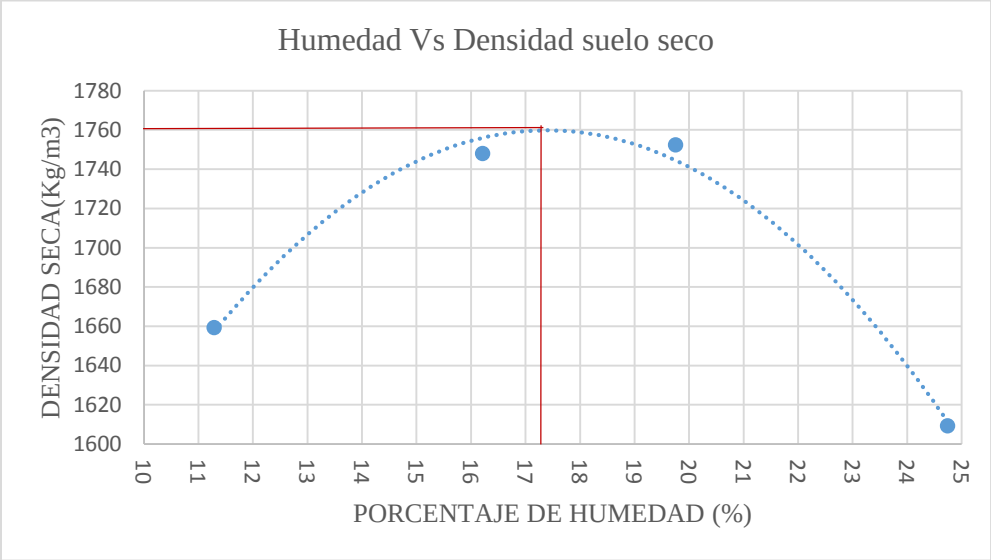


Figura 29. Curva de compactación del suelo

Sobre la base de la figura anterior se calculó la densidad seca máxima y su correspondiente contenido de humedad, cuyo resultado se lo indica en la siguiente tabla:

Tabla 18. *Representación tabular de los resultados a partir de la curva de compactación*

Resultados de la curva de compactación	
Densidad seca máxima:	1760 Kg/m^3
Óptimo contenido de humedad:	17.40 %

4.2.1.1.3 Límites de Atterberg.

La tabla 19 muestra los límites de Atterberg del suelo en estudio y que permitió conocer los porcentajes de humedad adecuados en los cuales dan a conocer el índice de plasticidad equivalente a 7, valores que indica que es un suelo ligeramente plástico.

Tabla 19. *Límites de Atterberg y clasificación del suelo*

Consistencia del suelo	
Límites de Atterberg	**Resultados**
Limite liquido	37%
Limite plástico	30%
Índice de plasticidad	7
Contenido de humedad	18%
Actividad de la arcilla	0,3

Un aspecto importante y fundamental es el reconocimiento de la actividad de la arcilla, pues finalmente es la característica o condición que decide su empleo o no en la fabricación de otros elementos como los bloques estabilizados, adobe o tapial. En el presente caso el valor calculado es de 0,3 que representa un suelo caolinítico cuya estructura no es expansiva, por no admitir agua en sus retículos. Estas arcillas son moderadamente plásticas, de mayor permeabilidad y mayor fricción interna, por estar dentro del rango (A< 0,75).

4.2.1.1.4 Clasificación del suelo.

Con los resultados de los diferentes ensayos indicados, se logró efectuar la clasificación tanto con el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos –SUCS, como con la tabla establecida por el American Association of State Highway and Transportation Officials – AASHTO, obteniéndose lo siguiente:

- Clasificación SUCS: ML – Limo de baja plasticidad con arena.
- Clasificación AASHTO: A-4 Suelo limoso.

4.2.1.1.5 Contracción lineal del suelo.

En lo referente a la contracción lineal del suelo en estudio, el valor obtenido fue del 4 %, esto significa que el volumen inicial de un espécimen de suelo variará en dicho porcentaje, una

vez que esté completamente seco, siendo un indicador adecuado para conocer las dimensiones reales en la fabricación de adobes de la zona en estudio.

Tabla 20. *Resultados de la contracción lineal del suelo.*

Repetición	Longitud inicial(cm)	Longitud final(cm)	Contracción Lineal (%)	Promedio (%)
1	60	57,3	4,5	
2	60	57,4	4,4	4 %
3	60	57,9	3,6	

4.2.2 Estudio de los adobes.

4.2.2.1 Fabricación de los adobes.

En la fabricación del adobe en los barrios Florencia y San Juan, se pudo obtener las siguientes dosificaciones en las cuales se realiza una técnica tradicional de preparación:

Tabla 21. *Dosificación para la preparación de un adobe.*

Componente	Masa (Kg)	Volumen (lts)
Suelo	31,059	
Paja	0,027	
Agua		2,4

4.2.2.2 Resultados de las pruebas a la compresión de los adobes.

Los resultados se presentan en la siguiente tabla con resistencia a los 30 y 60 días de secado.

Tabla 22. *Resistencia a la compresión de los Adobes*

Días de secado	Numero de ensayo	Resistencia (MPa)	Resistencia promedio (MPa)
30	Ensayo 1	1,21	1,23
	Ensayo 2	1,25	
60	Ensayo 1	1,32	1,34
	Ensayo 2	1,26	
	Ensayo 3	1,43	

En lo referente a la resistencia a la compresión se observa que a medida que pasa el tiempo de secado y por ende menor contenido de humedad tiene el material, la resistencia a la compresión se incrementa, situación que se confirma pues los resultados arrojan que para 30 días de secado se obtuvo 1,23 Mpa y a 60 días el valor promedio fue de 1,34 Mpa.

El resultado obtenido se lo pudo comparar con los adobes fabricados en la Parroquia de Vilcabamba del cantón Loja y que teniendo 365 días de secado el valor del ensayo a la compresión el resultado fue de 1,06 MPa siendo por lo tanto de menor resistencia que los pertenecientes a los barrios Florencia y San Juan, este resultado permite discrepar lo antes dicho, ya que el adobe posee mayor tiempo de secado pero menor es su resistencia, esto indica que las características del suelo también son muy importantes para mejorar su resistencia.

Los resultados obtenidos están por debajo de mencionado por Gonzáles, (2014) en cuanto a los requisitos que establece la norma peruana para el adobe E0.80 ya que el adobe terminado deberá tener una resistencia mínima de compresión de 2,16 MPa.

4.2.2.3 Prueba de erosión de los adobes.

Los resultados de las pruebas de erosión de los adobes se presentan en la Tabla 23.

Tabla 23. *Resistencia a la erosión de los Adobes*

Ensayos	*D (mm)	Categoría
Ensayo 1	10	Apto
Ensayo 2	13	No apto
Ensayo 3	8	Apto

***D =** Profundidad de las oquedades

En cuanto al comportamiento de los adobes elaborados en la presente investigación y probados en su capacidad de resistencia a la erosión, de acuerdo con la norma UNE 41410 se obtuvo una calificación de “aptos” para ser empleados en las construcciones rurales.

Figura 30. Medición de la profundidad de la oquedad en el adobe

Figura 31. Resultado de la profundidad de la oquedad, luego del ensayo de erosión.

Los resultados obtenidos se pudieron comparar con los adobes conseguidos de la Parroquia de Vilcabamba del cantón Loja perteneciente a la provincia Loja – Ecuador, cuyo resultado dio como "no es apto", lo que indica que no es resistente a la erosión en presencia de agua, posiblemente por las características granulométricas del suelo utilizado.

Figura 32. Adobe del sector Vilcabamba "no apto"

Calva, (2015) en su investigación realizada con adobes estabilizados para el ensayo de resistencia a la erosión su resultado fue como como no aptos, situación que de alguna manera tiene relación con las características o propiedades de la arcilla, la cual es maleable en presencia del agua.

Esta situación de alguna manera tiene relación con las características o propiedades del suelo, así mismo que por ser adobes fabricados de una manera tradicional en su confección no se extraen piedras medianas o grandes, esto conforma una estructura que resiste a la acción del agua,

ya que en el ensayo se pudo apreciar dichas rocas protegiendo al adobe (estructura de soporte) de la acción de la caída de agua directa.

4.3 Resultados y discusiones para el tercer objetivo

Realizar en laboratorio pruebas con diferentes mezclas de suelo estabilizado que muestren adecuada adherencia y sea resistente a la erosión.

4.3.1 Estudio de mortero estabilizado.

4.3.1.1 Resultados de las pruebas a la compresión del mortero estabilizado.

Tabla 24. *Resistencia a la compresión del mortero de revestimiento*.

Dosificación (CEMENTO:SUELO:CAL)	Resistencia (MPa)	Resistencia promedio (MPa)
1:4:1	2,30 2,19 2,24	2,24
1:4:2	1,71 1,60 1,64	1,65
1:5:1	1,91 1,95 2,16	2,01
Testigo	-------	------

Los resultados obtenidos en la investigación en lo referente a la resistencia a la compresión del mortero estabilizado para revestimientos a través de los ensayos realizados con las diferentes dosificaciones, se pudo obtener que la mezcla 1:4:1 de (cemento 17%; suelo 66%; y cal 17%) se obtuvo un valor promedio de 2,24 MPa y es la que presenta mejores condiciones; por otro lado la dosificación 1:4:2 presentó la menor resistencia de 1,65 MPa y la de 1:5:1 alcanzó 2,01 MPa.

Los resultados obtenidos se los comparo con los de Cabrera et al., (2000) ya que en su investigación la dosificación 1:4:1 (cemento: suelo: cal) posee el mejor resultado con un valor de 8,57 MPa, siendo tres veces mayor que los resultados obtenidos, esto permite afirmar que depende mucho el tipo de suelo con el que se trabaje. La dosificación 1:4:2 presenta menor resultado en esta investigación con valor de 7,60 MPa, esto puede explicarse que el mortero mixto o bastardo que consta de suelo, cal y cemento pueden lograr altas resistencias iniciales y lo anunciado por Sánchez de Guzmán (2001) que si el contenido de cemento es alto la resistencia a la compresión

será alta, contrariamente si la cantidad de cal es elevado se tendrá menos resistencia y si la dosis de suelo o arena es muy alta se obtendrán resistencias bajas.

Cabe recalcar que no existen resultados del testigo compuesto únicamente por suelo, ya que por tener resistencias depreciables, la maquina empleada para medir la resistencia a la compresión no se pudo obtener dichos valores.

4.3.1.2 Pruebas de erosión en el mortero de revestimiento.

Los resultados de las pruebas de erosión del mortero de revestimiento estabilizado para cada dosificación empleada se presentan en la tabla 25.

Tabla 25. *Resistencia a la erosión del mortero de revestimiento*

Dosificaciones	*D (mm)	Categoría
1:4:1	00	Apto
1:4:2	1	Apto
1:5:1	1	Apto
Testigo	25	No Apto

***D =** Profundidad de las oquedades

El ensayo realizado con la dosificación 1:4:1 de (cemento, suelo, cal) posee un rango de aceptación y presenta las mejores características y es recomendable para la aplicación en paredes de viviendas e infraestructura agropecuaria por no tener presencia de oquedades, erosión física y tampoco desprendimientos del mismo con la presencia del agua ya que la adecuada proporción de sus componentes provoca el aprovechamiento de las características beneficiosas del cemento y la cal.

Figura 33. Ensayo de resistencia a la erosión para la dosificación 1:4:1

Figura 34. Dosificación 1:4:1 (apto) y testigo (no apto)

El testigo sirvió de referente para su comparación y no está dentro de la aceptación para ser aplicado en las viviendas y en las infraestructuras agropecuarias del sector ya que el ensayo tuvo una profundidad de la oquedad de 25_{mm} .

4.3.1.3 Resultado de las pruebas de Adherencia.

La tabla 26 muestra los resultados de los ensayos de adherencia:

Tabla 26. *Tensión de arrancamiento del mortero y tipo de rotura*

Dosificación			**Tipo de rotura *(a-b-c)**	**Tensión de arrancamiento (MPa)**
Cemento	Suelo	Cal		
1	4	1	a/c	0,06031
1	4	2	a/c	0,02002
1	5	1	a/c	0,05255
	Testigo		a	0,04030

***a= Rotura de adherencia**
***b= Rotura de separación**
***c= Rotura de cohesión**

Se pudo obtener que la dosificación 1:4:1 (cemento: suelo: cal), luego del ensayo mediante el método de tracción directa posee el mejor resultado al obtener un valor de tensión de arrancamiento de 0.06031 MPa, y al igual que la investigación de Cabrera et al., (2000) dicha dosificación posee las mejores condiciones de adherencia con un valor de 0,31 MPa, esto se debe a la proporción de cal adecuada ya que aprovecha sus características de adherencia.

De acuerdo con metodología, el mortero estabilizado con la dosificación 1:4:1 se lo clasifica con un tipo de rotura a/c (rotura de adherencia/rotura de cohesión) por producirse el

despegue en la superficie de contacto entre mortero y sustrato como también ocasionar un poco de rotura en el sustrato, siendo la resistencia de unión mayor que el valor de ensayo.

Figura 35. Rotura tipo a/c (rotura de adherencia/rotura de cohesión)

5. CONCLUSIONES

- El suelo es el material natural más utilizado en la fabricación de adobe, tapial y bahareque en los barrios Florencia y San Juan del cantón y provincia de Loja, ubicado al sur del Ecuador, en donde se lo emplea en la construcción de elementos que posteriormente se utiliza en la edificación de viviendas y en la infraestructura agropecuaria.

- En cuanto a la caracterización del suelo, la actividad de la arcilla permitió clasificarla como un suelo caolinítico cuya estructura no es expansiva siendo un aspecto importante y fundamental pues finalmente es la característica o condición que decide su empleo o no en la fabricación de elementos como los morteros o bloques estabilizados.

- Las patologías presentes en las viviendas e infraestructura rural en los barrios Florencia y San Juan, son provocadas habitualmente por la humedad generada por las lluvias y por la falta de enlucidos que protejan a las paredes de la acción directa del agua, el viento y la acción propia del hombre, al igual que la acumulación de organismos vegetales en las cubiertas provocando el deterioro de las estructuras de madera y de las paredes fabricadas a base de suelo.

- La resistencia a la compresión del mortero estabilizado para revestimiento se reduce cuando existe mayor cantidad de cal debido a que su comportamiento disminuye su capacidad de soporte y resistencia al esfuerzo cortante pero posee mejores características de adherencia.

- Todos los ensayos realizados en el mortero estabilizado para determinar la resistencia a la erosión cumplieron los requisitos exigidos en la norma UNE 41410, siendo aptos para emplearlas en construcciones.

- El mejor resultado de las pruebas en laboratorio fue la dosificación 1:4:1, mezcla que garantiza resistencia a la compresión, a la humedad y adecuada adherencia, indicador que

las proporciones indicadas de cemento, suelo y cal son una correctas para la elaboración de mortero estabilizado.

- Al no disponer de otras investigaciones locales sobre el tema planteado, no se puede comparar los resultados obtenidos, que permita una contrastación de los resultados.

6. RECOMENDACIONES

- Al ser el suelo el material más utilizado tanto en viviendas como en la construcción de la infraestructura agropecuaria se debe continuar con más investigaciones, para poder generar alternativas y planes de mejoramiento y mantenimiento de las mismas.

- Al haberse evidenciado en el estudio de las patologías de las construcciones de los barrios Florencia y San Juan, que la falta del recubrimiento o revestimiento del material de las paredes es la que más afecta a la edificación, es indispensable propiciar que los GADs propicien proyectos de mejoramiento y protección de las edificaciones a base de suelo, caso contrario continuará la decadencia en el uso del suelo como material de construcción y continuará la dependencia económica por esta vía.

- Se recomienda que se realicen programas de capacitación por parte de las Universidades quienes son las que generan investigación, para que el sector rural tengan la posibilidad de realizar reparaciones adecuadas en sus edificaciones ya que en este sector predomina las construcciones a base de suelo.

- Las bondades evidentes en el mortero de suelo estabilizado con cal y cemento permiten recomendar su utilización, lo que provocará una adecuada protección de las construcciones realizadas a base de suelo, a más de que facilitará un mejor comportamiento frente a la humedad.

- Se debe continuar con estudios referente al suelo, ya que existe en abundancia y es de bajo costo con la finalidad de buscar de alternativas para utilizarlo como principal materia prima para la fabricación de elementos empleados en la construcción, tanto de viviendas como de infraestructura agropecuaria.

7. BIBLIOGRAFÍA

ALAN, E. (2011). *Que son los materiales para la construcción.* [Blog] De Arkitrutura. Disponible en: http://dearkitectura.blogspot.com/2011/02/que-son-los-materiales-para-la.html [Consultado 12 Mar. 2017].

AROCA, M. (2008). Análisis patológico, constructivo y aplicación del método estratigráfico murario en la fachada norte de la iglesia de Sto. Domingo en Murcia (Arquitectura). Universidad Politécnica de Cartagena.

ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA AIS. (2011). Guía de patologías constructivas, estructurales y no estructurales (3rd ed.). Bogotá. Disponible en http://oicolombia.com.co/upload/pisotecho/Paredes_o_muros/ Patologias_ constructivas /patologias_constructivas.pdf

ASTORGA, A. Y RIVERO, P. (2009). Patologías en las edificaciones (pp. 2-3-42-43). Chacao, Venezuela: Centro de investigación en Gestión integral de Riesgos. Disponible en http://www.chacao.gob.ve/eduriesgo/vulnerabilidad_archivos/04_ patologias _en_las_edificaciones.pdf

BAÑON B, L. F. BEVIÁ.(2000). *Manual de carreteras: Construcción y mantenimiento*. Alicante, Ortiz e hijos, contratista de Obras, S.A. Vol 2

BARRIONUEVO, R. (2011). *Construcciones de adobe en Perú* (1st ed., pp. 2-3). Lima, Perú: Luis Ascencio Chávez. Recuperado de https: //es.scribd.com/ doc/60107136/Construcciones-de-Adobe-en-Peru.

BARRIOS, E. (2008). *Infraestructure and rural development:* Household perceptions on rural development. Progress in Planning. Vol, 70, Issue 1.

BUAINAIN, A.M. (2016). Artículo: *Pobreza rural en América Latina*. Esglobal. 6 septiembre 2016. https://www.esglobal.org/pobreza-rural-en-america-latina/.

BROTO, C. Y MOSTAEDI, A. (2005). *Enciclopedia Broto de patologías de la construcción*. [Barcelona].

CABRERA, J. FERNANDEZ Y GONZALEZ, N. Y BERMUDEZ, S. (2000). Morteros a base de suelos. Caracterización. Revistas CSIC, 50(258), 67-72. Disponible en: http://materconstrucc.revistas.csic.es/index.php/materconstrucc/article/view/411/457

CABRERA, T. Y PLAZA, R. (2014). Propuesta de rehabilitación estructural constructiva para la vivienda de la familia Plaza Aveldaño (Ingeniería civil). Universidad de cuenca.

CALVA, A. (2015). "Determinación de la Resistencia a la Compresión y la Durabilidad del Adobe prensado a máquina para la Construcción de Infraestructura Agropecuaria Rural en la Parroquia Chuquiribamba". Ingeniería Agrícola. Universidad Nacional de Loja.

CARAZAS, W. (2001). *Vivienda urbana popular de adobe en el Cusco* (p. 46). Perú. Disponible en http://unesdoc.unesco.org/images/0012/001229/122941s.pdf

CARDONA, O. (1999). *Manual para la rehabilitación de viviendas construidas en adobe y tapia pisada* (1st ed., p. 9). Colombia: Rafael Arias. Disponible en: https://upload.wikimedia.org/ Wikipedia/commons/9/98/Adobe_sistema_constructivo.pdf.

CASTILLA, F. (2004). *Estabilización de morteros de barro para la protección de muros de tierra*. Doctorado. Universidad Politécnica de Madrid Escuela Técnica Superior de Arquitectura.

CASTILLO, C. (2005). S*elección y calibración de indicadores locales y técnico para evaluar la de gradación de los suelos laderas, en la Microcuenca Cuscamá el Tuma - La Dalia Matagalpa,* 2005 (Ingeniería). Universidad Nacional Agraria, Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente.

CLADERA, A. (2016). *Proceso Constructivo en la Cooperación para el Desarrollo.*

CONSTRUMATICA (2016). *Construcciones de Adobe en la Construcción para el Desarrollo* | Construpedia, enciclopedia construcción. [online] Recuperado de: http://www.construmatica.com/construpedia/Construcciones_de_Adobe_en_la_Construcci%C3%B3n_para_el_Desarrollo [Consultado 28 Sep. 2016].

CUENCA, L. (2013). Construcción industrializada: el suelo como materia prima. Fundacion Dialnet, Revista De Derecho, Empresa Y Sociedad (REDS), 3. http://dx.doi.org/ISSN-e 2340-4647

DUQUE, G., Y ESCOBAR, C. (2002). *Mecánica de suelos,* Manizales. Disponible en http://file:///G:/SUELOSTESIS%20BIBLIOGRAF%C3%8DA/Curso%20Mec%C3%A1nica%20de%20Suelos%20I/DESCRIPCI%C3%93N.htm

FREDERICK, S. MERRITT- JONATHAN T. RICKETTS. (1997). *Manual integral para diseño y construcción,* tomo 1, quinta edición. Santafé de Bogotá, D.C.: Mc Graw Hill, 1997.

GATTI, F. (2012). Arquitectura y construcción en tierra. Estudio comparativo de las técnicas contemporáneas en tierra. Tesina. Universidad Politécnica de Catalunya. http://mastersuniversitaris.upc.edu/tecnologiaarquitectura .

GÓMEZ, J. (2013) *Materiales de Construcción,* Departamento de Ingeniería Civil, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey Campus Monterrey

GONZÁLES, M. (2014). Construcciones de adobe. Perú. Disponible en: https://www.sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2014-09-28_07-20-31110986.pdf

GONZÁLEZ, M. L. (2010). *Evaluación de las propiedades mecánicas de suelos*. Guatemala.

HERNANDEZ,R., FERNÁNDEZ, C., Y BAPTISTA, M. (2010). *Metodología de la investigación.* ISBN 978-607-15-0291-9. Quinta edición, México.

HUEZO, M. H., & MARTINEZ, A. C. (2009). *Guía básica para estabilización de suelos con cal en caminos de baja intensidad vehicular en el salvador.* San Salvador.

JOFRE, I. M. ATIENZA; C. KRAEMER (2008) *Manual de estabilización de suelos con cemento o cal.* Instituto Español del cemento y sus aplicaciones. Madrid, IECA.

KRAEMER, C., J.M. PARDILLO, S. ROCCI, M. ROMANA, V. SANCHEZ, M. A. DELVAL. (2009). *Ingeniería de carreteras*. Madrid, Mcgraw-Hill. Volumen II.

MINKE, G. (2005). *La tierra como material de construcción y su aplicación en la arquitectura actual*. Manual de construcción en Tierra. Ed. Fin de siglo. ISBN: 9974-49-347-1

MONTENEGRO, J. (2011). *Compactación del suelo*. civilgeek.com. [online] Disponible en: http://civilgeeks.com/2011/10/02/la-compactacion-de-suelos/ [Consultado 21 Mar. 2017].

MOYANO, C. & MOYANO, J. (2014). *Patologías en construcciones de adobe y paja*. 1st ed. Senegal, pp.2,3.

MTC (2004). *Estabilización química de suelos* - Caracterización del estabilizador y evaluación de propiedades de comportamiento del suelo mejorado; Norma Técnica de Estabilizadores Químicos Dirección General de Caminos y Ferrocarriles

NARANJO P., V. T. 2011. Las *Características del Suelo de Subrasante de los caminos vecinales de la Comunidad de Echaleche Pilahuín y su Incidencia en el Comportamiento de la Capa de Rodadura.* Tesis Mg. en Vías Terrestres. Ambato, Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ing. Civil y Mecánica.

NAVAS, A., CISNEROS, B., & NOLASCO, B. (2010). *Adobe o barro en crudo* (1st ed., pp. 2-3). Recuperado de https: //es.scribd.com/doc /29401776/ Adobe -o-Barro-en Crudo#download.

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. (1990). *Principios de higiene de la vivienda*. Biblioteca Virtual en Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental

PIETRANTONIO, M. (2012). *Uso del Adobe*: Casas con corazón de barro. Obras y Protagonistas, [online] (209), p.1. Disponible en: http://www.oyp.com.ar/ nueva/revistas/209/1.php?con=2 [Consultado 21 Jun. 2016].

PINTO, V., & RUIZ, S. (2009). *La vivienda rural en el Ecuador desafíos para procesos sustentables e incluyentes* (1st ed., pp. 3,5). Quito- Ecuador. Disponible en: http://www.flacsoandes.edu.ec /libros/digital/42929.pdf

QUINTANA C., E. (2005). *Relación entre las propiedades geotécnicas y los componentes puzolánicos de los sedimentos pampeanos.* Tesis Doctoral. Cordoba, Universidad Nacional de Cordoba, Fac. de Cs. Exactas, Físicas y naturales.

RAMÍREZ GARCÍA, F. (2009). *El adobe* (2nd ed., p. 163-165). Perú. Recuperado de https://es.scribd.com/doc/13158836/el-adobe

ROJAS, J. (2005). *Problemas Patológicos Presentados en Fachadas de ladrillo a la vista tipo Catalán en la Ciudad de Medellín* (Trabajo dirigido de Grado como requisito parcial para optar el título de "Arquitecto Constructor"). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Arquitectura Escuela de Construcción Medellín.

SÁNCHEZ DE GUZMÁN, DIEGO. (2001). *Tecnología del concreto y mortero.* Santa Fé de Bogotá. D.C.-Colombia: Bhandar Editores Ltda.

SOLMINIHAC, H.; G. ECHEVERRIA; G. THENOUX. (1989). *Estabilización química de suelos:* Aplicación en la construcción de estructuras de pavimentos. Revista ingeniería de construcción. (6):53-88

TAMAYO Y TAMAYO, M. (2009). *El proceso de la investigación científica*. 4th ed. México: Limusa, p.46-47.

TORRES MERINO, H. F. (2006). *Manual de ensayos normalizados de mecánica de suelo I*. Quito, Ecuador.

JUNTA DE INVESTIGACIÓN EN EL TRANSPORTE. (1987). *Estabilización de Calor-Reacciones, Propiedades, Diseño y Construcción.* Washington TRB. Volumen 5, 59p

URIEL, A. (1983). Patología dé las cimentaciones. Consejo Superior De Investigaciones Científicas, 35(350). http://dx.doi.org/http://dx.doi.org/10.3989/ic.1983.v35.i350

VILLALAZ, C. (2004). *Mecánica de suelos y cimentaciones* (5th ed., pp. 46, 70, 76, 77, 78, 80, 81, 90). México: Limusa.

VALAREZO ( ) *El suelo como recurso básico para el crecimiento de las plantas: elementos sobregénesis, meneralogia, características fisicoquímicas y de fertilidad.*

WEST. G (1959). *Investigación de laboratorio sobre los efectos del tiempo transcurrido después del mezclado en la compactación y la resistencia del suelo-cemento*. Geotecnia.

8. ANEXOS

ANEXO A: REGISTRO FOTOGRÁFICO

INFRAESTRUCTURA AGROPECUARIA EXISTENTE EN LOS BARRIOS FLORENCIA Y SAN JUAN

Fotografía A-1. Cuyero de madera, infestado de plantas hospederas, que deterioran su estructura.

Fotografía A-2. Cuyero con paredes de adobe y cubierta de teja de arcilla cocida.

Fotografía A-3. Cuyero de bahareque, con cubierta de zinc.

Fotografía A-4. Cuyero de adobe, que se encuentra adosado a la vivienda.

Fotografía A-5. Gallinero con paredes de madera y cubierta de teja de arcilla cocida.

Fotografía A-6. Gallinero de madera, con teja de cubierta de teja de arcilla cocida.

Fotografía A-7. Gallinero de madera a punto de caerse, por su mala ubicación

Fotografía A-8. Gallinero de madera, con cubierta de zinc.

Fotografía A-9. Porqueriza de madera, en condiciones deficitarias.

Fotografía A-10. Porqueriza construida con paredes de madera y carrizo

Fotografía A-11. Porqueriza de madera, con cubierta de zinc.

Fotografía A-12. Micro invernadero, ubicado junto a la vivienda.

TIPO DE VIVIENDAS EXISTENTES EN LOS BARRIOS FLORENCIA Y SAN JUAN

Fotografía A-13. Vivienda de adobe sin recubrimiento y teja de arcilla cocida.

Fotografía A-14. Vivienda de adobe, con paredes Sin revestimiento, en la que se ha aplicado una capa de pintura.

Fotografía A-15. Vivienda de adobe con recubrimiento de cemento que se encuentra en buen estado.

Fotografía A-16. Vivienda de adobe con paredes posteriores sin revestir.

Fotografía A-17. Vivienda de tapial sin revestimiento y cubierta de teja de arcilla cocida.

Fotografía A-18. Vivienda de tapial con revestimiento vertical.

Fotografía A-19. Vivienda de bahareque sin revestimiento en donde se observa las cadenas de amarre con vigas de madera sobre cimiento de, piedra que forman la estructura de soporte

Fotografía A-20. Vivienda de bahareque con paredes desprotegidas y cubierta de teja de arcilla cocida, en donde se observa oquedades por el desprendimiento del suelo por la falta de revestimiento

Fotografía A-21. Vivienda de ladrillo cocida sin revestimiento

Fotografía A-22. Vivienda con paredes de ladrillo con revestimiento de mortero de cemento.

PATOLOGÍAS EVIDENCIADAS EN LA VIVIENDAS DE LOS BARRIOS FLORENCIA Y SAN JUAN

PATOLOGÍAS POR DEFECTO:

Son aquellas relacionadas con las características intrínsecas de la estructura, son los efectos que surgen en la edificación producto de un mal diseño, una errada configuración estructural, una construcción mal elaborada, o un empleo de materiales deficientes o inapropiados para la obra. Como se muestran en las siguientes fotografías.

Fotografía A-23. Materiales deficientes

Fotografía A-24. Mal diseño

Fotografía A-25. Materiales Deficientes

Fotografía A-26. Errada configuración estructural

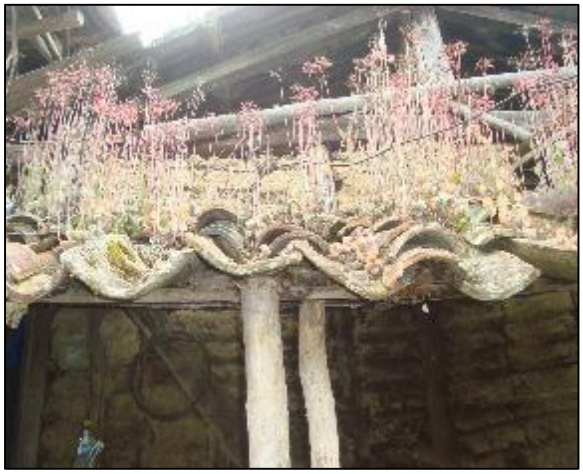
PATOLOGÍAS POR DAÑOS:

Son las que se manifiestan durante y/o luego de la incidencia de una fuerza o agente externo a la edificación. Los daños pueden ser producto de la ocurrencia de un evento natural, como por: sismo, inundación o derrumbe, entre otros, pero también pueden aparecer averías en las estructuras causados por el uso inadecuado de las mismas. Como se puede evidenciar en las siguientes fotografías.

Fotografía A-27. Inadecuada cimentación

Fotografía A-28. Inadecuada cimentación

Fotografía A-29. Sobrepeso en la cubierta



Fotografía A-30. Sobrepeso en la cubierta

PÀTOLOGIAS POR DETERIORO:

La exposición al medio ambiente, los ciclos continuos de lluvia y sol, el contacto con sustancias químicas presentes en el agua, en el aire y en el entorno hacen que la estructura se debilite continuamente. Por esta razón, es de vital importancia para las edificaciones un adecuado y permanente mantenimiento que ayuda a prevenir el deterioro normal e inevitable causado por el tiempo. Como se puede observar en las siguientes fotografías.

Fotografía A-31. Presencia de hongos

Fotografía A-32. Presencia de hongos

Foto A-33. Erosión física

Foto A-34. Erosión física

Foto A-35. Presencia de humedad

Foto A-36. Presencia de humedad

PROCESO CONSTRUCTIVO DEL ADOBE:

Fotografía A-37: Limpieza del terreno

Fotografía A-38: Toma de muestra de suelo y para La preparación de la mezcla para el adobe.

Fotografía A-39: Medir la dosificación

Fotografía A-40: Batido de la mezcla de suelo, paja y Agua.

Fotografía A-41: Elaboración de los adobes

Fotografía A-42: Elaboración de los adobes

CARACTERIZACIÓN DEL SUELO Y ENSAYOS DE LABORATORIO:

Fotografía A-43: Ensayo de granulometría Mediante el Hidrómetro

Fotografía A-44: Ensayo de granulometría por lavado.

Fotografía A-45: Ensayo para determinar el límite líquido

Fotografía A-46: Ensayo para determinar el límite plástico

Fotografía A-47: Ensayo para determinar la densidad del suelo mediante Proctor.

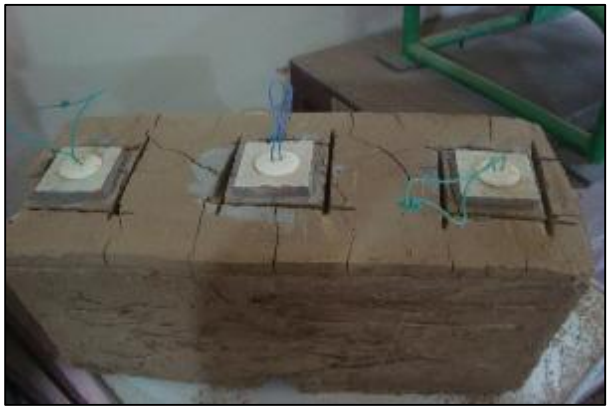
Fotografía A-48: Ensayo para determinar el límite de contracción.

Fotografía A-49: Desarrollo del ensayo de resistencia a la compresión simple de los adobes

Fotografía A-50: Desarrollo del ensayo de resistencia a la compresión simple del mortero estabilizado.

Fotografía A-51: Desarrollo del ensayo de resistencia a la erosión del adobe

Fotografía A-52: Desarrollo del ensayo de resistencia a la erosión del mortero estabilizado.



Fotografía A-53: preparación para el ensayo de adherencia para mortero estabilizado.

Fotografía A-54: Desarrollo del ensayo de adherencia para mortero estabilizado.

ANEXO B*: SISTEMAS DE CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS*

Cuadro B.1: *Sistema de clasificación ASSHTO*

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos pasa por el tamiz Nº 200							Materiales limoso arcilloso (más del 35% pasa el tamiz Nº 200)			
Grupo:	A-1		A-3								A-7
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7	A-4	A-5	A-6	A-7-5 A-7-6
Porcentaje que pasa: Nº 10 (2mm) Nº 40 (0,425mm) Nº 200 (0,075mm)	 50 máx 30 máx 15 máx	 - 50 máx 25 máx	 - 51 mín 10 máx	 - - 35 máx				 - - 36 min			
Características de la fracción que pasa por el tamiz Nº 40 Límite líquido Indice de plasticidad	 - 6 máx		 - NP (1)	 40 máx 10 máx	 41 mín 10 máx	 40 máx 11 mín	 41 mín 11 mín	 40 máx 10 máx	 41 mín 10 máx	 40 máx 11 mín	 41 mín (2) 11 mín
Constituyentes principales	Fracmentos de roca, grava y arena		Arena fina	Grava y arena arcillosa o limosa				Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Características como subgrado	Excelente a bueno							Pobre a malo			

(1): No plástico

(2): El índice de plasticidad del subgrupo A-7-5 es igual o menor al LL menos 30

El índice de plasticidad del subgrupo A-7-6 es mayor que LL menos 30

Índice de grupo:

$$IG = (F - 35)\cdot[0{,}2 + 0{,}005\cdot(LL - 40)] + 0{,}01\cdot(F - 15)\cdot(IP - 10)$$

Siendo:

F: % que pasa el tamiz ASTM nº 200.

LL: límite líquido.

IP: índice de plasticidad.

El índice de grupo para los suelos de los subgrupos A-2-6 y A-2-7 se calcula usando sólo: $IG = 0{,}01\cdot(F - 15)\cdot(IP - 10)$

Cuadro B.2: *Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)*

DIVISIONES PRINCIPALES			Símbolos del grupo	NOMBRES TÍPICOS	IDENTIFICACIÓN DE LABORATORIO		
SUELOS DE GRANO GRUESO	**GRAVAS**	**Gravas límpias**	**GW**	Gravas, bien graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos.	Determinar porcentaje de grava y arena en la curva granulométrica. Según el porcentaje de finos (fracción inferior al tamiz número 200). Los suelos de grano grueso se clasifican como sigue:	$Cu=D_{60}/D_{10}>4$ $Cc=(D30)^2/D_{10}xD_{60}$ entre 1 y 3	
		(sin o con pocos finos)	**GP**	Gravas mal graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos.		No cumplen con las especificaciones de granulometría para GW.	
	Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por el tamiz número 4 (4,76 mm)	**Gravas con finos**	**GM**	Gravas limosas, mezclas grava-arena-limo.		Límites de Atterberg debajo de la línea A o IP<4.	Encima de línea A con IP entre 4 y 7 son casos límite que requieren doble símbolo.
		(apreciable cantidad de finos)	**GC**	Gravas arcillosas, mezclas grava-arena-arcilla.		Límites de Atterberg sobre la línea A con IP>7.	
	ARENAS	**Arenas límpias**	**SW**	Arenas bien graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.	<5%->GW,GP,SW,SP. >12%->GM,GC,SM,SC. 5 al 12%->casos límite que requieren usar doble símbolo.	$Cu=D_{60}/D_{10}>6$ $Cc=(D30)^2/D_{10}xD_{60}$ entre 1 y 3	
		(pocos o sin finos)	**SP**	Arenas mal graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.		Cuando no se cumplen simultáneamente las condiciones para SW.	
Más de la mitad del material retenido en el tamiz número 200	Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por el tamiz número 4 (4,76 mm)	**Arenas con finos**	**SM**	Arenas limosas, mezclas de arena y limo.		Límites de Atterberg debajo de la línea A o IP<4.	Los límites situados en la zona rayada con IP entre 4 y 7 son casos intermedios que precisan
		(apreciable cantidad de finos)	**SC**	Arenas arcillosas, mezclas arena-arcilla.		Límites de Atterberg sobre la línea A con IP>7.	
SUELOS DE GRANO FINO	**Limos y arcillas:**		**ML**	Limos inorgánicos y arenas muy finas, limos límpios, arenas finas, limosas o arcillosa, o limos arcillosos con ligera plásticidad.			
			CL	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas.			
	Límite líquido menor de 50		**OL**	Limos orgánicos y arcillas orgánicas limosas de baja plasticidad.			
	Limos y arcillas:		**MH**	Limos inorgánicos, suelos arenosos finos o limosos con mica o diatomeas, limos elásticos.			
			CH	Arcillas inorgánicas de plasticidad alta.			
Más de la mitad del material pasa por el tamiz número 200	Límite líquido mayor de 50		**OH**	Arcillas orgánicas de plasticidad media a elevada; limos orgánicos.			
Suelos muy orgánicos			**PT**	Turba y otros suelos de alto contenido orgánico.			

ANEXO C: ***BASE DE DATOS DE LOS PROPIETARIOS DE LAS VIVIENDAS EXISTENTES EN LOS BARRIOS FLORENCIA Y SAN JUAN.***

BARRIO	ARC GIS	COD.	PROPIETARIO
BARRIO FLORENCIA	0	1	DIEGO GUALÀN
	1	2	ROSARIO CEVALLOS
	2	3	ANIBAL CEVALLOS
	3	4	LUCIA MORA
	4	5	FLORENTINO CHUNCHO
	5	6	ABEL CONTENTO
	6	7	CARMEN ORDÒNEZ
	7	8	AGUSTÌN CONTENTO
	8	9	JORGE SARMIENTO
	9	10	GUIDO GUIRACOCHA
	10	11	ANGEL CABRERA
	11	12	MANUEL GUIRACOCHA
	12	13	ROSARIO CEVALLOS
	13	14	NORMA GUALÀN
	14	15	MANUEL GUALÀN
	15	16	LUCIA GUALÀN
	16	17	SEGUNDO GRANDA
	17	18	ENMA ARMIJOS
	18	19	VILADINO ARMIJOS
	19	20	FRANCISCO SINCHIRE
	20	21	MIREYA VALVERDE
	21	22	LAURA GUIRACOCHA
	22	23	BOLIVAR CHUNCHO
	23	24	ANTONIO CEVALLOS
	24	25	MANUEL CEVALOS
	25	26	SERGIO CEVALLOS
	26	27	FRANCO CEVALLOS
	27	28	HUMBERTO RAMÒN
	28	29	SALVADOR CONTENTO
	29	30	SALVADOR CONTENTO
	30	31	LUCIA CEVALLOS
	31	32	SERGIO CEVALLOS
	32	33	IGLESIA DE FLORENCIA
	33	34	CASA COMUNAL FLORENCIA
	34	35	PEDRO VALVERDE
	35	36	MANUEL SACA
	36	37	MEDARDO VALVERDE

	37	38	EDISON CEVALLOS
	38	39	VICENTE CEVALLOS
	39	40	FRANCISCO MACAO
	40	41	JORGE VALVERDE
	41	42	ALBERTO ARÈVALO
	42	43	VICENTE CEVALLOS
	43	44	STEVEN CEVALLOS
	44	45	LUIS VALVERDE
	45	46	LAURA GUIRACOCHA
	46	47	ISABEL PUGLLA
	47	48	WALTER SILVA
	48	49	ELVA GRANDA
	49	50	OSWALDO GRANDA
	50	51	CARMEN LÒPEZ
	51	52	SERAFÌN LÒPEZ
	52	53	CASA COMUNAL
	53	54	JOSÈ MARÌA LÒPEZ
	54	55	MANUEL LÒPEZ
	55	56	ROSARIO LÒPEZ
BARRIO SAN JUAN	0	57	VICTOR CASTRO
	1	58	REGINA FIERRO
	2	59	REGINA FIERRO
	3	60	LUIS FIERRO
	4	61	FAUSTO GRANDA
	5	62	PEDRO GRANDA
	6	63	SEGUNDO LÒPEZ
	7	64	LUIS FIERRO
	8	65	HECTOR MONTAÑO
	9	66	ALBA VEINTIMILLA
	10	67	DORA ARMIJOS
	11	68	MANUEL ARMIJOS
	12	69	PAUL GRANDA
	13	70	ALEJANDRINA PUGA
	14	71	MAURO BENITEZ
	15	72	CELIA GONZALEZ
	16	73	ALBA VEINTIMILLA
	17	74	LUIS CUENCA
	18	75	GEOVANNY CUENCA
	19	76	POLIVIO CHÀVEZ
	20	77	ROSARIO GRANDA
	21	78	ROSA GRANDA

	22	79	JHOANA GRANDA
	23	80	MANUEL GRANDA
	24	81	IGLESIA SAN JUAN
	25	82	CASA COMUNAL SAN JUAN
	26	83	RODRIGO GRANDA
	27	84	JOSE ESTEBAN GRANDA
	28	85	JUDITH GRANDA
	29	86	GERÒNIMO GRANDA
	30	87	FELIPE GRANDA
	31	88	OBANDO TAPIA
	32	89	JUANA GUALÀN
	33	90	MANUEL LÒPEZ
	34	91	CARLOS LÒPEZ
	35	92	BENIGNO RAMÒN
	36	93	LASTENIA ZÙÑIGA
	37	94	GUILMER JARAMILLO
	38	95	ALEJANDRINA LÒPEZ
Número y Nombre del dueño de la vivienda entrevistada.			

ANEXO D. *ENSAYOS DE MECÁNICA DE SUELOS*

Cuadro D1. *Granulometría por tamizado del suelo de estudio*

Tamiz INEN (ASTM)	Masa retenida parcial (g)	Masa retenida acumulada (g)	% Retenido	% Que pasa
850 µm (Nº 20)	10,80	10,80	1,80	98,20
600 µm (Nº 30)	7,30	18,10	3,02	96,98
425 µm (Nº 40)	83,80	101,90	16,98	83,02
75 µm (Nº 200)	61,20	163,10	27,18	72,82
Pasa 75 µm	436,90	600,00	100,00	0,00
TOTAL	**600,00**			

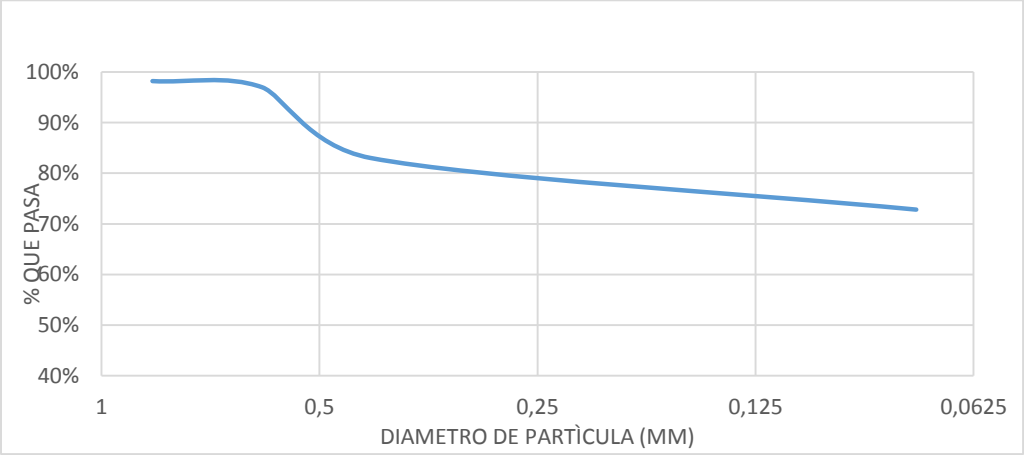


Figura D1: Curva Granulométrica del suelo

Cuadro D2. *Granulometría por método del hidrómetro del suelo en estudio*

TIEMPO	TIEMPO (min)	D (mm)	% que pasa	% Retenido.	Tipo de Partícula
0 min	0,1	0,1262	91,467	8,533	Arena
1 min	1	0,0411	85,467	6,00	Arena
2 min	2	0,0302	76,80	8,67	Limo
5 min	5	0,0202	62,80	14,00	Limo
15 min	15	0,0123	48,13	14,67	Limo
30 min	30	0,0089	40,80	7,33	Limo
60 min	60	0,0064	36,13	4,67	Limo
120 min	120	0,0045	32,80	3,33	Limo
250 min	250	0,0032	28,93	3,87	Arcilla
24 Horas	1440	0,0014	25,73	3,20	Arcilla
PORCENTAJES DE MATERIAL					
Arena		Limo		Arcilla	
14,53		52,67		32,80	

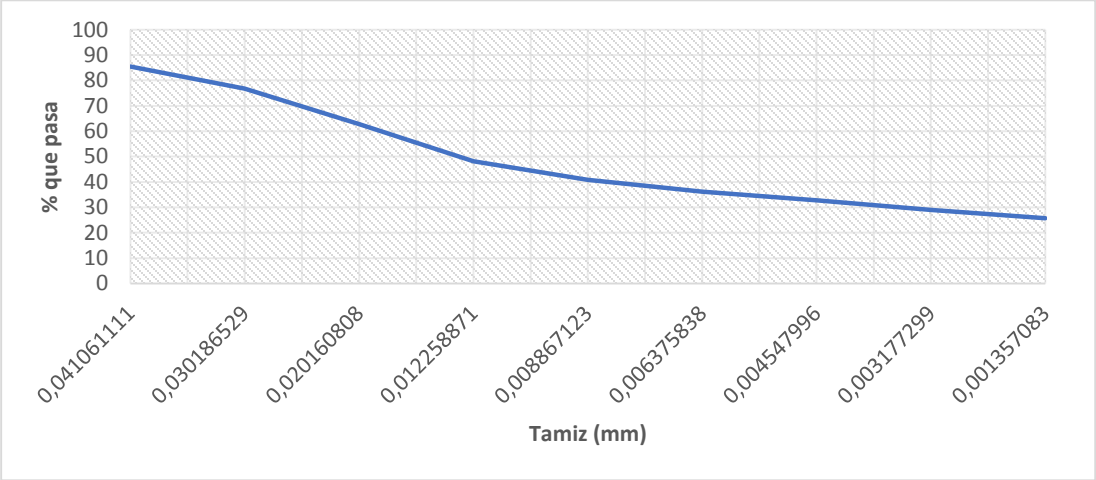


Figura D2: Curva Granulométrica del pasante del Tamiz N° 200

ANEXO E: *ENSAYO DE CONTRACCION LINEAL*

Para la ejecución de este ensayo se basó en la metodología usada por Villalaz (2014).

a. Con la misma pasta usada en la determinación del límite líquido por el método directo de los 25 golpes se llena un molde de 4 cm x 4cm x 60cm, haciendo el llenado en tres capas y golpeando el molde duramente para expulsar el aire atrapado. Teniendo el molde lleno se enrasa y se deja al aire libre un buen rato para que se seque un poco y después se mete al horno para un secado a peso constante.
b. Estando el material seco, se extrae de la barra y se mide su longitud (L2).
c. La relación entre la longitud que se contrajo (L1 – L2) y la longitud original (L1) de la barra del suelo húmeda y multiplicada por 100 da el porcentaje de contracción o contracción lineal del suelo. Usar Ecuación 11.

ANEXO F: ***CARACTERÍSTICAS DEL ADHESIVO SIKADUR®- 32 PRIMER N***

Denominación	Detalle
Estado	Liquido – denso
Cumple la norma	ASTM C-881
Toxicidad	Ninguna
Inflamable	Si
Aspecto	Liquido - denso color gris (mezcla A+B)
Viscosidad	Similar al aceite pesado
Proporción de mescla en peso	A:B – 2:1

Fuente: https://ecu.sika.com/dms/getdocument.get/d166eaef-9c50-365c-8c55-5e9685dbbf1e/Sikadur_ 32_Primer_N_PDS.pdf

9. APÉNDICES

APÉNDICE A. *MODELO DE ENTREVISTA*

PROYECTO DE TESIS: "PATOLOGÍAS DE LAS CONSTRUCCIONES DE ADOBE Y FABRICACIÓN DE MORTERO DE ALBAÑILERÍA PARA REPARACIÓN, EN LOS BARRIOS FLORENCIA Y SAN JUÁN DEL CANTÓN Y PROVINCIA DE LOJA"

Tesista: Pablo Alejandro Arévalo Ramón
Fecha de la encuesta: _ _ _ _ _de _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ de 2017
Nombre de persona entrevistada:_ _

A. INFRAESTRUCTURA DISPONIBLE

1. Ubicación de la vivienda

Coordenadas: Norte_ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ m ; **Este_** _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ m **Altitud:** _ _ _ _ _ _ _ m.s.n.m
Área estimada de la vivienda: Años de construida_ _ _ _ _ _ Largo: _ _ _ _m. Ancho: _ __ _m. Orientación: _ _ _

2. Material predominante en estructura:

Madera ☐ Paredes soportantes ☐ Estructura de H.A. ☐ Acero ☐

3. Material predominante en paredes:

Ladrillo ☐ Piedra ☐ Madera ☐ Bloque ☐ Adobe ☐ Otros ☐

4. Materiales predominante en cubierta

Teja ☐ Zinc ☐ Asbesto ☐ Losa ☐ Otros ☐

5. Material predominante en pisos

Tierra ☐ Madera ☐ Hormigón ☐ Otros ☐ Material del sobrepiso: _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _

6. La vivienda ha sido objeto de mantenimiento: SI ☐ NO ☐ Cuántas veces:

Quien realizó el trabajo: _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ Cuánto costó: _ _ _ _ _ _ _ _ _

7. Infraestructura agropecuaria

A más de la vivienda dispone de otras construcciones para las actividades agrícolas o pecuarias

SI ☐ NO ☐

Coordenadas: Norte_ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ m ; **Este_** _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ m **Altitud:** _ _ _ _ _ _ _ m.s.n.m
Cuales son las construcciones que dispone: _

7.1. Material predominante en estructura:

Madera ☐ Paredes soportantes ☐ Estructura de H.A. ☐ Acero ☐

7.2. Material predominante en paredes:

Ladrillo ☐ Piedra ☐ Madera ☐ Bloque ☐ Adobe ☐ Otros ☐

7.3. Materiales predominantes en cubierta

Teja ☐ Zinc ☐ Asbesto ☐ Losa ☐ Otros ☐

7.4. Material predominante en pisos

Tierra ☐ Madera ☐ Hormigón ☐ Otros ☐ Material del sobrepiso: _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _

7.5. La vivienda ha sido objeto de mantenimiento: SI ☐ NO ☐ Cuántas veces:

Quien realizó el trabajo: _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ Cuánto costó: _ _ _ _ _ _ _ _ _

B. PATOLOGÍAS CONSTRUCTIVAS DE LA VIVIENDA

1. Existen patologías por:

Defecto: ☐ Daños: ☐ Deterioro: ☐

2. Existe presencia de humedad en la infraestructura:

SI ☐ NO ☐

En qué elementos se presenta: _

Causas: _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _

3. Existe la presencia de erosión física en la infraestructura:

SI ☐ NO ☐

En qué elementos se presenta: _ _ _