

**CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y MECÁNICA DE SUELOS
RESIDUALES UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE ECOVIVIENDAS CON
TECNOLOGÍAS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE GIRÓN (SANTANDER)**

**MARÍA CATALINA NIÑO VILLAMIZAR
VANESSA CAROLINA SPINOSI ARAQUE**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA**

2011

**CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y MECÁNICA DE SUELOS
RESIDUALES UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE ECOVIVIENDAS CON
TECNOLOGÍAS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE GIRÓN (SANTANDER)**

**MARÍA CATALINA NIÑO VILLAMIZAR
VANESSA CAROLINA SPINOSI ARAQUE**

**Trabajo de grado presentado como requisito para obtener el título de
GEÓLOGO**

Director:

**Carlos Alberto Ríos Reyes
Geólogo PhD en Ciencias Aplicadas**

Codirector:

**Reinaldo Sandoval Silva
Ingeniero Civil**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA**

2011

*A Dios, a mi Padre y a mi Madre que siempre han estado apoyándome, corrigiéndome y sobre todo brindándome esa mano amiga que siempre esta incondicionalmente, a los que admiro mucho por toda la dedicación y amor que me han dado. A mi hermana melliza **Julita** por todas las cosas que hemos pasado juntas, a mis otras hermanas **Claudia** y **Silvia** por ayudarme a cumplir cada una de mis metas y a mi hermano **Diego** que con sus comentarios me ha hecho crecer.*

*A mi mejor amiga **Vane**, a quien quiero mucho y es aquella personita con quien pase los últimos momentos de mi vida universitaria trabajando fuertemente para cumplir una de nuestras grandes metas.*

*A mi gran amiga **Pao** que siempre ah pasado buenos y malos momentos conmigo, una personita difícil de encontrar y sobre todo una excelente compañía.*

*A mi mejor amigo **Dieguito** con el que compartí toda mi carrera y siempre ah estado ahí dándome su amistad.*

*A mis amigos **Dani** y **Poncho** con los que he pasado momentos inigualables dando como resultado una excelente amistad. A mis amiguitas **Eli**, **Jackie**, **Dianita**, **Karoll**, **Pao D**, **Adri** Y **Konichi** las tontis con las que siempre sonreí y viví momentos alegres. A **Erich**, **Heber**, **Gabo**, **Alvarito** y **Yesid** con los que siempre he podido contar siendo unos maravillosos amigos. A **Erika E** por su apoyo incondicional.*

En fin a toda mi Familia y mis demás amigos que compartieron conmigo mi vida y mi carrera universitaria muchas gracias a todos.

Cata Niño

*A **Dios**, por iluminarme en el camino de la vida, bendecirme con su sabiduría y enseñarme a perseverar a pesar de las adversidades.*

*A mi **Mami**, a quien le dedico este título, por ser el motor de mi vida, por encomendarme en cada una de sus oraciones, encaminar rebeldías, perdonar errores, compartir sueños y celebrar logros, porque todo lo que soy te lo debo a ti.*

*A los dos angelitos que me cuidan desde el cielo, mi **Nonito** y mi **Tío Jorge**, por ser mucho más que una figura paterna, por guiarme durante este largo camino y bendecirme desde arriba para poder cumplir todos mis sueños.*

*A mi **Nonita**, por estar presente en cada instante de mi vida alcahueteando caprichos, que hicieron de ella la combinación perfecta entre ternura y sabiduría; a mis **Tías Carmen, Leo y Emilse**, a mi **Tío Jairo**, y a mis **Primos** por estar a mi lado desde siempre, por sus consejos y enseñanzas, y por brindarme afecto y momentos de alegría inolvidables.*

*A mi compañera de proyecto y amiga **Cata**, por tantos instantes que quedaran en nuestra memoria, por su amistad y en especial por el logro que hoy alcanzamos y a **Pao**, por estar incondicionalmente a mi lado, por su compañía, apoyo y su amistad... A las dos por ser las mejores amigas y cómplices que me ha regalado la vida.*

*A todos mis amigos, los de siempre **Caro, Wendy, Margareth, Migue** y **Dieguis**, y los que conocí en este proceso, en especial a **Erika, Eli, Jackie, Sandra, Alfonso, Dani, Cami**, y **Gabo**... ¡A todos! Por estar de una u otra forma a mi lado, por llorar con mis tristezas, reír con mis alegrías y enseñarme que no existe riqueza más grande que su amistad.*

*A **Jairo** y **Olga**, por hacerme ver siempre las cosas desde otro punto de vista, pero sobre todo por iluminar y bendecir mi vida con el tesoro más hermoso, mi ahijadita **María Lucia**.*

*A **Luis Francisco**, por la fortuna de habernos cruzado en el camino, por estos casi 4 años de apoyo incondicional, por ser mucho más que una mano amiga y un ejemplo a seguir, por su paciencia, comprensión y todo su amor.*

Vane Spínosi

AGRADECIMIENTOS

A la **Universidad Industrial de Santander**, en especial a la **Escuela de Geología**, por la excelente formación académica y personal recibida a lo largo de la carrera.

A nuestro Director de Proyecto, el **Profesor Carlos Ríos**, y a nuestro Codirector, **Reinaldo Sandoval**, por todo los aportes que nos brindaron, el tiempo que nos dedicaron y los conocimientos que nos transmitieron para la elaboración de este libro, y a nuestros calificadores, los **Profesores Ricardo Cruz y Diego Ibáñez**, por sus aportes y sugerencias.

A la ladrillera **ERGO Duran y García L.T.D.A.**, por abrirnos las puertas de su empresa, a **Don Augusto y Martín**, quienes siempre nos facilitaron el material utilizado brindándonos su colaboración para el desarrollo del proyecto.

A **Jairo Araque y Serafín Bueno**, por acogernos con paciencia y dedicación durante tantos días y por brindarnos sus conocimientos en la elaboración de adobes.

A el Laboratorista de Geología **Lucho Garrido**, a los de Ingeniería Civil, **Jairo Hernández, Jaime Cadena y Germán Hernández**, y al Laboratorista de Química **Don Adolfo**, quienes participaron en las diferentes pruebas que realizamos para la caracterización del material y en la interpretación de ellas.

A el grupo técnico de la Escuela de Geología, por la paciencia y la colaboración, en especial a **Yecenia Cadena y Tatiana Romero**.

A nuestros amigos **Pacho, Alex, Rafa, Henry, Fernando, Leo...** y los que se nos escapa nombrar, quienes de una u otra manera nos colaboraron en las diferentes fases del proyecto, esperamos contar con ustedes siempre.

A nuestras familias, **Niño Villamizar y Araque Gutiérrez**, porque sin su amor, sacrificio y dedicación, nada de esto sería posible.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	24
1. OBJETIVOS	26
1.1 OBJETIVO GENERAL	26
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	26
2. ANTECEDENTES	28
3. GENERALIDADES DEL ÁREA DE ESTUDIO	34
3.1 LADRILLERA ERGO DURÁN Y GARCÍA LTDA.	34
4. MARCO TEÓRICO	40
4.1 ECOVIVIENDAS	40
4.2 GENERALIDADES DE LA CONSTRUCCIÓN CON ADOBE	42
4.2.1 Adobe	43
4.2.1.1 Reconocimiento del suelo para fabricar Adobes	44
4.2.1.2 Fabricación de Adobes	46
4.2.2 Componentes del Adobe	50
4.2.2.1 Arcilla	50
4.2.2.2 Limo	51
4.2.2.3 Arena	51
4.2.3 Materiales para modificar el Adobe	52
4.2.3.1 Estabilizantes	52
5. METODOLOGÍA	54
5.1 FASE DE REVISIÓN Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO	54
5.2 FASE DE CAMPO	54
5.3 FASE DE PREPARACIÓN DE MATERIAS PRIMAS	55

5.3.1 Secado natural	55
5.3.2 Trituración del material	56
5.3.3 Mezcla y cuarteo del material	57
5.4 FASE DE CARACTERIZACIÓN	57
5.4.1 Análisis granulométrico	59
5.4.2 Límites de Atterberg	61
5.4.2.1 Límite líquido (LL)	61
5.4.2.2 Límite plástico (LP)	63
5.4.2.3 Índice de plasticidad (%)	63
5.4.3 Descripción de muestras	65
5.4.4 Difracción de Rayos X (DRX)	66
5.4.5 Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier (IRTF)	67
5.5 FASE DE PREPARACIÓN DE BTCs	68
5.5.1 Prueba de sedimentación	69
5.5.2 CINVA – RAM	70
5.5.3 Estabilizantes	70
5.5.3.1 Cáscara de yuca	71
5.5.3.2 Ceniza	71
5.5.4 Mezclas elaboradas	72
5.5.4.1 Mezcla 1 (100% materia prima)	74
5.5.4.2 Mezcla 2 (95% materia prima + 5% ceniza)	75
5.5.4.3 Mezcla 3 (95% materia prima + 5% cáscara de yuca)	77
5.5.4.4 Mezcla 4 (90% materia prima + 8% ceniza + 2% cáscara yuca)	79
5.5.4.5 Mezcla 5 (90% materia prima + 10% ceniza)	80
5.6 FASE DE PRUEBAS DE RESISTENCIA	83
5.7 FASE DE INTEGRACIÓN DE INFORMACIÓN E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	83

5.8 FASE DE ELABORACIÓN DEL INFORME FINAL	84
6. CONTEXTUALIZACIÓN GEOLÓGICA	85
6.1 ESTRATIGRAFÍA REGIONAL	85
6.1.1 Depósitos Cuaternarios	85
6.1.1.1 Formación Bucaramanga	86
6.1.1.1.1 Miembro Órgano (Qbo)	88
6.1.1.1.2 Miembro Finos (Qbf)	89
6.1.1.1.3 Miembro Gravoso (Qbg)	90
6.1.1.1.4 Miembro Limos Rojos (Qblr)	91
6.1.1.2 Depósitos Aluviales	92
6.1.1.3 Depósitos Coluviales	92
7. RESULTADOS	96
7.1 ESTRATIGRAFÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO	96
7.2 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	107
7.3 LÍMITES DE ATTERBERG	110
7.4 DESCRIPCIÓN DE MUESTRAS	112
7.5 DIFRACCIÓN DE RAYOS X (DRX)	118
7.6 ESPECTROSCOPIA INFRAROJA POR TRANSFORMADA DE FOURIER (IRTF)	123
7.7 PRUEBA DE ABSORCIÓN	125
7.7.1 Mezcla 1 (100% materia prima)	125
7.7.2 Mezcla 2 (95% materia prima + 5% ceniza)	126
7.7.3 Mezcla 3 (95% materia prima + 5% cáscara de yuca)	127
7.7.4 Mezcla 4 (90% materia prima + 8% ceniza + 2% cáscara de yuca)	127
7.7.5 Mezcla 5 (90% materia prima + 10% ceniza)	128
7.8 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN	131
7.8.1 Mezcla 1 (100% materia prima)	133

7.8.2 Mezcla 2 (95% materia prima + 5% ceniza)	133
7.8.3 Mezcla 3 (95% materia prima + 5% cáscara de yuca)	134
7.8.4 Mezcla 4 (90% materia prima + 8% ceniza + 2% cáscara yuca)	135
7.8.5 Mezcla 5 (90% materia prima + 10% ceniza)	136
7.9 PRUEBA DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	138
7.9.1 Mezcla 1 (100% materia prima)	141
7.9.2 Mezcla 2 (95% materia prima + 5% ceniza)	143
7.9.3 Mezcla 3 (95% materia prima + 5% cáscara de yuca)	145
7.9.4 Mezcla 4 (90% materia prima + 8% ceniza + 2% cáscara yuca)	147
7.9.5 Mezcla 5 (90% materia prima + 10% ceniza)	149
CONCLUSIONES	153
BIBLIOGRAFÍA	155
ANEXOS	160

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Dimensiones de los ladrillos, Ladrillera ERGO Durán y García Ltda.	37
Tabla 2. Tamaño de grano de Wentworth (1992; en: Folk 1974).	53
Tabla 3. Características promedio de los adobes de 100% materia prima.	74
Tabla 4. Características promedio de los adobes de 95% materia prima + 5% ceniza.	76
Tabla 5. Características promedio de los adobes de 95% materia prima + 5% cáscara de yuca.	79
Tabla 6. Características promedio de los adobes de 90% materia prima + 8% ceniza + 2% cascara de yuca.	79
Tabla 7. Características promedio de los adobes de 90% materia prima + 10% ceniza.	81
Tabla 8. Análisis granulométrico por tamizado.	107
Tabla 9. Análisis granulométrico por hidrometría.	108
Tabla 10. Fases minerales de las muestras.	118
Tabla 11. Ensayo de absorción para adobes de mezcla 1.	125
Tabla 12. Ensayo de absorción para adobes de mezcla 2.	126
Tabla 13. Ensayo de absorción para adobes de mezcla 3.	127
Tabla 14. Ensayo de absorción para adobes de mezcla 4.	128
Tabla 15. Ensayo de absorción para adobes de mezcla 5.	129
Tabla 16. Ensayo de flexión para adobes de mezcla 1.	133
Tabla 17. Ensayo de flexión para adobes de mezcla 2.	134
Tabla 18. Ensayo de flexión para adobes de mezcla 3.	135
Tabla 19. Ensayo de flexión para adobes de mezcla 4.	136
Tabla 20. Ensayo de flexión para adobes de mezcla 5.	137

Tabla 21. Ensayo de compresión para adobes de mezcla 1.	141
Tabla 22. Ensayo de compresión para adobes de mezcla 2.	143
Tabla 23. Ensayo de compresión para adobes de mezcla 3.	145
Tabla 24. Ensayo de compresión para adobes de mezcla 4.	147
Tabla 25. Ensayo de compresión para adobes de mezcla 5.	149

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Ubicación geográfica regional del área de estudio sobre mapa DEM (Digital Elevation Model) de Colombia	35
Figura 2. Ubicación de la Ladrillera ERGO Durán y García Ltda., y su vía de acceso.	36
Figura 3. Ladrillera ERGO Durán y García Ltda	38
Figura 4. Evolución de las Ecoviviendas construidas con adobe	41
Figura 5. Pasos de la prueba de sedimentación.	44
Figura 6. Pasos de la prueba de plasticidad.	45
Figura 7. Ilustración prueba de resistencia.	46
Figura 8. Preparación del material para la fabricación de adobe.	47
Figura 9. Prensa manual CINVA – RAM.	48
Figura 10. Proceso de secado y almacenamiento de los adobes.	49
Figura 11. Adobe con grietas o deformaciones.	49
Figura 12. Fotografía de secado del material	56
Figura 13. (a) y (b) Trituradora de Mandíbulas BB 200 RETSCH. (c) Diferencia entre la materia prima inicial y la materia prima triturada.	56
Figura 14. Mezcla y cuarteo del material	58
Figura 15. Tamizador Mecánico RO - TAP.	59
Figura 16. Tamices	60
Figura 17. (a) Hexametáfosfato de sodio. (b) 40 gramos de reactivo. (c) Dilución en agua destilada. (d) 50 gramos pasa tamiz 200. (e) Mezcla de componentes y reactivos. (f) Hidrómetro.	62
Figura 18. Ensayo límite líquido	64

Figura 19. Ensayo límite plástico	65
Figura 20. Lupa Microscópica NIKON Inc	66
Figura 21. Diferentes aspectos durante la preparación de los adobes.	68
Figura 22. Prueba de sedimentación	69
Figura 23. (a), (b) y (c) CINVA – RAM.	70
Figura 24. (a) y (b) Cáscara de yuca cortada en fragmentos.	71
Figura 25. (a) Ceniza tomada de la ladrillera. (b) Ceniza tamizada y retenida en la Malla No 10. (c) Malla No 20. (d) Malla No 40. (e) Malla No 60. (f) Malla No 100. (g) Malla No 200. (h) Pasa Malla No 200. (i) Ceniza tamizada recolectada	73
Figura 26. Dimensiones de las unidades de adobe resultantes.	73
Figura 27. (a) Materia prima en la CINVA – RAM	75
Figura 28. (a) y (b) Mezcla del material. (c) Adobes resultantes. (d) Adobes después de 4 horas de su elaboración. (e) Después de 5 días de curado. (f), (g), (h), (i) Después de 28 días de curado	77
Figura 29. (a) Yuca tratada. (b) Adobe resultante. (c) y (d) Adobes después de 4 horas de su elaboración. (e) Después de 5 días de curado. (f), (g), (h), (i) Después de 28 días de curado	78
Figura 30. (a), (b) y (c) Mezcla del material. (d) Adobes después de 4 horas de su elaboración. (e) Después de 5 días de curado. (f), (g), (h), (i) Después de 28 días de curado	80
Figura 31. (a), (b) y (c) Mezcla del material. (d) Adobes después de 4 horas de su elaboración. (e) Después de 5 días de curado. (f), (g), (h), (i) Después de 28 días de curado	82
Figura 32. Mapa geológico regional del área de estudio.	86
Figura 33. Mapa de zonificación geotécnica, donde se resaltan las principales fallas.	95

Figura 34. Panorámica de los cinco primeros segmentos aflorantes al Oeste del área de estudio.	97
Figura 35. (a) Contacto entre segmento 1 y 2. (b) Contacto inferior y superior del segmento 2. (c) Contacto inferior y superior del segmento 3. (d) Segmento 4. (e) Contacto entre los segmentos 4 y 5	100
Figura 36. Panorámica de los segmentos 6, 7 y 8 aflorantes al Este del área de estudio	101
Figura 37. (a) Contacto entre los segmentos 6 y 7. (b) Contacto entre los segmentos 7 y 8 aflorantes al Este del área de estudio	102
Figura 38. (a) Contacto entre los segmentos 7 y 8 aflorantes al Oeste de la zona de estudio. (b) Segmento 9.	103
Figura 39. Afloramiento de los segmentos 7 al 13 aflorantes al Oeste del área de estudio.	104
Figura 40. (a) Contacto entre los segmentos 9 y 10. (b) Contacto entre los segmentos 11 y 12. (c) Detalle segmentos 11 y 12. (d) Contactos entre segmentos 11, 12 y 13	105
Figura 41. Columna estratigráfica del sector Ladrillera ERGO Durán y García Ltda.	106
Figura 42. Curva granulométrica.	109
Figura 43. Límites de Atterberg.	111
Figura 44. Formato descripción de muestras, página 1, muestra VC-001-S4.	113
Figura 45. Formato descripción muestras, página 2, muestra VC-001-S4.	114
Figura 46. Formato descripción muestras, página 1, muestra VC-002-S1.	115
Figura 47. Formato descripción muestras, página 2, muestra VC-002-S1.	116
Figura 48. Fotografía muestra VC-59.	117
Figura 49. Fotografía muestra VC-68.	117
Figura 49. Análisis DRX para la muestra arenosa.	120

Figura 50. Análisis DRX para la muestra arcillosa.	121
Figura 51. Análisis DRX para la muestra mezcla arena + arcilla.	122
Figura 52. Análisis IRFT para la muestra.	124
Figura 54. Adobes sometidos a prueba de absorción. (a) Mezcla 1. (b) Mezcla 2. (c) Mezcla 3. (d) Mezcla 4. (e) Mezcla 5.	130
Figura 55. Adobes sometidos a prueba de flexión. (a) Mezcla 1. (b) Mezcla 2. (c) Mezcla 3. (d) Mezcla 4. (e) Mezcla 5.	132
Figura 56. Adobes sometidos a prueba de compresión, vista lateral. (a) Mezcla 1. (b) Mezcla 2. (c) Mezcla 3. (d) Mezcla 4. (e) Mezcla 5	139
Figura 57. Adobes sometidos a prueba de compresión, vista frontal. (a) Mezcla 1. (b) Mezcla 2. (c) Mezcla 3. (d) Mezcla 4. (e) Mezcla 5.	140

LISTA DE GRÁFICAS

	Pág.
Gráfica 1. Ensayo de Compresión Vs. Deformación para la mezcla 1.	141
Gráfica 2. Ensayo de Esfuerzo Vs. Deformación Unitaria para la mezcla 1.	142
Gráfica 3. Ensayo de Compresión Vs. Deformación para la mezcla 2.	143
Gráfica 4. Ensayo de Esfuerzo Vs. Deformación Unitaria para la mezcla 2.	144
Gráfica 5. Ensayo de Compresión Vs. Deformación para la mezcla 3.	145
Gráfica 6. Ensayo de Esfuerzo Vs. Deformación Unitaria para la mezcla 3.	146
Gráfica 7. Ensayo de Compresión Vs. Deformación para la mezcla 4.	147
Gráfica 8. Ensayo de Esfuerzo Vs. Deformación Unitaria para la mezcla 4.	148
Gráfica 9. Ensayo de Compresión Vs. Deformación para la mezcla 5.	149
Gráfica 10. Ensayo de Esfuerzo Vs. Deformación Unitaria para la mezcla 5.	150
Gráfica 11. Ensayo de Esfuerzo Vs. Deformación Unitaria para todas las mezclas.	151

LISTA DE ANEXOS

Pág.

Anexo A. Informe pruebas de resistencia a la compresión, flexión y absorción 161

RESUMEN

TITULO: “CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y MECÁNICA DE SUELOS RESIDUALES UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE ECOVIVIENDAS CON TECNOLOGÍAS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE GIRÓN (SANTANDER).”*

AUTORES: MARIA CATALINA NIÑO VILLAMIZAR
VANESSA CAROLINA SPINOSI ARAQUE**

Palabras Claves: Ecovivienda, Adobe, Estabilizante, Arcilla, Arena.

DESCRIPCIÓN

Se realizó una caracterización fisicoquímica y mecánica de los suelos residuales de un sector del Miembro Finos (Qbf) de la Formación Bucaramanga mediante la preparación de mezclas estabilizadas utilizadas en la elaboración de adobes prensados para la construcción de Ecoviviendas.

La Formación Bucaramanga, está compuesta por un conjunto de materiales sedimentarios, constituidos por segmentos de arenas finas y muy finas, intercaladas con capas de arcillas y conglomerados, que fueron muestreados a partir del levantamiento de una columna estratigráfica que permitió identificar los niveles productivos para la elaboración de adobes prensados. Mediante ensayos de IRTF, DRX, Granulometría y Límites de Atterberg se determinó la mineralogía, elementos estructurales y caracterización fisicoquímica de la materia prima; para proceder a la elaboración de 90 adobes prensados, estabilizados con cáscara de yuca y ceniza residual del horno de la Ladrillera ERGO Durán y García Ltda., curados a temperatura ambiente en un lapso de 28 días. A cada unidad de adobe se le realizaron ensayos de compresión, flexión y absorción, para analizar y comparar el comportamiento físico mecánico de las unidades estructurales preparadas y definir la mezcla que garantice las mejores características.

Se logró establecer mediante estos ensayos, que para lograr mezclas que mejoren las características iniciales de los adobes sin estabilizar, se deben emplear cantidades menores o iguales al 5% de ceniza en su composición, y de igual forma, que la cáscara de yuca secada de manera natural, mejora notablemente las falencias que presentan los adobes en la absorción de líquidos y humedad.

* Trabajo de Grado.

** Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Geología. Director: Carlos Alberto Ríos Reyes, Geólogo PhD en Ciencias Aplicadas; Codirector: Reinaldo Sandoval Silva, Ingeniero Civil

SUMMARY

TITLE: “PHYSICOCHEMICAL CHARACTERIZATION AND RESIDUAL SOIL MECHANICS USED IN ECO-HOUSING CONSTRUCTION WITH SUSTAINABLE TECHNOLOGY IN THE GIRÓN (SANTANDER) MUNICIPALITY”*

AUTHORS: MARIA CATALINA NIÑO VILAMIZAR
VANESSA CAROLINA SPINOSI ARAQUE**

KEYWORDS: Eco-housing, stabilizing, clay, sand.

DESCRIPTION

A physicochemical and mechanic characterization has been made to residual soil from a fine member sector (Qbf) of Bucaramanga Formation by the stabilizing mix preparation used in the pressed adobe elaboration for eco-housing construction.

The Bucaramanga Formation, is composed of a set of sedimentary material, consisting of segments of fine sand, and very fine, interspersed with clays and conglomerates layers, that was sampled based on a stratigraphic column lifting that allowed to identify the productive levels for the pressed adobe elaboration. By IRTF, DRX, granulometry test, and Atterberg limits the mineralogy, structural elements, and physicochemical characterization of raw material was determined; to proceed with the elaboration of 90 pressed adobe, stabilized with yucca’s shell and residual ashes from the brick’s factory ERGO Duran y Garcia Ltda., and cured to room temperature in a 28 days lapse. Compression, flexion and absorption tests were made to each adobe unit, to analyze and compare the physical mechanic behavior of the structural units prepared, and to define the mix to ensure the best features.

It has been achieved by these essays, that in order to get mixtures that improve the unstabilized adobe initial qualities, smaller amounts or less than 5% of ashes in their composition must be used, and in the same way, that the yucca’s shell dried naturally, significantly reduced the shortcomings that the adobe shows in the liquid and humidity absorption .

* Work of Grade.

** Ability of Physical-chemical Engineerings. School of Geology. Director: Carlos Alberto Ríos Reyes, Geologist PhD in Applied Sciences; Co-director: Reinaldo Sandoval Silva, Civil Engineer

INTRODUCCIÓN

En el marco del proyecto “Caracterización fisicoquímica y mecánica de suelos residuales utilizados en la construcción de Ecoviviendas con tecnologías sostenibles en el Municipio de Girón (Santander)” realizado en convenio con la Ladrillera ERGO Durán y García Ltda., se busca implementar nuevas tecnologías para la fabricación de ladrillos a través de la elaboración de adobes con mezclas estabilizadas.

Los adobes son empleados en la construcción de Ecoviviendas como un material de bajo costo, que contiene proporciones adecuadas de arena, arcilla y agua; con el fin de mitigar problemas ambientales, enfocados en viviendas sensibles con su entorno durante su vida útil. Sin embargo, suelen presentar algunas falencias, que han sido mejoradas por medio de estabilizantes que optimizan las características iniciales del material.

Para llevar a cabo lo anterior se debe partir de la identificación del material por medio del levantamiento de una columna estratigráfica a escala 1:100, sobre un sector de la Formación Bucaramanga, en el Municipio de Girón, y seguidamente recolectar del frente de explotación, la materia prima necesaria para realizar ensayos cualitativos a los niveles arcillosos y arenosos, que arrojen la presencia de los minerales más abundantes y característicos en la muestra.

Además, análisis granulométricos por tamizado e hidrometría, que establecen los porcentajes de arena, arcilla y limo; ensayos que establecen los índices líquidos y plásticos y el índice de plasticidad, para caracterizar de esta manera el tipo de suelo al que pertenece el material.

Los adobes elaborados, son prensados por medio de una bloquera denominada CINVA-RAM y estabilizados por medio de cáscara de yuca y ceniza residual de los hornos de la Ladrillera ERGO Durán y García Ltda., utilizando dosificaciones diferentes, y siguiendo un proceso de curado de 28 días, expuestos sobre un ambiente natural, para luego ser sometidos, a pruebas de absorción, compresión y flexión, que permiten establecer sus características principales y los parámetros mejorados con respecto a los adobes sin estabilizante.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar una caracterización fisicoquímica y mecánica de los suelos residuales de la Formación Bucaramanga presentes en el frente de explotación de la Ladrillera ERGO Durán y García Ltda., mediante la preparación de mezclas estabilizadas, utilizadas en la elaboración de adobes prensados para la construcción de Ecoviviendas.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un levantamiento estratigráfico del frente de explotación de la Ladrillera ERGO Durán y García Ltda., que permita identificar los niveles productivos para la elaboración de adobes prensados.
- Efectuar una caracterización de la materia prima utilizada para la elaboración de los adobes prensados.
- Analizar el comportamiento de los adobes prensados compuestos únicamente por la materia prima extraída.
- Estudiar el comportamiento de los adobes prensados, al ser estabilizados con dosificaciones diferentes de cáscara de yuca y ceniza residual extraída de la ladrillera.

- Analizar y comparar el comportamiento físico mecánico de las unidades estructurales preparadas, y definir la mezcla que garantice las mejores características.

2. ANTECEDENTES

El empleo de las rocas y suelos como fuente de materiales para construcción tuvo inicio desde tiempos ancestrales; siendo este tipo de materiales la materia prima para la edificación de las primeras construcciones y obras civiles de la humanidad; su utilización continúa siendo, hoy día, muy común en varias partes del mundo.

Según Yamín *et al.* (2007), el adobe también definido como masa de barro mezclada con otros componentes, es uno de los materiales más antiguos usados en la construcción desde hace miles de años. Se ha hallado evidencia arqueológica que sugiere la existencia de ciudades construidas enteramente en adobe: Jericó, AtalHuyuk en Turquía, Harappa en Pakistán, Akhlet-Aton en Egipto, Chan-Chan en Perú, Babilonia en Iraq, Duheros en España, entre otras; todas con dimensiones muy variables que responden tanto a tradición como a criterios constructivos.

Rodríguez y Saroza (2006), en su publicación de La Muralla de Jericó en Palestina, constituyeron la primera evidencia de construcción con ladrillos de barro secados al sol, con una edad de 9.000 años a.C., de la cual aún quedan restos. Los egipcios fueron quienes usaron este material, las paredes de sus viviendas estaban formadas por ladrillos planos y pequeños hechos mediante hojarasca, mezcladas con arcilla y secados al sol. Estas paredes podían estar revestidas con cal para su protección y mejorar la apariencia de la construcción. También en Mesopotamia los templos más antiguos fueron construidos con adobe, siendo esta civilización la que invento la caja de molde en el tercer milenio a.C. Otros ejemplos lo constituyen la ciudad de Atenas que, tres siglos a.C., fue creciendo a los pies de la Acrópolis con la aparición de densos barrios construidos con adobe, y la gran Muralla China que construida en el siglo III d.C., está formada por varios tramos de adobe.

Houben y Guillard (1994), hacen referencia sobre el adobe que ha sido considerado por décadas como uno de los materiales de construcción de uso más difundido, siendo muy común en algunas de las regiones más propensas a desastres del mundo, tradicionalmente en América Latina y el Caribe, África, el subcontinente de India y otras partes de Asia, el Oriente Medio y el Sur de Europa. Los gobiernos en estas regiones han buscado permanentemente modelos que les permitan mejorar las condiciones de vida de las poblaciones más desfavorecidas, así como optimizar el entorno de sus ciudades de forma sostenible.

Oti *et al.*, (2009), publicaron que desde el pasado, la arcilla ha sido un material de construcción tradicional, especialmente en regiones rurales. Estos materiales han tenido diversas presentaciones. Debido a su carácter básico, bajo costo, buenas propiedades térmicas y acústicas, la arcilla puede ser reutilizada luego de su vida útil (en una obra), mediante molienda del material, secado o regreso al suelo sin ninguna interferencia con el medio ambiente. Sin embargo la principal deficiencia de la arcilla no estabilizada es su susceptibilidad al daño causado por el agua. Este problema en la actualidad es superado mediante la estabilización de este material con adición de pequeñas cantidades de cal, incrementando de esta manera muchas de las propiedades geotécnicas y produciendo un material de construcción mejorado.

Menéndez y Ardila (2006), documentan que en América Latina y el Caribe, buscaban constantemente modelos que les permitan mejorar las condiciones de vida de las poblaciones más desfavorecidas, así como optimizar el entorno de sus ciudades de forma sostenible. En Argentina, el sector privado junto con las entidades gubernamentales locales, han adelantado este tipo de proyectos de vivienda para la población indígena de El Chalfá (ubicada en la Meseta Patagónica). Las viviendas fueron construidas utilizando como materia prima el adobe estabilizado.

A lo largo de los años se han venido encontrando técnicas que buscan mejorar las características de los adobes, entre ellas, el uso de aditivos y estabilizantes que dependiendo de su dosificación y composición, muestran resultados favorables para la fabricación de ellos. A continuación se hace una síntesis de algunos estudios realizados durante la última década, cuyos métodos sirvieron como base para el desarrollo de esta investigación:

Según Neville (2010), indica que el uso de materiales cementantes en las construcciones, ha sido utilizando a través del tiempo por diferentes civilizaciones. Desde los egipcios, con el yeso impuro calcinado, los griegos y los romanos con la caliza calcinada quienes posteriormente mezclaron cal con agua, arena y piedras trituradas o ladrillo y tejas quebradas, siendo este el primer mortero hecho en la historia, y debido a que este no se endurece bajo el agua; dificulta el fraguado de obras construidas en estas condiciones. Los romanos decidieron buscar una solución, mezclando cal con ceniza volcánica o con tejas de arcilla, quemada, finamente trituradas. La sílice activa y la alúmina encontrada en las cenizas y las tejas, se combinaba con cal para producir lo que se conoce como cemento puzolánico.

Rivera y Muñoz (2005), realizaron en su publicación una caracterización fisicoquímica y mecánica de los materiales fuente de la mampostería, adobe y tapia pisada empleados en la rehabilitación de la capilla doctrinera de Tausa Vieja, municipio de Tausa (Cundinamarca). Estos autores determinan que el contenido de humedad natural es bajo, el contenido de materia orgánica es consistente con la cantidad aceptable y el análisis de la composición granulométrica, revela la presencia de arcillas inorgánicas de baja plasticidad, destacándose el contenido de sílice y aluminio.

Malavé *et al.* (2006), muestran como a los muros de adobes, se les realizaron ensayos de durabilidad, simulando condiciones similares a las de un ambiente

marino. Los resultados revelan que la corrosión es de moderada a alta, lo que indica que en este tipo materiales, no es apropiado para su utilización en ambientes altamente corrosivos y de alta salinidad.

Galíndez (2007), realizó pruebas en BTCs, elaborados con tierras areno-arcillosas de mediana plasticidad, sin adición de cemento, compactados e impermeabilizados con aceite usado de vehículos. Los resultados indican que estos materiales constituyen un mampuesto confiable para la construcción.

Morales (2007), demuestra como el adobe compactado presenta mejores características mecánicas que el adobe tradicional. La adición del cemento tipo Portland como estabilizante en los adobes compactados, contribuye a mejorar notablemente las características mecánicas.

Boscarello *et al.* (2009), sometieron a diferentes ensayos BTCs, elaborados con suelos estabilizados con cemento Portland, cal y escoria. Los resultados revelan que los BTCs, elaborados con adición de estabilizantes, registraron resistencias a la compresión aceptables, mayores que aquellas obtenidas sin adición del estabilizante.

Rodríguez *et al.* (2006), estudiaron la composición que debe tener el adobe, tanto simple como estabilizado, como material de construcción, estableciendo la composición ideal del adobe como materia prima para elaboración de materiales para construcción, usando como aditivo caña de azúcar, con cal hidratada, miel de caña, una combinación de ambos y asfalto AVE 200 como estabilizantes. Los resultados indican que la mezcla ideal para la preparación del adobe se obtuvo utilizando un 25% de caña de azúcar y 2% de asfalto AVE 200.

Caballero y Martínez (2009), determinan las cantidades óptimas de estabilizante (cemento Portland) para mejorar la resistencia de los BTCs. Los mejores

resultados fueron obtenidos cuando el contenido de finos era alto, mientras que se observó que la adición de cemento Portland no mejoró sustancialmente su resistencia a la compresión.

Montes (2009), estudia el uso de fibra de bagazo de agave, para la fabricación de adobe compactado, con el objeto de mejorar el comportamiento del adobe compactado, cuando es sometido a esfuerzos de flexión y compresión para incrementar su resistencia.

Flórez y López (2010), realizaron ensayos en adobes empleando aditivos tales como: Materiales de emulsión asfáltica, fique y cal, con el fin de evaluar la calidad de los adobes. Los resultados revelan que la mezcla de emulsión asfáltica, fique, y cal, produjo menor resistencia a la compresión que la obtenida sin el uso de aditivos. No obstante, el fique es el que mayor ventaja presenta, ya que mejora la resistencia a la compresión del adobe, en un 25% aproximadamente. Estos autores determinaron igualmente que no es aconsejable la utilización de cal hidratada como estabilizante, ya que presenta un descenso significativo en la resistencia a la compresión, comparada con la resistencia obtenida con fique.

Rodríguez *et al.* (2006), en su estudio publican que si se desea preparar adobe estabilizado con asfalto RC-250 o RC2 de caminos, es un material muy adhesivo e impermeable que se almacena a temperatura ambiente. Un inconveniente para el empleo del asfalto es su costo.

Montes (2009), desarrolló un trabajo en el cual concluye que la paja reduce efectivamente las contracciones debidas al secado, al aire libre de los adobes y mejora su adherencia con otros materiales. La paja puede ser de: arroz, trigo, gras común, bagazo de caña e ichu; en algunos lugares se usa guano, crines y productos similares. Es recomendable utilizar paja picada en trozos de 10 cm, de preferencia, en un porcentaje de alrededor 1% en peso.

Flórez y López (2010), investigaron en su trabajo de grado que las cañas en estado seco adquieren gran dureza, muchas veces superior a varios tipos de madera, como estabilizante deben ser utilizadas cuando están maduras, secas y cosechadas en la época adecuada. La caña cortada antes de su madurez se contrae excesivamente en el proceso de secado y tiene poca durabilidad, siendo fácilmente atacable por hongos e insectos xilófagos. Un punto que es conveniente tener en cuenta, es su tendencia a absorber agua durante el asentado de los adobes y consecuentemente a hincharse; posteriormente cuando el muro ha sido terminado, reduce su volumen al secarse, pudiendo ocasionar su separación del mortero, reduciendo su adherencia.

Apori (1994), investigo en Ghana (África), el análisis bioquímico, realizado después del secado a las cáscaras de yuca y plátano, revela un incremento significativo de materia seca, fibra, lignina y compuestos nitrogenados. El secado sólo afecta la calidad de estos productos en términos de energía de la materia orgánica.

Arias *et al.* (2003), analizaron el efecto del agua en función del tiempo, en probetas suelo-cemento comprimido, adicionándole material hidrófugo como estabilizante; indicando que cuando se les incorpora dicho aditivo, reduce considerablemente la cantidad de agua absorbida y reduce el nivel de deformación de las probetas paralelamente.

Egusquiza (2007), elaboró pruebas de laboratorio que determinaron que la cáscara de yuca sumergida en agua, se rehidrata, absorbiendo hasta un 160% de su peso, y la cáscara de yuca, seca absorbe en promedio 120% de su peso; concluyendo que la cáscara seca de yuca es el modelo de estructura que debe ser replicado para obtener un producto que absorba agua apropiada para diversos usos industriales.

3. GENERALIDADES DEL ÁREA DE ESTUDIO

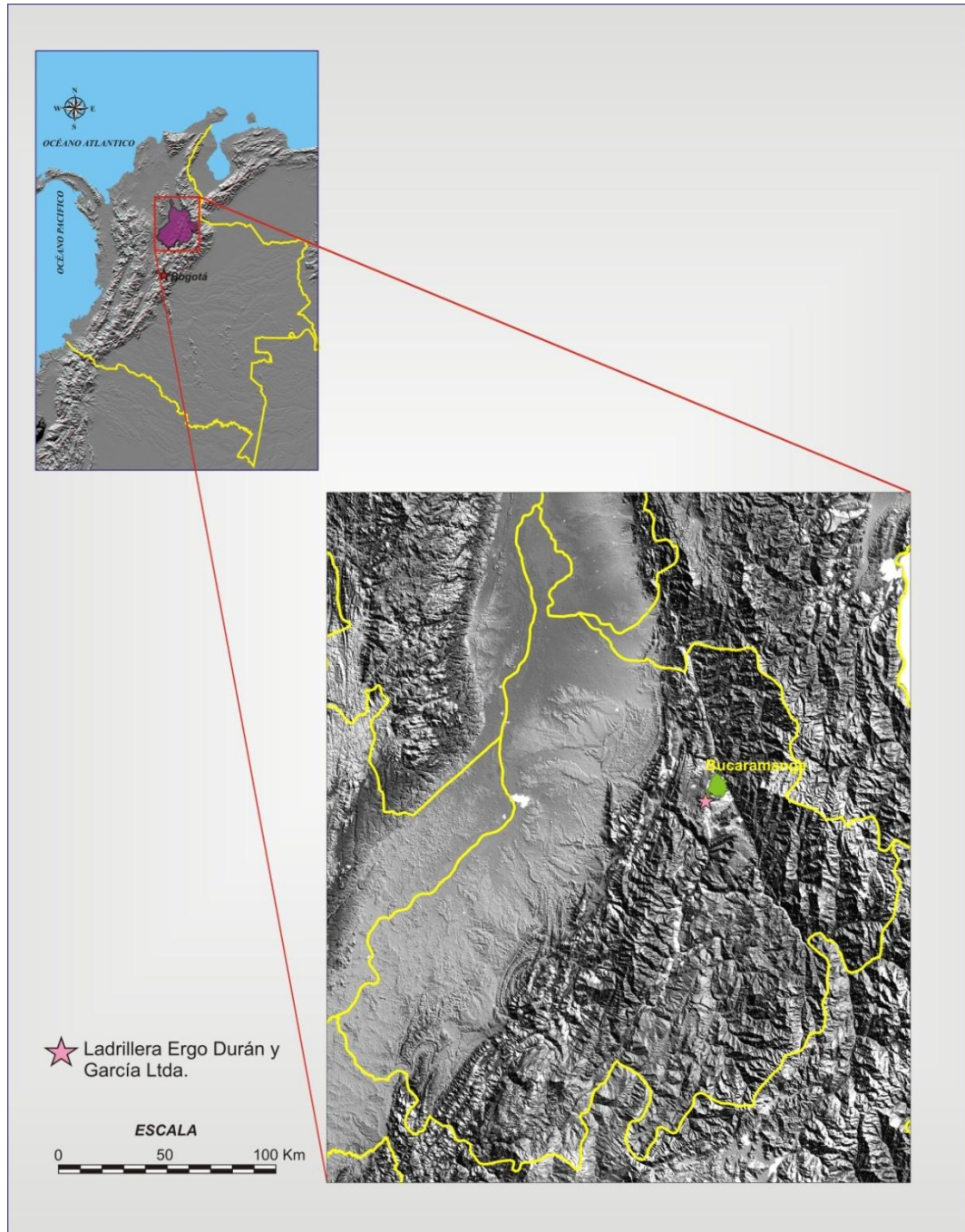
Las materias primas utilizadas en la preparación de los BTCs fueron recolectadas en la Ladrillera ERGO Durán y García Ltda., la cual está ubicada en el costado Suroccidental del área urbana del municipio de Girón (departamento de Santander), (Figura 1). Este municipio se encuentra localizado sobre el costado Occidental de la Cordillera Oriental, presenta una extensión total de 475.14 km², y limita al Norte con Lebrija y Rionegro; al Sur con los Municipios de Los Santos, Zapatoca y Betulia; al Este con los Municipios de Bucaramanga, Floridablanca y Piedecuesta y al Oeste con Sabana de Torres. La cabecera municipal de Girón se encuentra ubicada a una altura de 777 msnm, el clima es cálido, con una temperatura promedio de 24.5°C.

La Ladrillera ERGO Durán y García Ltda., está localizada sobre la vía antigua que comunica a Girón con Zapatoca, pasando tres esquinas y el desvío que comunica a Girón con la Vereda Lagunetas, aproximadamente a dos kilómetros y medio, (Figura 2).

3.1 LADRILLERA ERGO DURÁN Y GARCÍA LTDA.

En la ladrillera ERGO Durán y García Ltda., se fabrican diferentes tipos de ladrillos basados en variaciones de tamaño, denominados como: H7, H10, H12 y H15; siendo sus dimensiones en largo x ancho x alto respectivamente, (Tabla 1).

Figura 1. Ubicación geográfica regional del área de estudio sobre mapa DEM (Digital Elevation Model) de Colombia.



Fuente: Tomada y modificada de <http://srtm.csi.cgiar.org/>

Figura 2. Ubicación de la Ladrillera ERGO Durán y García Ltda., y su vía de acceso.



Fuente: Tomado de Google Earth.

Tabla 1. Dimensiones de los ladrillos, Ladrillera ERGO Durán y García Ltda.

LADRILLO	LARGO (cm)	ANCHO (cm)	ALTO (cm)
H7	30	7	20
H10	30	10	20
H12	30	12	20
H15	30	15	20

Fuente: Autores.

Su diferencia radica en dos aspectos: en el cambio de su ancho y en que el H7 consta de tres huecos, mientras que los demás tienen seis. La materia prima extraída del frente de explotación de la ladrillera, compuesta por arena y arcilla, es considerada como el material principal para la fabricación de los ladrillos.

Dentro del proceso de preparación de ladrillos se llevan a cabo una serie de etapas las cuales se describen a continuación, (Figura 3). (1) Las materias primas extraídas del frente de explotación son vaciadas en una tolva que separa material conglomerático, raíces u otros elementos que puedan afectar la calidad del producto a obtener. (2) El material seleccionado es desprendido a través de unas bandas transportadoras que lo llevan a unos sinfines que seleccionan nuevamente el material, y a unos laminadores que lo trituran, para finalmente llegar a la amasadora donde se analiza la cantidad de agua que se le debe inyectar por aspersion o por goteo. (3) El material llega a la máquina extrusora Bonfanti, donde el ladrillo crudo sale cortado. (4) En la fase de extendido en los patios, los ladrillos crudos se agrupan en no más de seis hiladas. (5) Alrededor de dos a cuatro días, dependiendo del estado climático, se pasan al proceso de encasille o secado, donde se agrupan en filas de hasta nueve hiladas, de tres a cuatro días

Figura 3. Ladrillera ERGO Durán y García Ltda. (a) Recolección de materia prima. (b) Tolva que separa el material. (c) Bandas transportadoras. (d) Máquina extrusora. (e) Proceso de almacenamiento en patios. (f) Proceso de encasillado. (g) Carga de horno. (h) Carga de horno en sentido de las manecillas del reloj. (i) Horno tipo Hoffman. (j) Horno tipo Hoffman cargado. (k) Acoplamiento de ladrillos. (l) Carga de ladrillos para su transporte.



Fuente: Ladrillera ERGO Durán y García Ltda.

Aproximadamente. (6) La siguiente fase consiste en la quema en el horno, donde se endaga o se carga el horno, teniendo en cuenta que no todo el material es óptimo. Este horno es de tipo Hoffman, de cielo abierto, se encuentra ubicado en un hueco que se carga en el sentido de las manecillas del reloj y a fuego constante. El horno trabaja a temperaturas entre 800° y 900°C, con carbón mineral molido y aire. El ladrillo en el horno dura un tiempo estimado mínimo de cuatro días, en donde va de un precalentamiento a calentamiento y posteriormente a la quema. (7) Finalmente, los ladrillos se llevan por bandas transportadoras y se montan en el medio donde se van a transportar.

4. MARCO TEÓRICO

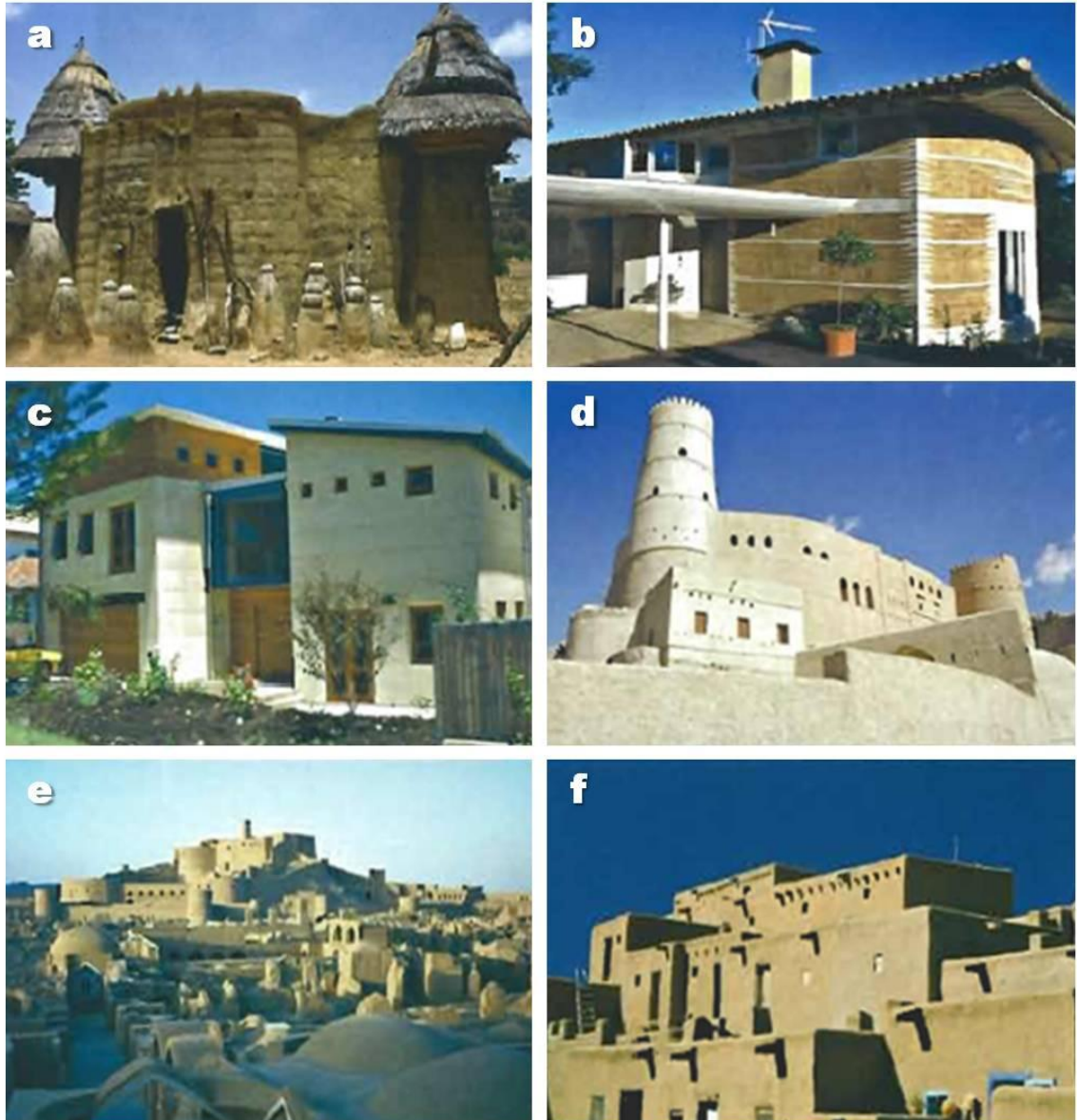
Rivera y Muñoz (2005), documentan que toda edificación que se construye tiene inmersa en sí, la necesidad de garantizar su permanencia en el espacio y tiempo; esta condición depende de la capacidad de los materiales estructurales, de la forma como éstos están empleados y de la afectación medio ambiental a que se vean sometidos. Es por esto que la durabilidad de cualquier estructura, estará siempre vinculada con algunos aspectos que le inciden directamente, como lo son la evolución, transformación del entorno y el cambio de fase de los materiales.

4.1 ECOVIVIENDAS

Las Ecoviviendas son construcciones humanas, hechas de manera artesanal con tierra, roca y madera, que logran conservarse en buenas condiciones a través del tiempo, (Figura 4). Las edificaciones modernas están orientadas hacia nuevas técnicas y avances, que atendían a un saneamiento básico, priorizando los objetivos de agua potable, alcantarillado, manejo de basuras, ventilación, iluminación y hacinamiento; dando como resultado construcciones consumidoras de recursos no renovables, una importante fuente de residuos, contaminación para el aire, el suelo y el agua.

Lo que se propone con este proyecto, es retomar este tipo de viviendas ancestrales, pero haciendo una fusión entre ecología y vivienda, generando un interés por todo aquello ecológico, sostenible o simplemente relacionado con el ahorro energético, dando como resultado edificaciones sensibles con su entorno durante toda su vida útil, adaptadas a su medio y clima, construidas con materiales cuyo gasto energético, en el proceso de extracción, producción y transporte, sea el menor posible en función de los recursos disponibles,

Figura 4. Evolución de las Ecoviviendas construidas con adobe. (a) Casa tradicional de barro, Togo, país de África. (b) Ciudad en Gironde, Francia. (c) Ciudad en Brisbane, Australia. (d) Ciudad en Bahla, Óman en Arabia. (e) Arg-é Bam en Irán (antes del terremoto del 2003). (f) Viviendas de los indios, Pueblo Nuevo, México.



Fuente: La Revue Durable, 2006.

adaptándose también a ciertos cánones establecidos que representen modernidad y vanguardismo.

Menéndez y Ardila, 2006, indican que los informes sobre recursos mundiales presentados conjuntamente por el Instituto de Recursos Mundiales –WRI-, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente –PNUMA-, el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo -PNUD-, y el Banco Mundial, en el estudio del 2006, señalaron que se está disminuyendo considerablemente la capacidad de los ecosistemas para continuar produciendo los bienes y servicios de los cuales depende la humanidad, en la cantidad requerida y que se han empezado a alcanzar los límites del crecimiento demográfico. Por su parte, el Fondo Mundial para la Naturaleza, en su análisis “Planeta Vivo”, advierte que el nivel de vida y el desarrollo, caerán vertiginosamente para el 2030, a menos que el ser humano deje de utilizar más recursos naturales de los que pueda reponer el planeta.

4.2 GENERALIDADES DE LA CONSTRUCCIÓN CON ADOBE

Las unidades de adobe son fabricadas y moldeadas en diversos formatos, con variadas composiciones granulométricas; estas técnicas en sí no se han modificado. Como adelanto y perfeccionamiento en su composición, ha sido la adición de elementos orgánicos e inorgánicos, mediante métodos físicos, físico-químicos o químicos, que buscan mejorar las propiedades mecánicas y comportamiento ante acciones externas, principalmente el intemperismo al que se encuentra sometidas en su gran mayoría estas estructuras.

4.2.1 Adobe. Rodríguez y Saroza (2006), definen que el término adobe proviene del vocablo árabe “attub”, que significa ladrillo secado al sol. De manera general podemos definir adobe como ladrillos de “barro” (“tierra”) sin cocer a los que se les añade algún material orgánico. Se pueden distinguir dos tipos de adobe: Adobe simple, constituido por unas adecuadas proporciones de arena, arcilla, fibra orgánica y agua; adobe estabilizado, donde dada la escasa resistencia frente a la humedad, que presenta el adobe simple, se le añade algún elemento, llamado estabilizante, para mejorar esta propiedad.

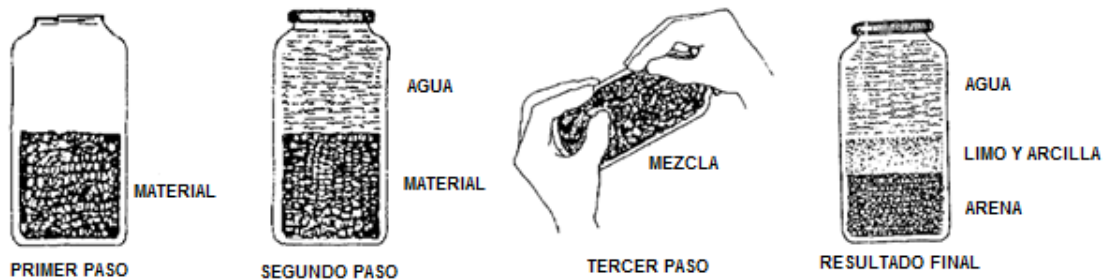
Rodríguez y Saroza (2006), documentan que la función de la arcilla dentro del adobe, es lograr la cohesión del conjunto de partículas que componen el mismo. Pero dicho contenido no debe ser excesivo, pues dada su afinidad por el agua, aumentaría su retracción durante el proceso de secado, y por consiguiente, el riesgo de fisuración. Por esta razón, en ocasiones, es necesario añadir arena para limitar los efectos perjudiciales de la retracción. Respecto a la adición de arena, varios autores coinciden en que esta debe ser cuidadosa, pues aumenta la porosidad, disminuye la cohesión y se pierden propiedades mecánicas de la mezcla.

Rodríguez y Saroza (2006), mostraron como el material orgánico disminuye la retracción durante el secado, distribuyendo la tensión resultante durante dicho proceso en toda la masa del material. Este material acelera el secado al facilitar el drenaje hacia el exterior por los canales de la fibra, aligera el material y aumenta también levemente la resistencia a tracción del adobe. Los efectos de un buen estabilizante, aumentan la resistencia a la compresión del adobe al aglomerar sus partículas, reducen o eliminan completamente la absorción de agua (causante de dilataciones, contracciones y erosiones internas), sellando los huecos, cubriendo las partículas de arcilla con una película impermeable y reducen el agrietamiento del adobe.

4.2.1.1 Reconocimiento del suelo para fabricar Adobes. Según Morales et al. (1993), existen tres pruebas selectivas que se deben realizar para determinar, si un suelo es apto o no, para la fabricación de adobe, estas son:

Prueba de Sedimentación: Se usa para determinar la proporción de los componentes principales (arena, limo y arcilla). Se llena con el material, una botella de boca ancha de un litro de capacidad, hasta la mitad de su altura, y la parte restante con agua limpia. Se agita la botella hasta que todas las partículas estén en suspensión. Se pone la botella sobre una mesa y se deja reposar durante 5 horas. Las partículas de arena reposaran inmediatamente, las partículas de limo y arcilla, en las 5 horas siguientes. Finalmente se miden las capas para determinar la proporción de arena, limo y arcilla. Se recomienda que la cantidad de arena esté entre 1.5 y 3 veces la cantidad de limo y arcilla, (Figura 5).

Figura 5. Pasos de la prueba de sedimentación.

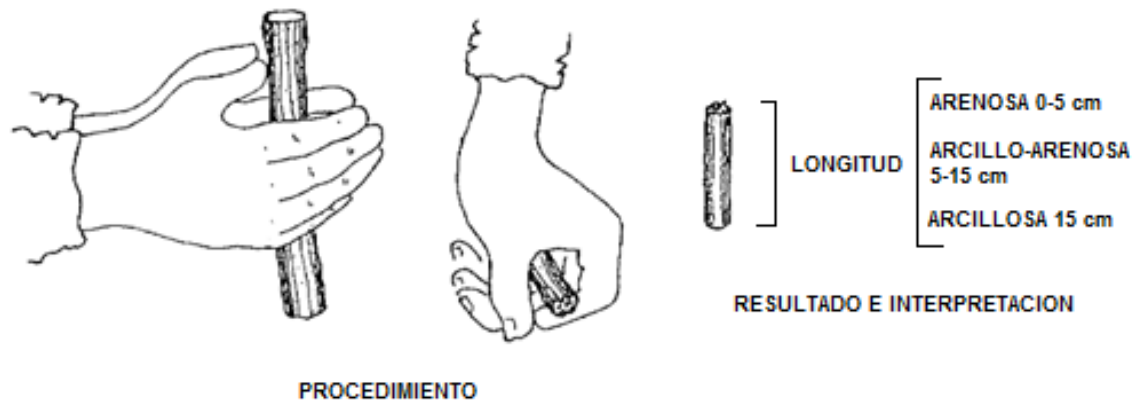


Fuente: Morales *et al.* (1993).

Prueba de Plasticidad: Para determinar la calidad del material. Permite saber si es arcillosa, arenosa o arcillo-arenosa, de acuerdo con los estándares establecidos en el Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil. Consiste en tomar, con el material humedecido, un rollo de 1.5 cm de diámetro, suspenderlo en el aire y medir la longitud del extremo que se opone. Se presentan 3 casos de plasticidad:

Arenosa (inadecuada) cuando el rollo se rompe antes de alcanzar los 5 cm. Arcillo arenosa (adecuada) cuando el rollo se rompe al alcanzar una longitud entre 5 y 15 cm. Arcillosa (inadecuada) cuando el rollo alcanza una longitud mayor de 15 cm, (Figura 6).

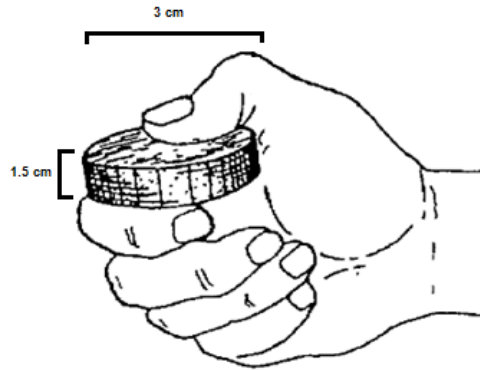
Figura 6. Pasos de la prueba de plasticidad.



Fuente: Morales *et al.* (1993).

Prueba de Resistencia: Consiste en amasar el material húmedo y elaborar 5 discos de 3 cm de diámetro por 1.5 cm de espesor, dejarlos secar 48 horas y tratar de romperlos. Se presentan dos casos, baja resistencia (inadecuada), cuando el disco se aplasta fácilmente, media o alta resistencia (adecuada), cuando el disco se aplasta con dificultad o se rompe con un sonido seco, (Figura 7).

Figura 7. Ilustración prueba de resistencia.

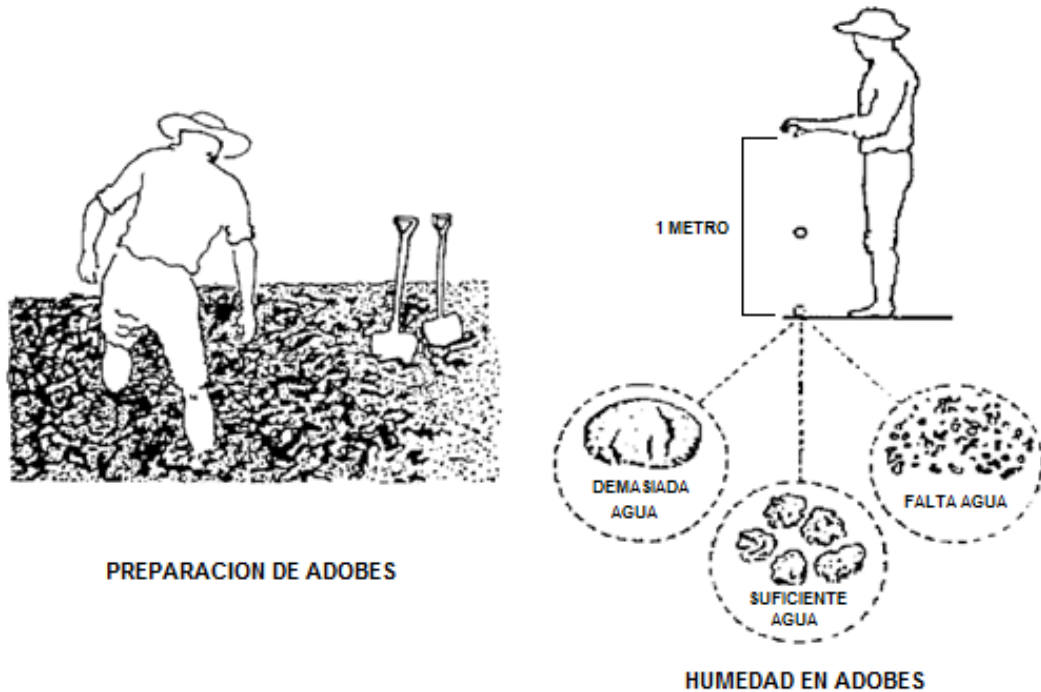


Fuente: Morales *et al.* (1993).

4.2.1.2 Fabricación de Adobes. Según Morales *et al.* (1993), para la preparación de los adobes estabilizados y prensados, se remoja primero el suelo hasta formar una especie de barro y se retiran las gravas mayores de 5 mm u otros elementos extraños. Durante el mezclado, se agrega al material la cantidad de agua necesaria y se realiza el mezclado con rastrillos o pisándolo, (Figura 8).

Morales *et al.* (1993), indican que la humedad correcta de la mezcla, se verifica mediante la siguiente prueba: Se toma un puñado de la mezcla, se forma una bola y se deja caer al suelo desde una altura de un metro. Si se rompe en pocos pedazos grandes, hay suficiente agua; si se aplasta sin romperse, hay demasiada agua y si se pulveriza en muchos pedazos pequeños, no hay un contenido suficiente de agua. Al día siguiente, debe agregarse el material orgánico en forma de agregado, con una longitud no mayor de 5cm, en una proporción 1:5 (material orgánico: suelo), para que éste controle la fisuración por secado del suelo. Esta mezcla debe revolverse nuevamente, y si se ha secado demasiado, debe echársele más agua hasta que la mezcla sea trabajable, (Figura 8).

Figura 8. Preparación del material para la fabricación de adobe.



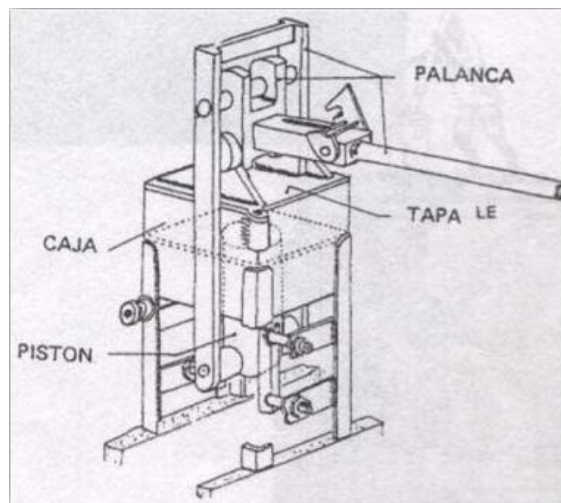
Fuente: Morales *et al.* (1993).

Etchebarme *et al.*, (2005), muestran que una de las formas más comunes y conocidas para hacer adobes estabilizados y prensados; se realiza mediante una máquina llamada prensa o bloquera. Una de las prensas que ha sido más utilizada es la CINVA – RAM, diseñada en 1956 por el ingeniero chileno Raúl Ramírez, del Centro Interamericano de Vivienda (CINVA, Bogotá, Colombia). Esta máquina consiste en una caja metálica de acero, con un pistón operado manualmente por medio de un brazo de compresión, que al hacer palanca eleva la plataforma inferior, comprimiendo el bloque contra la tapa. Las dimensiones y forma del bloque, dependerán de las medidas de la caja de la máquina y de las placas que permitirán formar bloques huecos.

Etchebarme *et al.*, (2005), demuestran que una vez que se elaboran los bloques prensados por medio de la CINVA – RAM, se cubren, hay que mantenerlos

protegidos del sol y del viento. Después de 4 a 6 horas de fabricados, se inicia el proceso de curado, para ello se riega con agua de 2 a 3 veces por día durante una semana como mínimo. Según Etchebarme *et al.* (2005), el periodo mínimo de curado recomendado para los bloques de construcción, es de 21 días, luego que ha ocurrido la mayor parte de la retracción del material, (Figura 9).

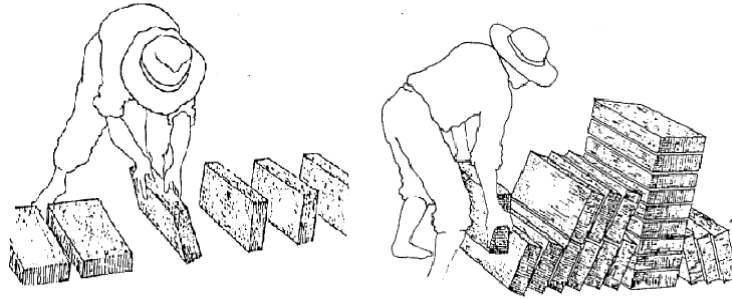
Figura 9. Prensa manual CINVA – RAM.



Fuente: Craterre, Paris 1979; Construir con Tierra tomo I Y II.

Morales *et al.* (1993), señalan que para el secado de los adobes, se utiliza una superficie horizontal, limpia y libre de impurezas orgánicas o sales. Este tendal deberá poder albergar la producción de una semana, tendrá que ser techado en épocas muy calurosas o lluviosas. Se debe espolvorear arena fina sobre toda la superficie del tendal para evitar que se peguen los adobes. Luego de 3 días los adobes se podrán poner de canto y al cabo de una semana se deberán apilar, (Figura 10).

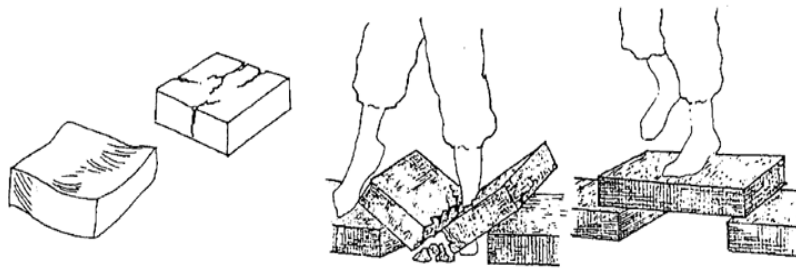
Figura 10. Proceso de secado y almacenamiento de los adobes.



Fuente: Morales *et al.* (1993).

Morales *et al.* (1993), indican que si a las 4 semanas el adobe de prueba presenta grietas o deformaciones, se debe agregar material orgánico (ej.: paja) al barro, y si no resiste el peso de un hombre se debe agregar arcilla al barro, (Figura 11).

Figura 11. Adobe con grietas o deformaciones.



Fuente: Morales *et al.* (1993).

Según Morales *et al.* (1993), en estudios realizados, el sol y el viento son los mayores enemigos de los adobes, pues ambos los secan rápidamente y como consecuencia las piezas se fisuran. Según esta teoría, hay que proteger los adobes durante mínimo cinco días y después pueden apilarse durante un período de secado de treinta días. En cuanto al formato o las dimensiones del adobe, se

recomienda la forma cuadrada por facilidades constructivas y de comportamiento mecánico.

4.2.2 Componentes del Adobe. Los componentes principales que constituyen un adobe son: Las arcillas, los limos y las arenas, que se diferencian por la dimensión de sus componentes o “granos”.

4.2.2.1 Arcilla. Recibe el nombre de arcilla todo material natural de aspecto terroso y fino granular, con un diámetro de partículas inferior a 0,002 mm. Están constituidas por sustancias cristalinas conocidas como minerales arcillosos, estos minerales son silicatos aluminicos hidratados. (Ingeominas, 1987).

Flórez y López (2010), presentan diversas coloraciones según las impurezas que contienen, siendo blanca cuando es pura. Al secarse se torna firme y cuando se somete a altas temperaturas aparecen reacciones químicas que hacen que la arcilla se convierta en un material permanentemente rígido. Tienen propiedades adhesivas y ligantes, un índice de plasticidad igual o mayor a 4 (Norma ASTM D2487), y actúa como un cementante de las arenas, que son las que le confieren resistencia.

Rodríguez y Saroza (2006), la función de la arcilla dentro del adobe es lograr la cohesión del conjunto de partículas que componen el mismo. Pero dicho contenido no debe ser excesivo, pues dada su afinidad por el agua, aumentaría su retracción durante el proceso de secado, y por consiguiente, el riesgo de fisuración.

Ward *et al.*, (1970), muestran como en el área de Bucaramanga, se utilizan para la fabricación de ladrillo, arcillas arenáceas provenientes de la terraza de

Bucaramanga. Algunos estratos arcillosos de las formaciones Jordán y Girón (Pérmico a Jurásico) son fuente de arcillas, algunas de muy buena calidad.

4.2.2.2 Limo. Según Flórez y López (2010), los limos son suelos de granos finos con poca o ninguna plasticidad, es un material suelto con una granulometría comprendida entre la arena fina y la arcilla. Es un sedimento clástico incoherente, transportado en suspensión por los ríos y por el viento, que se deposita en el lecho de los cursos de agua o sobre los terrenos que han sido inundados. Para que se clasifique como tal, el diámetro de las partículas de limo, según Folk (1974), varía de 0.002mm a 0.0625mm.

4.2.2.3 Arena. Según Flórez y López (2010), la arena es un material compuesto de partículas cuyo tamaño varía entre 0,0625mm y 2 mm, dentro de este rango una partícula individual es llamada grano de arena y una roca consolidada y compuesta por estas partículas se denomina arenisca. Cuando se encuentra en estado seco no presenta cohesión pero muestra una gran fricción interna, siendo el producto de la desintegración química y mecánica de las rocas bajo meteorización y abrasión y sus granos son ásperos al tacto y no forman agregados estables, porque conservan su individualidad.

Las arenas y gravas están constituidas por cantidades variables de fragmentos de diferentes tipos de rocas y minerales, lo que indica que poseen composición química muy diversa. Las arenas comerciales contienen, principalmente sílice (SiO₂) bajo la forma de cuarzo y algunas de sus variedades mineralógicas, fragmentos de rocas silíceas y cantidades menores de feldespato, micas, óxidos de hierro y minerales pesados (Ingeominas, 1987).

El tamaño de grano es una de las propiedades más importantes para la descripción de un material. En este trabajo se utilizó la tabla de tamaño de grano de Wentworth (1992) para la clasificación de las arcillas, limos y arenas. (Tabla 2).

4.2.3 Materiales para modificar el Adobe. Según Rodríguez y Saroza (2006), en la actualidad se puede utilizar un gran número de estabilizantes, tanto naturales como artificiales, no existiendo un estabilizante universal que pueda ser utilizado en todos los casos.

4.2.3.1 Estabilizantes. Según Rodríguez y Saroza (2006), la elección del estabilizante más adecuado depende del constructor, de la existencia del mismo en la zona, así como de la realización de ensayos con diferentes estabilizantes y proporciones. Particularmente para nuestro estudio, los estabilizantes utilizados serán la cáscara de yuca, secada al sol de manera natural, y la ceniza residual extraída de los hornos de la Ladrillera ERGO Durán y García Ltda.

Tabla 2. Tamaño de grano de Wentworth (1992; en: Folk 1974).

No de malla para tamiz U.S. estandard	Milímetros (mm)		Micrones (μ)	Phi (Φ)	Clase de tamaño Wentworth		Clase Mayor	Una vez Litificado el sedimento	
				-20			GRAVA	CONGLOMERADO	
		4096		-12	Cantos				
		1024		-10					
		256		-8	Guijarros				
		64		-6					
		16		-4	Guijas				
5		4		-2					
6		3.36		-1.75	Gránulos				
7		2.83		-1.5					
8		2.38		-1.25					
10		2.0		-1					
		1.68		-0.75	Upper Arena muy gruesa Lower		ARENA	ARENISCA	
		1.41		-0.5					
		1.19		-0.25					
18	1	1.0		0.0					
		0.84		0.25	Upper Arena gruesa Lower				
		0.71		0.5					
		0.59		0.75					
35	½	0.5	500	1					
		0.42	420	1.25	Upper Arena media Lower				
		0.35	350	1.5					
		0.3	300	1.75					
60	¼	0.25	250	2.0					
		0.21	210	2.25	Upper Arena fina Lower				
		0.177	177	2.5					
		0.149	149	2.75					
120	1/8	0.125	125	3.0					
		0.105	105	3.25	Upper Arena muy fina Lower				
		0.088	88	3.5					
		0.074	74	3.75					
230	1/16	0.0625	62.5	4.0					
		0.053	53	4.25	Grueso (4 a 5 Φ)		LODO	LODOLITA	
		0.044	44	4.5					
		0.037	37	4.75					
Analizado por pipeta o hidrómetro		1/32	0.031	31	5.0	Limos Limolita			
		1/34	0.0156	15.6	6.0				
		1/128	0.0078	7.8	7.0				
		1/256	0.0039	3.9	8.0	Algunos usan 9 Φ como límite de la arcilla Arcillas Arcillolita			
			0.002	2	9.0				
			0.00098	0.98	10				
			0.00049	0.49	11				
			0.00012	0.12	13				
		0.00006	0.06	14					

Fuente: Folk 1974, Pág. 25

5. METODOLOGÍA

Con el fin de cumplir con los objetivos propuestos es necesaria la ejecución de estudios basados en la aplicación de una metodología orientada, la cual se plantea en las etapas descritas a continuación:

5.1 FASE DE REVISIÓN Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO

La creación y revisión del archivo bibliográfico se desarrolló en la totalidad del tiempo de ejecución del proyecto. Como fuentes de documentos se consulta la base de datos en red sciencedirect, material bibliográfico recopilado en la biblioteca de la Universidad Industrial de Santander, incluyendo libros, proyectos de grado y revistas especializadas, así como material certificado de circulación libre en internet. Estas fuentes bibliográficas proporcionaron valiosa información, con relación no solo al contexto geológico dentro de la cual está enmarcado el frente de explotación de la ladrillera ERGO Durán y García Ltda., sino también a los materiales (aditivos y estabilizantes) utilizados en la preparación de BTCs usados en la construcción de Ecoviviendas. De otra parte, se obtuvo información respecto a los métodos de preparación de adobes y los ensayos tecnológicos para determinar su resistencia y durabilidad.

5.2 FASE DE CAMPO

La fase de campo se desarrolló en la ladrillera ERGO Durán y García Ltda., realizando una serie de visitas de carácter técnico, con el fin de documentar el proceso de producción de ladrillos, las dosificaciones y los materiales utilizados. Por otra parte, se obtuvo información sobre las fuentes de extracción de materias

primas y el dimensionamiento de las unidades. Se llevó a cabo la descripción geológica del frente de explotación y el levantamiento de una columna estratigráfica a escala 1:100, a fin de contar con un control sistemático de los niveles arenosos y limo arcillosos de interés para la empresa, realizando una descripción a escala de afloramiento, obteniendo información sobre rasgos tales como textura, color, estructura y composición. Este trabajo de campo estuvo acompañado de un muestreo de los niveles de interés, así como de las materias primas preparadas antes de entrar al proceso de producción. El objeto del muestreo sistemático, en cada uno de los niveles expuestos en el frente de explotación, es el de identificar los horizontes con los materiales más adecuados para la elaboración de adobes de alta calidad, estos horizontes corresponden a los de composición arcillo-arenosa descartando los conglomeráticos. Los materiales evaluados cumplen con los estándares para la elaboración de ladrillos según las normas colombianas.

5.3 FASE DE PREPARACIÓN DE MATERIAS PRIMAS

Uno de los principales alcances de este proyecto, es el de implementar una técnica en la fabricación de adobes que disminuya notablemente el consumo energético y cuyo impacto ambiental no sea negativo al medio ambiente.

5.3.1 Secado natural. Los materiales recolectados fueron secados de manera natural, dejando la materia prima expuesta al aire libre, durante aproximadamente tres semanas, en la Planta de Aceros de la Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de los Materiales de la Universidad Industrial de Santander.

Este procedimiento reemplaza al secado y “cocción” en hornos cuya emisión de gases invernadero tiene un efecto adverso al medio ambiente, (Figura 12).

Figura 12. Fotografía de secado del material. (a) Secado natural. (b) Disgregación de materia prima compactada.



Fuente: Autores.

5.3.2 Trituración del material. Todo el material fue trasladado al Laboratorio de Trituración, Molienda y Pulverización de la Escuela de Geología de la Universidad Industrial de Santander. Se realizó en una Trituradora de Mandíbulas BB 200 RETSCH. El procedimiento consistió en la introducción de pequeñas cantidades de materia prima recolectada y previamente secada, para posteriormente obtenerla con una unificación de granulometría. Este proceso se realizó en un periodo de un mes aproximadamente, (Figura 13).

Figura 13. (a) y (b) Trituradora de Mandíbulas BB 200 RETSCH. (c) Diferencia entre la materia prima inicial y la materia prima triturada.



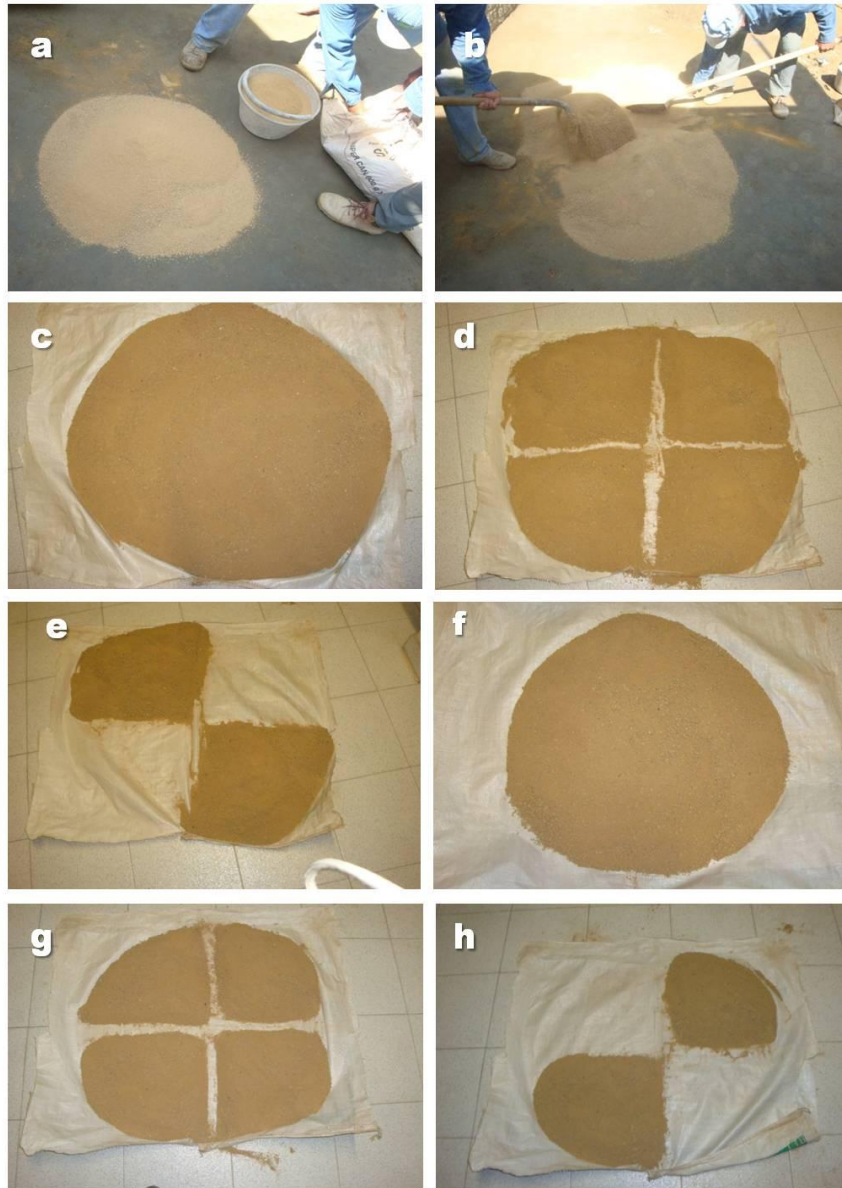
Fuente: Autores.

5.3.3 Mezcla y cuarteo del material. Una vez terminado este proceso de trituración, se procedió a realizar la mezcla y el cuarteo del material, con el fin de seleccionar una muestra representativa de 3000 gr para realizar el ensayo granulométrico, (Figura 14).

5.4 FASE DE CARACTERIZACIÓN

Se realizaron una serie de pruebas y ensayos a lo largo de esta fase, que permitieron caracterizar el material para establecer su nivel de efectividad antes de la elaboración de los adobes.

Figura 14. Mezcla y cuarteo del material. (a) y (b) Proceso de mezcla del material. (c) Material inicial. (d) División en 4 partes del material. (e) Selección de dos extremos opuestos. (f) Unificación de los extremos seleccionados. (g) División en 4 partes del material seleccionado. (h) Selección de dos extremos opuestos para muestra representativa final.



Fuente: Autores.

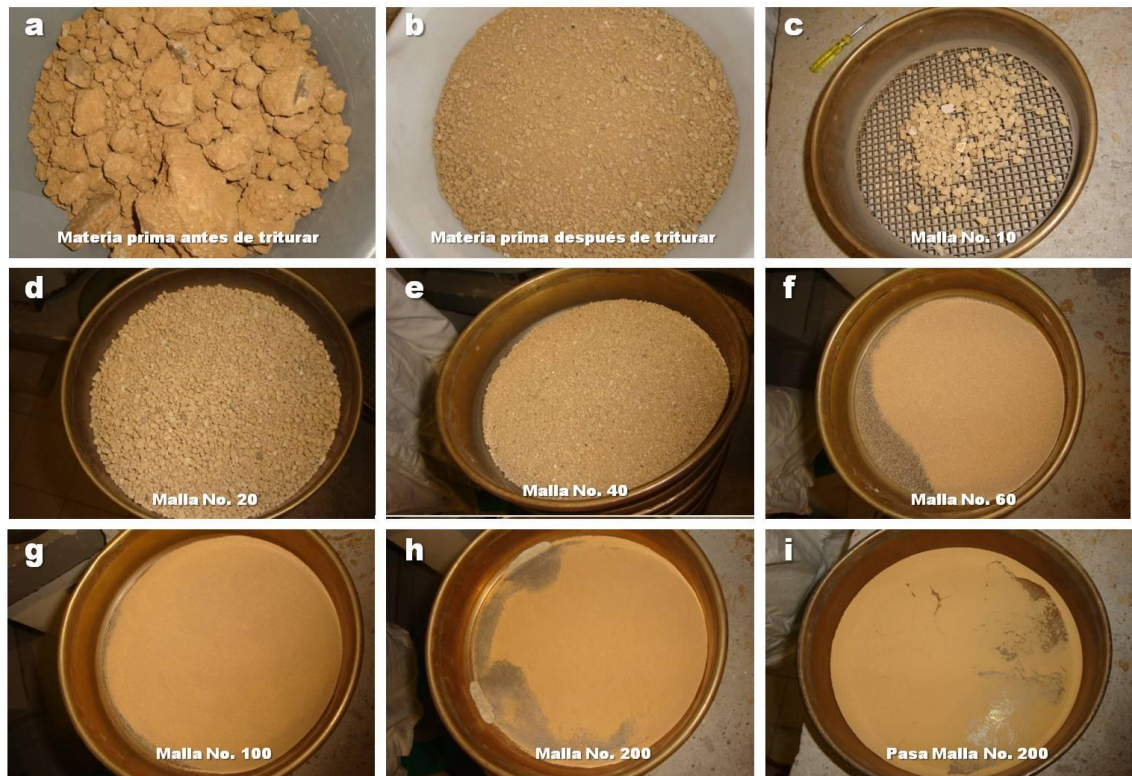
5.4.1 Análisis granulométrico. La muestra triturada y cuarteada fue tamizada en un Tamizador Mecánico RO-TAP Testing Sieve Shaker, serial No. 21707, (Figura 15), según la Norma I.N.V.E. 123-07, en el Laboratorio de Trituración, Molienda y Pulverización de la Escuela de Geología de la Universidad Industrial de Santander, utilizando un juego de tamices (mallas 4, 10, 20, 40, 60, 100 y 200), (Figura 16). Las fracciones obtenidas se utilizaron para realizar el análisis granulométrico, el cual consiste en la distribución de las partículas que constituyen el material, las cuales se seleccionaron en fracciones de igual tamaño.

Figura 15. Tamizador Mecánico RO - TAP.



Fuente: Autores.

Figura 16. Tamices. (a) Material sin triturar. (b) Material triturado. (c) Material retenido en la Malla No. 10. (d) Malla No. 20. (e) Malla No. 40. (f) Malla No. 60. (g) Malla No. 100. (h) Malla No. 200. (i) Pasa malla No. 200.



Fuente: Autores.

Por otra parte, se llevó a cabo la prueba de hidrometría, según la norma I.N.V.E. 124-07, en el Laboratorio de Acondicionamiento y Fabricación de Probetas de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Industrial de Santander, utilizando 50 gramos del material que paso por el tamiz 200, ubicándolo en un vaso de precipitado, agregándole 125 mililitros de agua destilada hasta que la muestra quedó totalmente sumergida y adicionalmente agregándole un agente dispersante, llamado hexametáfosfato de sodio, en una cantidad de 40 gramos.

Posteriormente se dejó la muestra en esta solución durante 24 horas. Al cabo de este tiempo, se transfirió la muestra a una probeta graduada de 1000 mililitros con

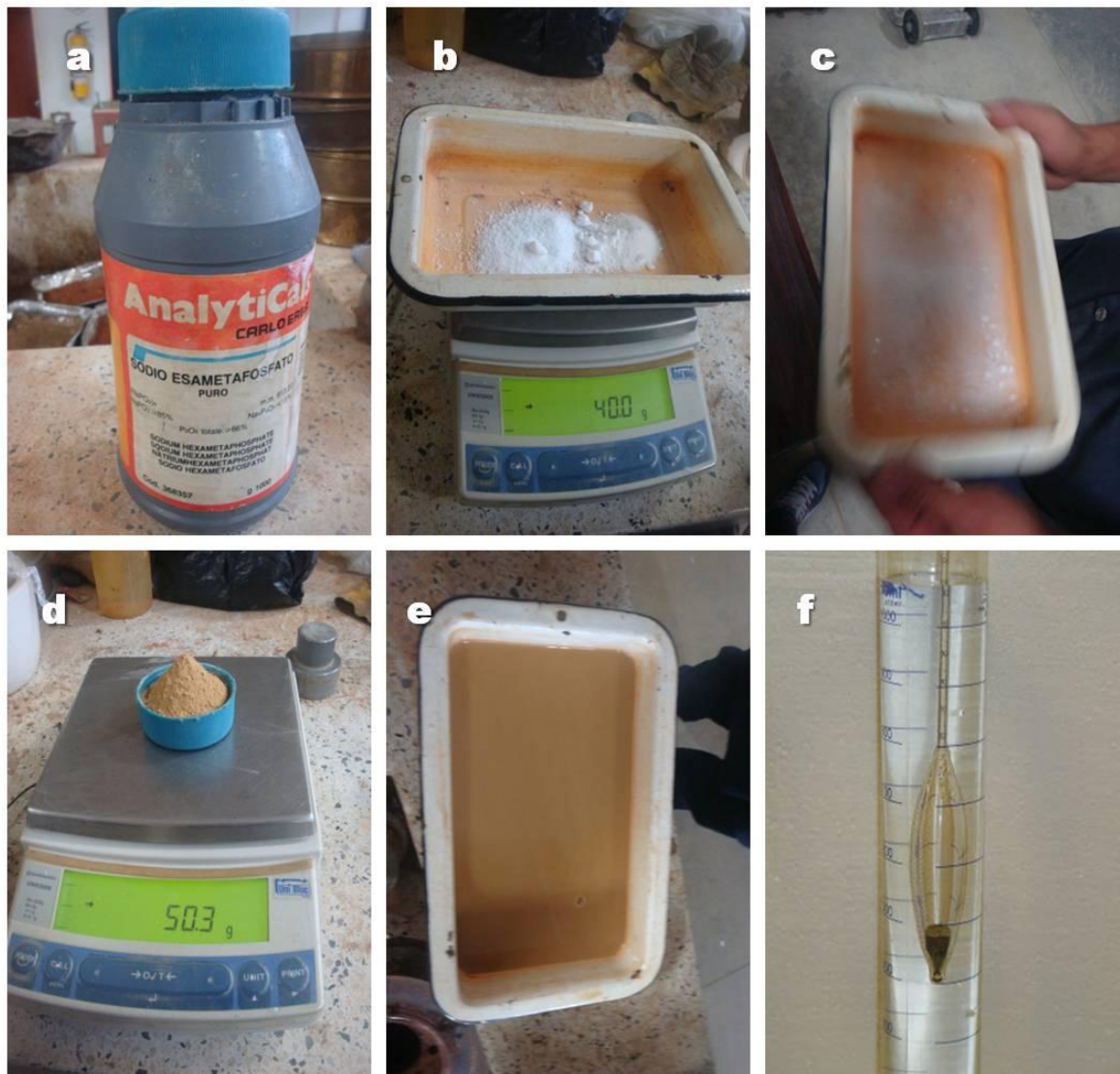
agua, después se pasó la probeta graduada a un agitador durante un minuto. Al terminar, se colocó la probeta sobre la mesa. Se anotaron las dos primeras lecturas del hidrómetro, al minuto y a los dos minutos después de haberse colocado la probeta sobre la mesa. Después de realizar la lectura de los dos minutos, se extrajo el hidrómetro de la suspensión y se colocó en una probeta graduada, con agua limpia por poco tiempo. Luego se introdujo nuevamente el hidrómetro, realizándose lecturas a los 5, 15, 30, 60, 120, 250 y 1.440 minutos, del inicio de la sedimentación, (Figura 17).

5.4.2 Límites de Atterberg. Durante el desarrollo de esta fase se llevaron a cabo las pruebas de determinación de límite líquido (LL), límite plástico (LP), índice de plasticidad (%), según lo establecido en la norma ASTM D4318. Estos ensayos se llevaron a cabo en el Laboratorio de Acondicionamiento y Fabricación de Probetas de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Industrial de Santander.

5.4.2.1 Límite líquido (LL). Mide el contenido de humedad del suelo entre el estado semi-líquido y plástico, de acuerdo a la norma I.N.V.E. 125: “Determinación del límite líquido de los suelos”.

Para la realización de esta prueba, se utilizó una muestra de 100 gramos del material, que pasó por el tamiz No. 40. Se introdujo la muestra en un mortero y se le adiciono agua destilada, revolviendo, amasando y cortando con espátula, con el fin de homogenizar la muestra. Se colocó una cantidad de la muestra en la copa de Casagrande, comprimiéndola hacia abajo y extendiéndola con la espátula del centro hacia los extremos, hasta que la altura de la muestra en su punto más bajo

Figura 17. (a) Hexametafosfato de sodio. (b) 40 gramos de reactivo. (c) Dilución en agua destilada. (d) 50 gramos pasa tamiz 200. (e) Mezcla de componentes y reactivos. (f) Hidrómetro.



Fuente: Autores.

fue de 10 milímetros. Con el ranurador se hizo una abertura en la parte central de la muestra contenida en la copa, se accionó el equipo para alzar y dejar caer la copa hasta que se logró que las dos mitades se unieran y se registraron el número de golpes en el que se cerraron las dos mitades. Se tomó una rodaja de la muestra, extendiéndola de borde a borde, se colocó en un recipiente previamente pesado y numerado, se registró su peso. Posteriormente se dejó en el horno y se pesó; este procedimiento se repitió 4 veces, adicionándole mayores cantidades de agua destilada, (Figura 18).

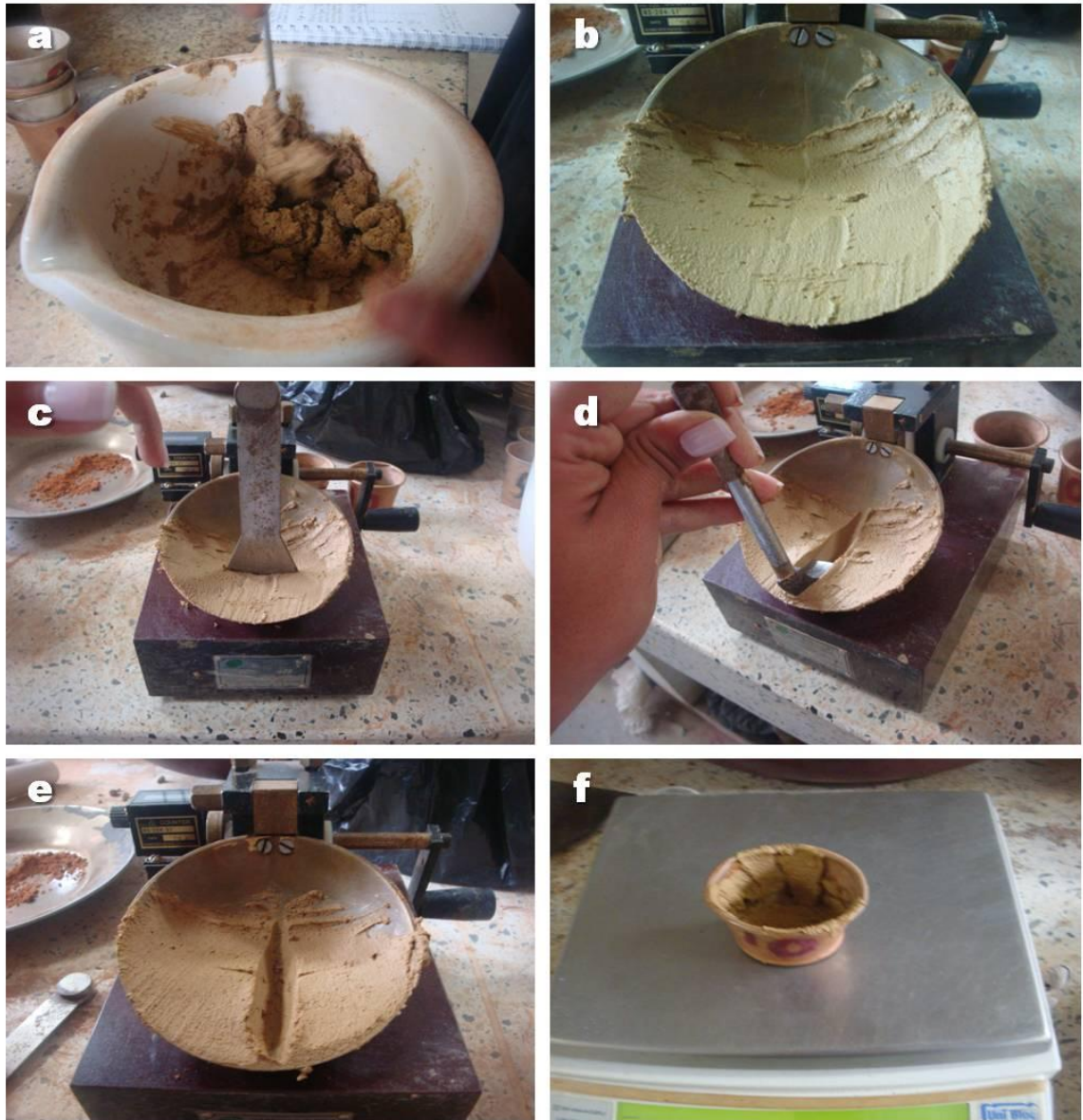
5.4.2.2 Límite plástico (LP). Mide el contenido de humedad del suelo entre los estados semi-sólido y plástico, de acuerdo con la norma I.N.V.E. 126-07: “Limite plástico e índice de plasticidad de suelos”.

En esta prueba se empleó una muestra de 100 gramos del material que pasó por el tamiz No. 40, se ubicó el material en el mortero, se le agregó agua destilada hasta que la masa se volvió plástica. Posteriormente se elaboró con este material una esfera, controlando que no se encontrara ni muy seca, ni muy húmeda. Se rodó la masa entre la palma de la mano y el mesón, formando una serie de palitos uniformes, hasta que estos se cuartearon. Una vez que el peso de estos palitos llegó a ser de 15 gramos aproximadamente, se llevaron al horno y se pesaron. (Figura 19).

5.4.2.3 Índice de plasticidad (%). Mide la diferencia entre los límites líquido y plástico, por medio de la fórmula:

$$IP = LL - LP$$

Figura 18. Ensayo límite líquido. (a) 100 gr en el mortero. (b) Copa Casagrande. (c) Punto más bajo 10ml. (d) Abertura con ranurador. (e) Unión de las dos mitades. (f) Peso después del horno.



Fuente: Autores.

Figura 19. Ensayo límite plástico. (a) 100 gr en el mortero. (b) Formación de la esfera. (c) Formación de palitos uniformes. (d) 15gr de palitos.



Fuente: Autores.

5.4.3 Descripción de muestras. Se realizó una descripción macroscópica de las muestras en un estereomicroscopio binocular (NIKON inc. High Intensity Illuminator, NI-150); en el salón de microscopios ubicado en la Escuela de Geología de la Universidad Industrial de Santander, (Figura 20).

Figura 20. Lupa Microscópica NIKON Inc. High Intensity Illuminator, NI-150 empleada en la descripción textural de los materiales.



Fuente: Autores.

Durante esta actividad se clasificaron texturalmente los materiales mediante una lupa binocular, donde fueron evaluados parámetros texturales tales como: Redondez, calibración, tamaño y composición mineralógica siguiendo las clasificaciones estándar textural (Wentworth 1922, Folk, 1974).

5.4.4 Difracción de Rayos X (DRX). El análisis de DRX se llevó a cabo en el Laboratorio de Difracción de Rayos X, Instituto Zuliano de Investigaciones Tecnológicas (INZIT) de Maracaibo (Venezuela), con el fin de determinar las fases minerales, cristalinas y amorfas. El Polvo de rayos X de difracción de las materias primas, se registraron con un difractómetro Philips PW1710 Bragg-Brentano con una radiación Cu-Ka (40 kV y 40 mA) y monocromación secundaria.

La recolección de datos se llevó a cabo en el rango de 30-50°, con un tamaño de paso de 0.02 °. Los patrones cristalinos se compararon con los patrones de línea estándar de la base de datos de difracción de polvo de archivo, suministrada por el Centro Internacional de Datos de Difracción (ICDD), con la ayuda de JCPDS (Comité Conjunto de Estándares de difracción en polvo). En total se obtuvieron 3 difractogramas por cada muestra procesada. Al final se

superpusieron todos los difractogramas para definir la composición real, haciendo énfasis en los compuestos mayoritarios, es decir los que conforman alrededor del 95% de la muestra.

La identificación de los minerales se realizó con base en las reflexiones observadas en cada uno de los difractogramas. Se inició con la comparación de los difractogramas con una tabla de valores de reflexión de los principales minerales. Para medir el porcentaje de cada mineral en la muestra, se trabaja en el difractograma de etilenglicol, donde los minerales expansivos se han separado de las reflexiones de minerales no expansivos. En el difractograma se traza el background y se mide la distancia en línea recta entre el pico y el background. Después se suman los valores de todos los minerales encontrados y este valor se toma como 100%, con el cual se determina el porcentaje de cada mineral.

5.4.5 Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier (IRTF). El análisis de FTIR ayudo a determinar cualitativamente la composición mineralógica del material, se realizó en Laboratorio de Instrumentación Química de la Escuela de Química de la Universidad Industrial de Santander.

Se tomó la muestra y se le agregó KBr, en proporción de 5%-95%, se homogenizó con ayuda de una espátula y se maceró con el mortero de ágata. Con la muestra homogenizada y macerada, se procedió a preparar la pastilla para el análisis de espectroscopía infrarroja. El análisis nos muestra la absorbancia de las vibraciones moleculares para los compuestos de la muestra, con los picos de absorbancia obtenidos se identificaron los compuestos presentes en la muestra.

5.5 FASE DE PREPARACIÓN DE BTCs

Para la fase de elaboración de los BTCs, primero se realizó una mezcla del material disponible. Se hicieron en total cinco combinaciones diferentes de materia prima y estabilizante, con 18 unidades por cada combinación, para un total de 90 adobes, (Figura 21).

Figura 21. Diferentes aspectos durante la preparación de los adobes. (a) CINV – RAM. (b) Mezcla del material. (c) Material en la CINVA – RAM. (d) Proceso de prensado. (e) Adobe resultante. (f) Adobes resultantes de una mezcla.



Fuente: Autores.

5.5.1 Prueba de sedimentación. Esta prueba se realizó para determinar la proporción de los componentes principales de la materia prima con la que se elaboraron los adobes (arena, limo y arcilla). La prueba tiene el siguiente procedimiento: Se depositó material en un recipiente de vidrio, con boca ancha, de un litro de capacidad hasta la mitad de su altura, la parte restante se completó con agua limpia. Se agitó el recipiente hasta que todas las partículas estuvieron en suspensión, se ubicó sobre una mesa y se dejó reposar durante 5 horas, finalmente se midieron las capas para determinar la proporción de arena y limo con arcilla, (Figura 22).

Figura 22. Prueba de sedimentación. (a) Recipiente de vidrio de 1 litro (b) Se introducen 500ml de materia prima. (c) Se llena totalmente con agua. (d) Se agita. (e) Se deja reposar 5 horas. (f) Resultado.



Fuente: Autores.

5.5.2 CINVA – RAM. Los adobes elaborados fueron estabilizados y prensados por medio de una prensa o bloquera llamada CINVA - RAM. Esta máquina consiste en una caja metálica de acero, con un pistón operado manualmente por medio de un brazo de compresión, que al hacer palanca eleva la plataforma inferior, comprimiendo el bloque contra la tapa, (Figura 23). Las dimensiones del adobe resultante son: 32 centímetros de largo, 15 centímetros de ancho y 8 centímetros de alto.

Figura 23. (a), (b) y (c) CINVA – RAM.

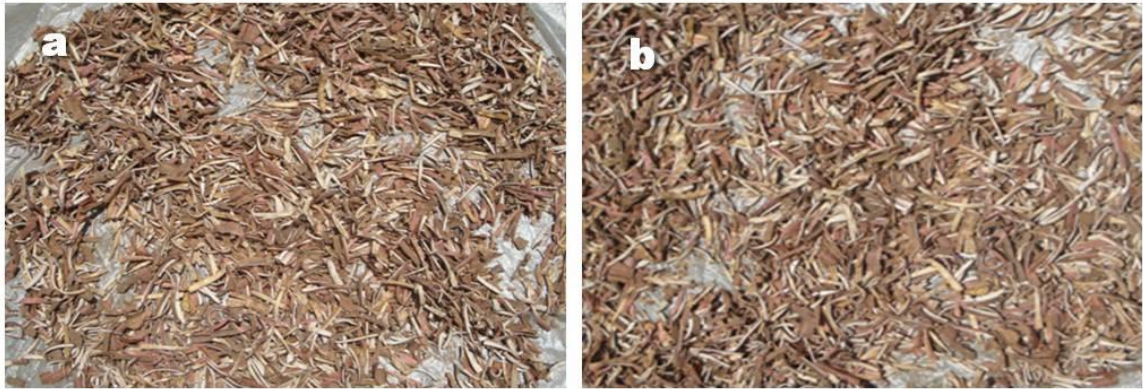


Fuente: Autores.

5.5.3 Estabilizantes. Los suelos pueden estabilizarse químicamente, mediante el uso de aditivos, compactación mecánica o manual, o pueden ser utilizadas fibras naturales. El uso de estos materiales orgánicos tiene como objeto mejorar las características iniciales del material en cuanto a plasticidad, cumplir la función de cementante y mejorar las cualidades absorbentes, entre otras. En este proyecto fueron empleados las cáscara de yuca y la ceniza, residuo de los hornos de la ladrillera.

5.5.3.1 Cáscara de yuca. Fue previamente recolectada, cortada en fragmentos de 5 centímetros de longitud y secada de manera natural durante tres días, para luego ser agregada a los adobes, (Figura 24).

Figura 24. (a) y (b) Cáscara de yuca cortada en fragmentos.



Fuente: Autores.

Algunos estudios concluyen como la cáscara de yuca presenta propiedades semejantes a las de una esponja, cuya principal función es la de absorber agua en grandes cantidades, más aun si ésta está seca. Aunque no ha sido utilizada hasta el momento como estabilizante para la fabricación de los adobes; lo que se espera es que la cáscara de yuca se rehidrate sin ensancharse, sin permitir que el adobe realice un consumo excesivo de agua y se deforme, estabilizándolo. Además se pretende evaluar sus propiedades absorbentes, como elemento importante en la estructura sólida y resistente del adobe.

5.5.3.2 Ceniza. Fue extraída de los hornos de la ladrillera ya que es el residuo del polvo del horno y el carbón mineral. En estudios previos, se estableció que la ceniza tiene propiedades puzolánicas y estas por si solas poseen poco o ningún

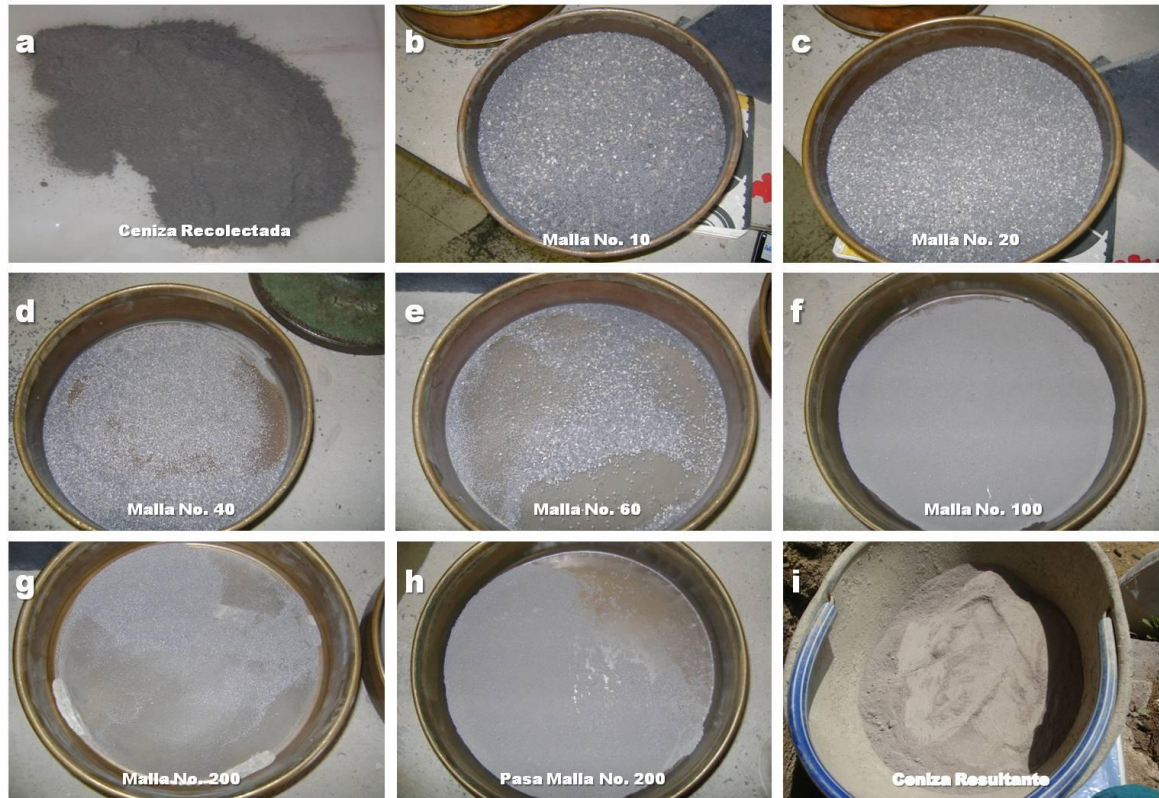
valor cementante, pero cuando se dividen finamente y están en presencia de agua, reaccionan químicamente a temperatura ambiente para formar compuestos cementantes.

Es por esto, que se decidió probar la adición de la ceniza en este proyecto; para su adición en las unidades de adobe, se tamizó el material con el objeto de aislar los fragmentos extraños y unificar el tamaño de grano, utilizando sólo las partículas que pasaron por el tamiz No 200, (Figura 25).

5.5.4 Mezclas elaboradas. Los primeros adobes realizados, fueron a base de solo la materia prima, posteriormente se efectuaron adobes con dosificaciones diferentes, tanto de estabilizante como de material que correspondieron a: 95% de material y 5% de ceniza; 95% de material y 5% cáscara de yuca; 90% de material, 8% de ceniza y 2% de cáscara de yuca, por ultimo 90% de material y 10% de ceniza.

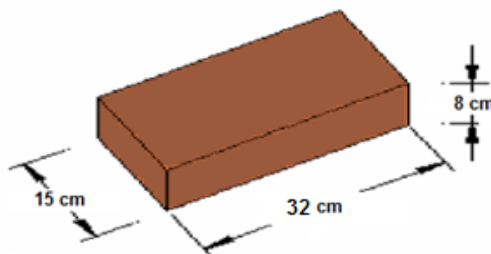
Las dimensiones escogidas para la fabricación de los adobes fueron tomadas del Manual para la Construcción de Viviendas de Adobe, según el cual éstas son variadas: La longitud no debe ser mayor que el doble de su ancho, no debe sobrepasar los 40 centímetros, la altura no debe ser mayor de 10 centímetros y la relación entre la longitud y la altura debe ser aproximadamente de 4 a 1. De esta manera se escogieron para la unidad de adobe las siguientes dimensiones: 32 cm de largo, 15 cm de ancho y 8 cm de alto que cumplen con las recomendaciones mencionadas, (Figura 26).

Figura 25. (a) Ceniza tomada de la ladrillera. (b) Ceniza tamizada y retenida en la Malla No 10. (c) Malla No 20. (d) Malla No 40. (e) Malla No 60. (f) Malla No 100. (g) Malla No 200. (h) Pasa Malla No 200. (i) Ceniza tamizada recolectada.



Fuente: Autores.

Figura 26. Dimensiones de las unidades de adobe resultantes.



Fuente: Autores.

5.5.4.1 Mezcla 1 (100% materia prima). Estos adobes fueron elaborados en su totalidad con el material extraído del frente de explotación de la ladrillera ERGO. No se les adicionó ningún tipo de estabilizante, para tener como referencia su comportamiento y partir de ellos para analizar los parámetros mejorados por los adobes estabilizados, (Tabla 3).

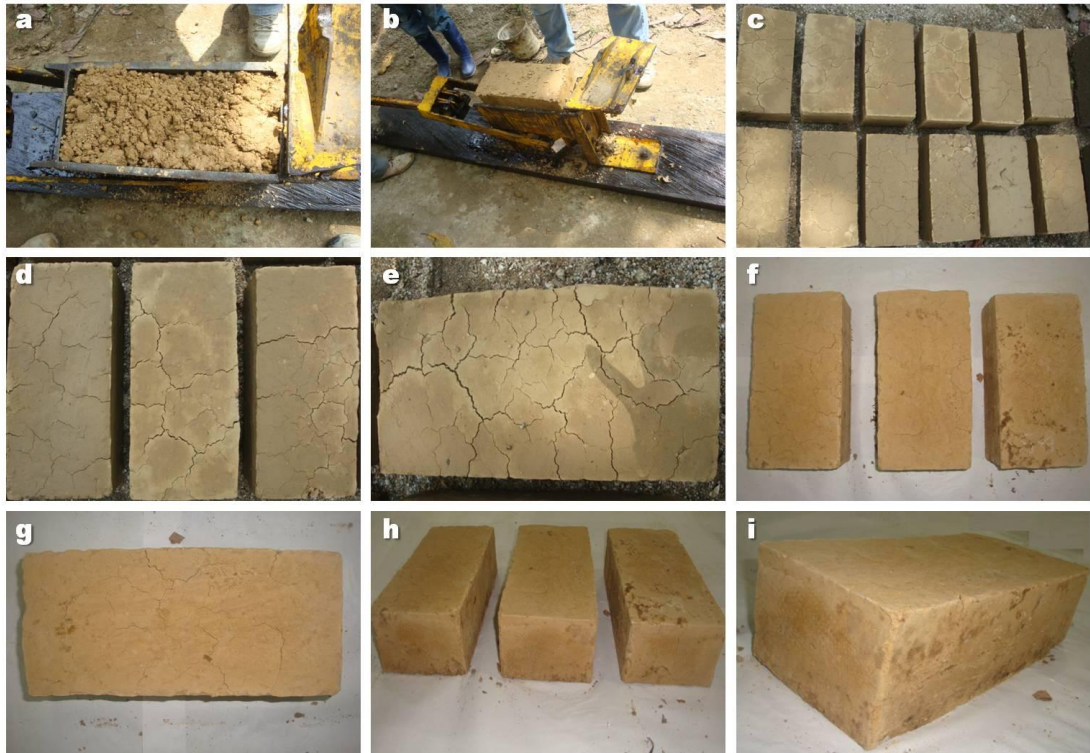
Tabla 3. Características promedio de los adobes de 100% materia prima.

UNIDAD ADOBE	CARACTERÍSTICA
Cantidad de materia prima	100%
Aditivo suministrado	Ninguno
Cantidad de aditivo suministrado	0%
Peso al momento de su elaboración	9525 gr
Peso después del tiempo de curado	6854 gr

Fuente: Autores.

A cada uno de los 18 adobes realizados con 100% materia prima, se les adicionó aproximadamente 0,8 litros de agua, para realizar la mezcla. Una vez elaboradas las 18 unidades de adobe, se expusieron al sol durante aproximadamente 4 horas, y las siguientes 20 horas se pasaron a su lugar de apilamiento, donde cada 20 minutos se les suministró un regado de agua constante. Una vez culminado el proceso de curado de 28 días, estos adobes fueron trasladados a la Universidad Industrial de Santander, donde se les realizaron las pruebas pertinentes para establecer sus condiciones, (Figura 27).

Figura 27. (a) Materia prima en la CINVA – RAM. (b) Adobe resultante. (c) Adobes 100% materia prima resultantes. (d) Después de 4 horas de su elaboración. (e) Después de 5 días de curado. (f), (g), (h), (i) Después de 28 días de curado.



Fuente: Autores.

5.5.4.2 Mezcla 2 (95% materia prima + 5% ceniza). Estos adobes fueron elaborados con la mezcla de materia prima extraída de la cantera y la ceniza (material escoráceo) recolectada del horno de la ladrillera. El objeto de esta mezcla, es el de evaluar el comportamiento de la ceniza como material cementante y compactante en la mezcla, (Tabla 4).

Tabla 4. Características promedio de los adobes de 95% materia prima + 5% ceniza.

UNIDAD ADOBE	CARACTERÍSTICA
Cantidad de materia prima	95%
Aditivo suministrado	Ceniza
Cantidad de aditivo suministrado	5%
Peso al momento de su elaboración	9071 gr
Peso después del tiempo de curado	7003 gr

Fuente: Autores.

A cada uno de los 18 adobes realizados con 95% de material y 5% de ceniza, se les adicionó aproximadamente 1 litro de agua para elaborar la mezcla. Una vez realizadas las 18 unidades de adobe, se expusieron al sol durante aproximadamente 4 horas, y las siguientes 20 horas se pasaron a un lugar de apilamiento, donde cada 20 minutos se les suministró un regado de agua constante. Una vez culminado el proceso de curado de 28 días, estos adobes fueron trasladados a la Universidad Industrial de Santander, donde se les realizaron las pruebas para evaluación de sus propiedades, (Figura 28).

Figura 28. (a) y (b) Mezcla del material. (c) Adobes resultantes. (d) Adobes después de 4 horas de su elaboración. (e) Después de 5 días de curado. (f), (g), (h), (i) Después de 28 días de curado.



Fuente: Autores.

5.5.4.3 Mezcla 3 (95% materia prima + 5% cáscara de yuca). Estos adobes fueron elaborados con una mezcla del material extraído de la cantera y cáscara de yuca previamente seleccionada y tratada para ser adicionada como agregado, (Tabla 5).

A cada uno de los 18 adobes realizados con 95% de materia prima y 5% de cáscara de yuca, se les adicionó aproximadamente 1,2 litros de agua, para realizar la mezcla. Una vez realizadas las 18 unidades de adobe, se expusieron al sol

durante aproximadamente 4 horas, las siguientes 20 horas se pasaron a un lugar de apilamiento, donde cada 20 minutos se les suministró un regado de agua constante. Una vez culminado el proceso de curado de 28 días, los adobes fueron trasladados a la Universidad Industrial de Santander, donde se les realizaron las pruebas para evaluación de sus propiedades, (Figura 29).

Figura 29. (a) Yuca tratada. (b) Adobe resultante. (c) y (d) Adobes después de 4 horas de su elaboración. (e) Después de 5 días de curado. (f), (g), (h), (i) Después de 28 días de curado.



Fuente: Autores.

Tabla 5. Características promedio de los adobes de 95% materia prima + 5% cáscara de yuca.

UNIDAD ADOBE	CARACTERÍSTICA
Cantidad de materia prima	95%
Aditivo suministrado	Cascara de yuca
Cantidad de aditivo suministrado	5%
Peso al momento de su elaboración	8976 gr
Peso después del tiempo de curado	6691 gr

Fuente: Autores.

5.5.4.4 Mezcla 4 (90% materia prima + 8% ceniza + 2% cáscara yuca). Estos adobes fueron elaborados con una mezcla del material extraído de la cantera, ceniza (material escoráceo) recolectada del horno de la ladrillera y cáscara de yuca, previamente recolectada y procesada, (Tabla 6).

Tabla 6. Características promedio de los adobes de 90% materia prima + 8% ceniza + 2% cascara de yuca.

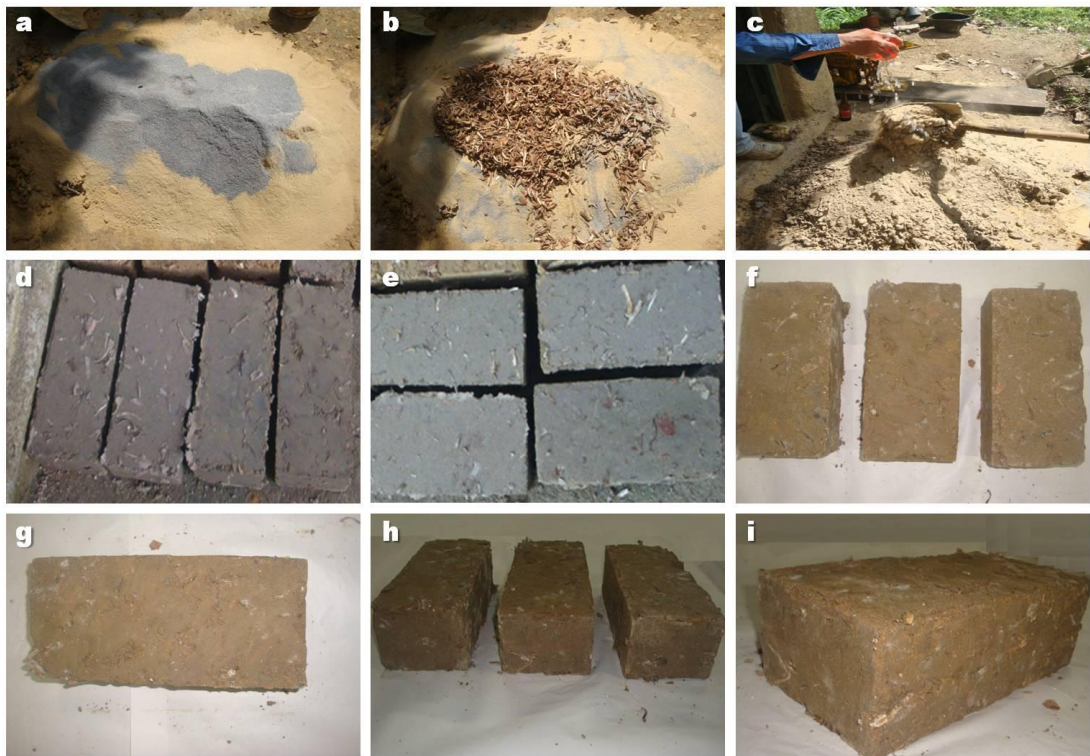
UNIDAD ADOBE	CARACTERÍSTICA
Cantidad de materia prima	90%
Aditivo suministrado	Cáscara de yuca y Ceniza
Cantidad de aditivo suministrado	8% y 2%
Peso al momento de su elaboración	8572 gr
Peso después del tiempo de curado	6529 gr

Fuente: Autores.

A cada uno de los 18 adobes elaborados con un 90% de material, 8% de ceniza y 2% cáscara de yuca, se les adicionó aproximadamente 1,5 litros de agua, para realizar la mezcla. Una vez elaboradas las 18 unidades de adobe, se expusieron

al sol durante aproximadamente 4 horas, y las siguientes 20 horas se pasaron a un lugar de apilamiento, donde cada 20 minutos se les suministró un regado de agua constante. Una vez culminado el proceso de curado de 28 días, los adobes fueron trasladados a la Universidad Industrial de Santander, donde se les realizaron pruebas para evaluación de sus propiedades, (Figura 30).

Figura 30. (a), (b) y (c) Mezcla del material. (d) Adobes después de 4 horas de su elaboración. (e) Después de 5 días de curado. (f), (g), (h), (i) Después de 28 días de curado.



Fuente: Autores.

5.5.4.5 Mezcla 5 (90% materia prima + 10% ceniza). Estos adobes fueron elaborados con una mezcla del material extraído de la cantera y ceniza (material

escoráceo) recolectada del horno de la ladrillera. Todo el material fue previamente tratado siguiendo las normas establecidas para su elaboración, (Tabla 7).

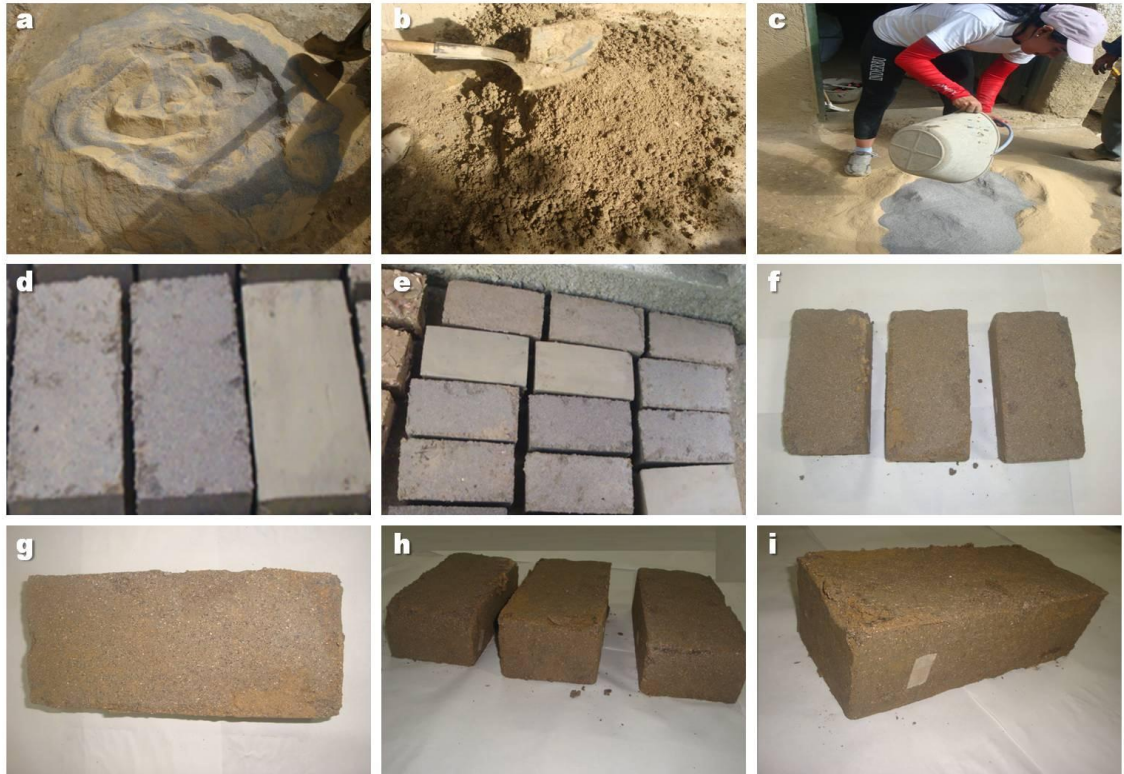
Tabla 7. Características promedio de los adobes de 90% materia prima + 10% ceniza.

UNIDAD ADOBE	CARACTERÍSTICA
Cantidad de materia prima	90%
Aditivo suministrado	Ceniza
Cantidad de aditivo suministrado	10%
Peso al momento de su elaboración	8572 gr.
Peso después del tiempo de curado	6317 gr

Fuente: Autores.

A cada uno de los 18 adobes realizados con 90% de material y 10% de ceniza, se les adicionó aproximadamente 2,1 litros de agua, para realizar la mezcla. Una vez elaboradas las 18 unidades de adobe, se expusieron al sol durante aproximadamente 4 horas, las siguientes 20 horas se pasaron a un lugar de apilamiento, donde cada 20 minutos se les suministró un regado de agua constante. Una vez culminado el proceso de curado de 28 días, los adobes fueron trasladados a la Universidad Industrial de Santander, donde fueron realizados ensayos para evaluación de sus propiedades, (Figura 31).

Figura 31. (a), (b) y (c) Mezcla del material. (d) Adobes después de 4 horas de su elaboración. (e) Después de 5 días de curado. (f), (g), (h), (i) Después de 28 días de curado.



Fuente: Autores.

La elaboración del total de los adobes, integrando todas las mezclas y dosificaciones, tuvo una duración de 2 días, estos periodos se tuvieron en cuenta, para realizar todos los análisis posteriores, debido a que es importante que todos tenga el mismo tiempo de curado, para no alterar los resultados y tener una fuente confiable de ellos. Si bien existen técnicas de campo para conocer cualitativamente la idoneidad de un suelo para construcciones en base al adobe, es con ensayos de laboratorio donde se alcanza con rigor dicho conocimiento, permitiendo conocer las proporciones adecuadas de cada elemento que lo constituye, con el fin de obtener las propiedades óptimas.

5.6 FASE DE PRUEBAS DE RESISTENCIA

En el Laboratorio de Resistencia de Materiales de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Industrial de Santander, se llevaron a cabo las pruebas de resistencia a la compresión, de acuerdo a la norma NTC 4017, donde se le aplicaron esfuerzos compresivos a 5 adobes por cada mezcla obtenida, para un total de 25 adobes, se midió el comportamiento que toman frente a dichos esfuerzos, con el fin de establecer el nivel de deformación del material; también se realizaron las pruebas de flexión, de acuerdo a la norma NTC 4017, a 5 adobes por cada mezcla, para un total de 25 adobes, donde se midió la resistencia máxima a la flexión, midiendo sus esfuerzos. Finalmente en el Laboratorio de Acondicionamiento y Fabricación de Probetas de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Industrial de Santander, se realizaron las pruebas de absorción, según la norma NTC 4017, a 5 adobes por cada dosificación obtenida, para un total de 25 adobes, donde se midió el máximo de agua que absorbe cada adobe en el transcurso de 24 horas, a su vez se llevó un control de las dimensiones iniciales de los bloques y las finales, para determinar empíricamente su durabilidad.

5.7 FASE DE INTEGRACIÓN DE INFORMACIÓN E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Durante esta fase se llevó a cabo la integración de la información recolectada a lo largo del desarrollo del proyecto, así como la interpretación de los resultados obtenidos en cada una de las fases anteriores, teniendo en cuenta cada una de las pruebas realizadas al material y a los adobes, se definió cuáles fueron las dosificaciones más apropiadas y que propiedades se mejoraron dentro de cada una de ellas.

5.8 FASE DE ELABORACIÓN DEL INFORME FINAL

Finalmente, durante esta fase se realizó la preparación del informe final del proyecto, el cual presenta los resultados de la investigación.

6. CONTEXTUALIZACIÓN GEOLÓGICA

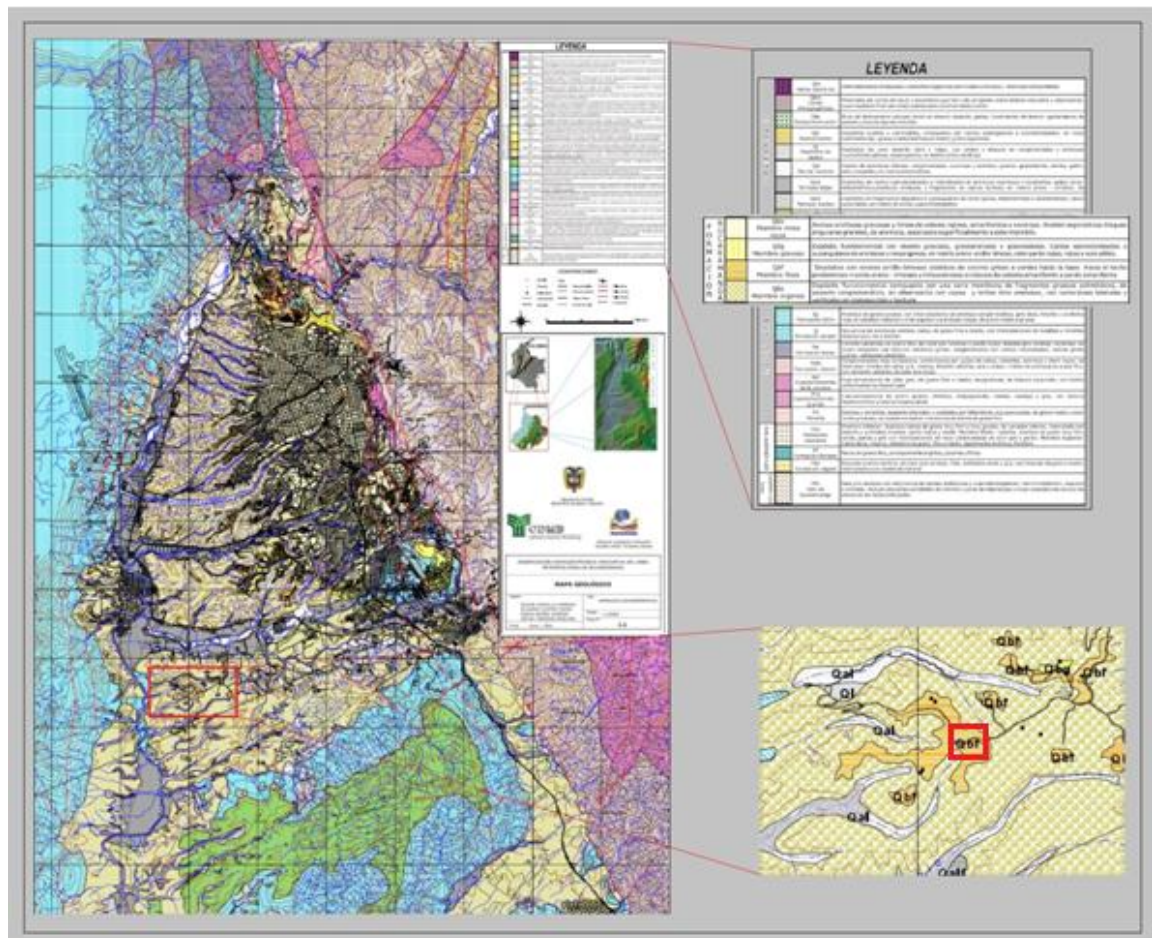
Dwight *et al.* (1977). El área de estudio está ubicada en el flanco Occidental de la Cordillera Oriental de Colombia, en el bloque colgante de la Falla de Suarez, estructura de carácter regional con rumbo aproximado Norte – Sur. Esta estructura corta los depósitos cuaternarios de la meseta de Bucaramanga (terraza y conos de deyección) poniendo en contacto, al Oriente del municipio de Girón, la Formación Girón con los depósitos cuaternarios de la Formación Bucaramanga. (Figura 32).

6.1 ESTRATIGRAFÍA REGIONAL

Los depósitos Cuaternarios en el área de estudio son muy variados en su origen y composición, formando terrazas aluviales y coluviones. Sin embargo la extracción de materiales en la Ladrillera ERGO Durán y García Ltda., se hace del abanico de la Formación Bucaramanga.

6.1.1 Depósitos Cuaternarios. Los Depósitos Cuaternarios en la zona de trabajo se pueden clasificar en dos tipos: La Formación Bucaramanga, y los depósitos aluviales recientes de coluviones.

Figura 32. Mapa geológico regional del área de estudio.



Fuente: Tomado de Ingeominas, CDMB, 2001, y modificado por autores.

6.1.1.1 Formación Bucaramanga:

Autor: Descrita inicialmente por De Porta (1958).

Descripción Litológica: Se trata de un importante depósito sedimentario de edad Cuaternaria que morfológicamente corresponde a un abanico aluvial erosionado, posiblemente asociado en su mayor parte al río Suratá, acumulado sobre una depresión de origen tectónico, sobre el cual se ubica el casco urbano de la ciudad

de Bucaramanga. La formación Bucaramanga es disectada por varias quebradas, la mayoría afluentes del río de Oro, conformando un drenaje dendrítico subparalelo. De acuerdo con la granulometría, morfología, agentes de transporte y fuentes de los materiales, esta unidad se acumuló en un ambiente típicamente fluvial, donde alternan materiales de origen aluvial tipo cono de deyección, flujos de escombros, canal y lagunar, (Ingeominas, CDMB, 2001).

De Porta (1958) divide la formación Bucaramanga en 3 niveles: a) un paquete inferior con más de 150 m de espesor, conformado por niveles discontinuos de gravas, clasto soportado, con lentes arenosos intercalados; b) una capa relativamente delgada de 10 a 18 m de espesor, ubicada en la parte intermedia a alta, compuesta de sedimentos arcillosos, la cual se extiende por una buena parte de la terraza; y c) un nivel superior de 8 a 15 m de espesor, constituido por una mezcla de fragmentos angulares gruesos y finos arenosos. Algunos trabajos de Hubach, (1952) y Niño y Vargas, (1992) proponen 5 miembros definidos de base a techo como: Calcáreo, Órganos, Finos, Gravoso y Limos Rojos. En el trabajo Zonificación sismogeotécnica indicativa del área metropolitana de Bucaramanga, no encontraron límites estratigráficos claros que permitan separar el miembro Órganos del miembro Calcáreo, por lo que proponen dividir la formación Bucaramanga, de base a techo, en los siguientes miembros: Órganos (Qbo), Finos (Qbf), Gravoso (Qbg) y Limos Rojos (Qblr), (Ingeominas, CDMB, 2001).

Espesor: Aumenta de Oriente a Occidente y aunque el valor real de éste se desconoce, siendo actualmente motivo de investigación, algunos cortes geológicos permiten estimar, en los sectores más profundos, valores promedios cercanos a los 250 m.

Límites: Al Nororiente y Oriente con el Macizo de Santander, al Noroccidente y Occidente con el cerro de Palonegro y el río de Oro, y al Sur con la Mesa de Ruitoque. Presenta una superficie suavemente ondulada, con pendiente

ligeramente inclinada al occidente, entre 2° y 7°, y una extensión aproximada de 60 a 80 km².

Edad: Cuaternaria, de acuerdo con las dataciones paleomagnéticas publicadas en el proyecto hidroeléctrico Fonce-Suárez, la parte más antigua de la formación Bucaramanga tiene unos 730.000 años ubicándola dentro del Pleistoceno medio-superior.

6.1.1.1.1 Miembro Órgano (Qbo). Definido por Hubach (1952), aflora en las laderas y escarpes de la parte Occidental de la Meseta de Bucaramanga y el área Metropolitana, en los alrededores del municipio de Girón, anillo vial, en las estribaciones de la parte Norte de la mesa de Ruitoque y en los cortes de la carretera que comunica la población de Girón con la ciudad de Bucaramanga. Según Mancera y Salamanca (1994), con base en columnas realizadas, correlaciones estratigráficas y cortes topográficos, se estima que su espesor podría superar los 180 m, (Ingeominas, CDMB, 2001).

Morfológicamente este miembro constituye valles en “V” y se caracteriza por erosionarse fácilmente, formando surcos, cárcavas y tierras que dan formas de estoraques que alcanzan alrededor de 15 m de altura y sobre él se desarrolla un drenaje dendrítico subparalelo. De acuerdo con Bueno y Solarte (1994), corresponde a niveles polimícticos de fragmentos gruesos, de aspecto conglomerático, en alternancia con capas y lentes limo arenosos. Hubach (1952) describe niveles lenticulares limoarenosos, con espesores hasta de 5 m, niveles conglomeráticos, débilmente consolidados, clasto soportados y grano soportados, en forma de capas gruesas a muy gruesas, con espesores hasta de 15 m. Estos se componen en su mayoría de areniscas silíceas de grano medio, bien cementadas y en menor proporción de fragmentos de rocas ígneas ácidas de textura fanerítica, neis micáceo de color amarillo ha rosado, areniscas lodosas

rojizas de grano fino y alto contenido de micas, cuarzo lechoso, lilitas y cherts. Los niveles gravosos presentan matriz arcillosa, pardo amarillenta, con algunas variaciones a gris amarillento. Los feldespatos en las rocas se encuentran moderadamente meteorizados, (Ingeominas, CDMB, 2001).

6.1.1.1.2 Miembro Finos (Qbf). Éste nivel fue reconocido y definido por Hubach (1952). Se ubica estratigráficamente entre el nivel inferior de la Formación Bucaramanga (Miembro Órganos) y el nivel superior (Miembro Gravoso) en contactos netos plano paralelos. Es una extensa capa lenticular horizontal, más o menos continua, de unos 15 m de espesor promedio, donde alternan niveles arcillosos, limoarenosos y arenolimosos, de colores gris verdosos. Los mejores afloramientos se encuentran en las canteras de la antigua ladrillera Bucaramanga y en la empresa de ladrillos y tubos donde es explotada para la producción de ladrillos y tejas. Otros sectores donde aflora son los barrios Ciudadela Real de Minas, Campo Hermoso y La Feria entre otros, (Ingeominas, CDMB, 2001).

La geometría de sus niveles es tabular a lenticular, con espesores que oscilan entre 5 y 40 cm, de estratificación plana paralela, cruzada y ondulosa. La secuencia del miembro Finos se puede dividir en dos conjuntos: 1) Conjunto Arcilloso: Localizado hacia la base, se caracteriza por ser arcillo-limoso, masivo, de colores grises a verdes, con estratificación plana paralela, en donde el espesor varía ampliamente, como en el barrio el Porvenir (9 m) y cuchilla de Palomitas (2 m) y 2) Conjunto Arenoso: Se localiza hacia el techo, donde muestra una alternancia de niveles arenolimosos con niveles limoarenosos arcóscicos de colores amarillento a pardo amarillento. Hacia la base de este conjunto predominan costras y un nivel arcilloso pardo oscuro. En la cuchilla Palomitas solo se observan las arcillas grises a verdes en contacto erosivo con el supra yacente miembro Gravoso (Qbg), (Ingeominas, CDMB, 2001).

En el barrio Malpaso, el miembro Finos, muestra niveles arenosos abigarrados, con un nivel intermedio de base conglomerática, suprayaciendo un nivel arcillo arenoso, de color gris verdoso, moteado de blanco, producto de la alteración de los feldespatos. En los sitios donde aflora su geomorfología corresponde a escarpes, observándose un grado de alteración moderada con consistencia plástica para el Conjunto Arcilloso. El Miembro Finos es, en gran parte del área, un nivel guía de baja permeabilidad. El ambiente de depositación de este miembro es de depósitos de ambiente aluvial de intercanales poco profundo, de baja energía y de escasas interdigitaciones de flujo de escombros de facies arenosas, (Ingeominas, CDMB, 2001).

6.1.1.1.3 Miembro Gravoso (Qbg). Definido por Niño y Vargas (1992), ubicado sobre la escarpa Occidental y Norte de Bucaramanga, también conforma los escarpes superiores de la parte alta del nacimiento de la quebrada La Iglesia, en los alrededores de los barrios Lagos del Cacique, Diamante II y San Luis. Otras secciones importantes se localizan en los barrios La cumbre, La Feria, Polvorines, Don Bosco y la vía a Café Madrid. La morfología que presenta el miembro Gravoso es similar a la del Órganos en los sectores de los valles de las quebradas, pero hacia la parte Sur de la quebrada la Iglesia la morfología corresponde a colinas suaves onduladas, con un drenaje dendrítico, (Ingeominas, CDMB, 2001).

Según, Niño y Vargas, 1992M, su espesor varía entre 8 y 30 m; presenta niveles gravosos, gravoarenosos y gravolodosos. Los cantos son, en su mayor parte, tamaño grava y bloques de roca, en menor cantidad, subangulares a subredondeados, en matriz areno-arcillo-limosa, color pardo rojizo, rojizo y ocre pálido; en general el depósito es matriz soportado, aunque localmente se presenta clasto soportado. El contacto inferior con el miembro Finos es neto, continuo y suavemente ondulado y el contacto superior con el miembro Limos rojos es

gradacional. La matriz representa alrededor de un 60% del volumen total, con aproximadamente unas 2/3 partes de arena tamaño medio a grueso y 1/3 de finos, los cantos están compuestos en su mayor parte por rocas metamórficas-ígneas del Macizo de Santander, y areniscas cuarzosas, areniscas limosas y limolitas moradas de las Formaciones Girón y Jordán. La matriz, por su parte, es de composición cuarzo-feldespática micácea (cuarzo, plagioclasa, láminas de muscovita), de consistencia media y de baja cohesión, (Ingeominas, CDMB, 2001).

Existen unos depósitos bastante meteorizados que cubren el cerro La Cumbre, probablemente pertenecientes al Miembro Gravoso, los cuales pudieron ser levantados por acción tectónica; en éste caso, los materiales que lo componen son en su mayor parte cantos y bloques de rocas sedimentarias de las Formaciones Girón y Jordán, cuyas características litológicas ya se han perdido debido a su alteración, embebidos en una matriz arcillosa de colores rojo y amarillo. Los depósitos que conforman el miembro Gravoso presentan un grado de meteorización medio a alto. Los bajos porcentajes de humedad natural ($W < 15\%$), el predominio granular y el grado de meteorización sugiere que, al menos la parte superficial de este miembro, tiene poca compactación y buena permeabilidad. El ambiente de depositación indica un dominio de flujo de escombros, (Ingeominas, CDMB, 2001).

6.1.1.1.4 Miembro Limos Rojos (Qblr). Nivel definido por Julivert (1963). Este miembro se localiza en el sector urbanizado de Bucaramanga, aunque no en forma uniforme y se continúa hacia el sur, hasta el sector norte del municipio de Floridablanca, (Ingeominas, CDMB, 2001).

Según, Niño y Vargas, 1992. Geomorfológicamente este miembro constituye lo que anteriormente se denominaba como “Meseta de Bucaramanga”, con relieve

semiplano y pendientes entre 2 y 7%; el drenaje es escaso paralelo y superficial. Está constituido por arenas arcillosas gravosas y limos de colores rojizos, amarillentos y naranjas. Se observó la presencia esporádica de bloques angulares de arenisca asociados superficialmente a este miembro; estos cantos pueden estar embebidos dentro de limos rojos y se caracterizan por estar meteorizados. Suprayace al segmento gravoso y su contacto con éste es gradacional, (Ingeominas, CDMB, 2001).

La parte más superficial de este miembro se encuentra altamente meteorizada, formándose en algunos sectores niveles de oxidación que le ayudan a incrementar su compactación y resistencia a la erosión. El ambiente de depositación indica un dominio de flujo de lodos combinados con caídas de bloques de la pendiente del macizo, (Ingeominas, CDMB, 2001).

6.1.1.2 Depósitos Aluviales. Corresponden a sedimentos no consolidados de aluviones, coluviones y derrubios y se encuentran principalmente en las márgenes de los ríos y quebradas del área.

6.1.1.3 Depósitos Coluviales. Conformados por antiguos movimientos de remoción en masa; se localizan en la parte baja de escarpes montañosos como producto de meteorización y fracturamiento, su granulometría es irregular y se caracterizan por presentar cantos angulares.

GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

El área de estudio, se encuentra ubicada entre el macizo de Santander y el Valle del Magdalena Medio Santandereano. El área urbana del municipio se sitúa en la

llamada meseta de Bucaramanga, la cual es una depresión tectónica enmarcada por un sistema de fallas longitudinales y transversales. Esta depresión fue definida como una dovela por Julivert *et al.* (1958), como un Graben por Tripton *et al.* (1963), o como una cuenca de tracción por León y Albino *et al.* (1991).

Estructuralmente se considera como un bloque hundido limitado al este por el sistema de fallas Bucaramanga – Santa Marta, que lo separa del macizo de Santander, al oeste por la falla del Suárez – Rio de Oro, que lo separa de la mesa de Lebrija, al norte por la intersección de las dos fallas anteriores y por la falla de los Angelinos y al sur por el sistema de fallas de Ruitoque y Los Santos, este sistema es ortogonal a la falla de Bucaramanga y le permitió el levantamiento de las mesas de Ruitoque y los Santos, (Figura 33).

El sistema de fallas de Bucaramanga-Santa Marta tiene 600 km de largo, extendiéndose desde el sur en Soápage (Boyacá) hasta la costa Atlántica en la ciudad de Santa Marta. Cruza por el borde oriental de la ciudad de Bucaramanga sirviendo de límite entre el macizo de Santander (zona montañosa) y los depósitos de abanicos aluviales. Presenta un movimiento sinistral en 110 Km basándose en la similitud entre el zócalo y los intrusivos jurásicos de la cordillera Central y el Macizo de Santa Marta y entre las secuencias cretáceas y terciarias de la cuenca del Magdalena Medio y del Cesar (Campbell, 1965 en León, 1992 en el esquema de ordenamiento territorial municipio de los santos, 2001.).

La falla del Suárez es un elemento regional, con una longitud cercana a los 100 Km, de rumbo promedio N30E y buzamiento aproximado de 69°W. Su trazo es sinuoso y con ramificaciones (Díaz y Suárez, 1998 en el esquema de ordenamiento territorial Municipio de los Santos, 2001.). Esta falla está representada por una fractura que se orienta paralela al río Suárez a poca distancia de su cauce y por su margen izquierda. La falla del Suárez hunde su labio Este y tiene un juego muy reciente expresado en su marcada influenciada en

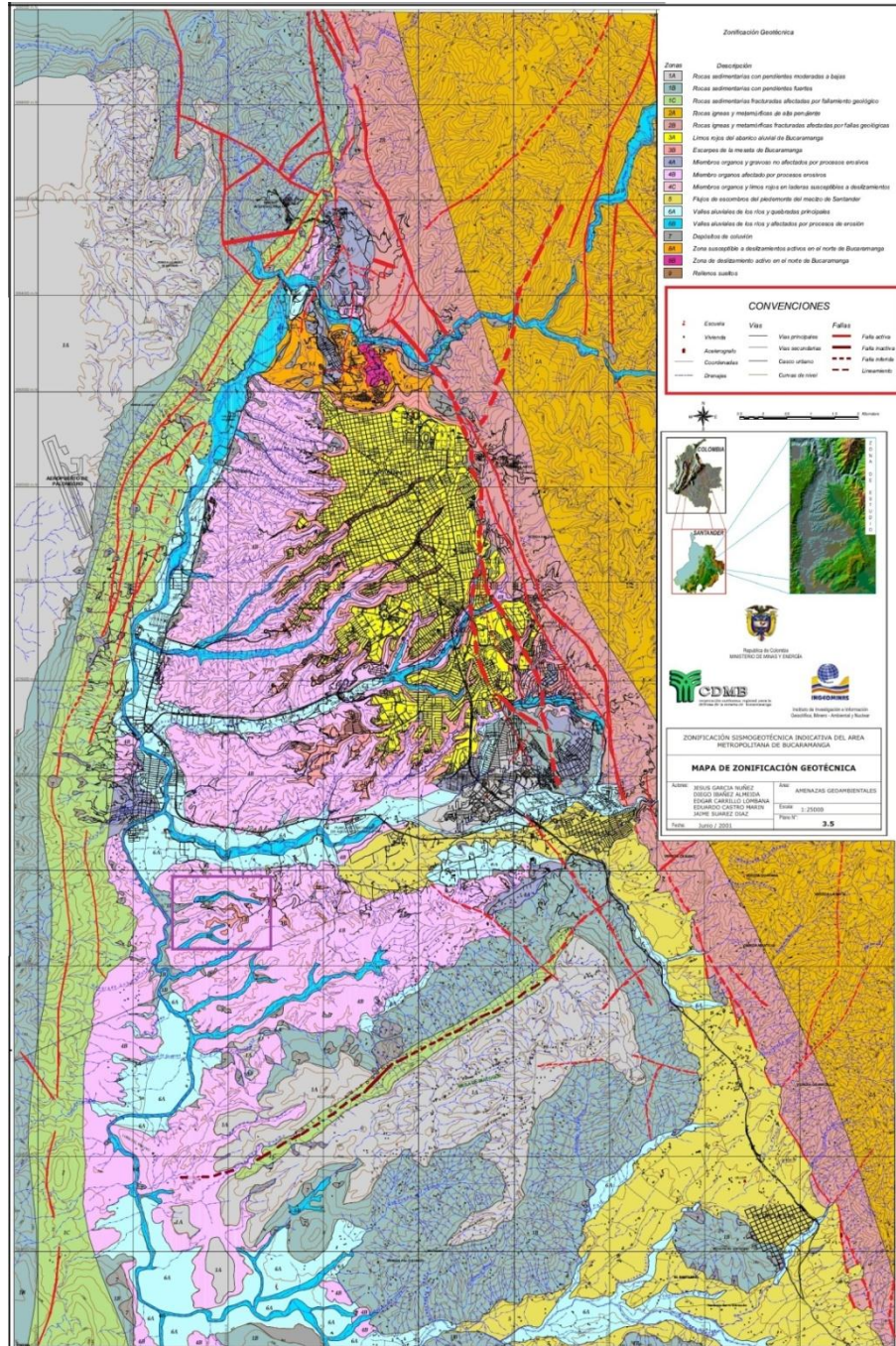
a morfología y en la red hidrográfica. (Julivert, 1961 en el esquema de ordenamiento territorial Municipio de los Santos, 2001.). La falla del Suárez presenta un desplazamiento sinistral, el cual es transmitido de manera regional a las fallas presentes en el Municipio de los Santos.

El sistema de fallas del Suárez choca contra la falla de Bucaramanga en los alrededores de las canteras de Cementos Diamante al norte de la ciudad.

Falla de Ruitoque. Esta falla es ortogonal al sistema de la falla de Bucaramanga, es de tipo normal y es la responsable del levantamiento de la Mesa de Ruitoque, afecta la formación Los Santos y la pone en contacto fallado con la formación Girón, no se han reportado comportamientos de neotectónica en esta falla. (Plan de Ordenamiento Territorial de San Juan de Girón 2000-2009.)

Falla los Santos. Es una falla inversa de bajo ángulo, con dirección NW-SE y un buzamiento aproximado de 25° al este convergencia occidental; controla el cauce de la quebrada la Santera y enfrenta las areniscas de la formación los Santos en el bloque este con los niveles calcáreos y arenosos de la formación Rosablanca en el bloque oeste. Constituye una prolongación de la falla de Aratocha. Evidencias en campo son los bruscos aumentos en el buzamiento de las capas del bloque este al acercarse a la falla y los cambios litológicos a lado y lado. (Esquema de ordenamiento territorial Municipio de los Santos, 2001).

Figura 33. Mapa de zonificación geotécnica, donde se resaltan las principales fallas.



Fuente: Tomado de Ingeominas, CDMB, 2001, y modificado por autores.

7. RESULTADOS

En este capítulo se resumen los aspectos más importantes en el levantamiento estratigráfico de la Formación Bucaramanga realizada en un sector de la Ladrillera ERGO Durán y García Ltda. Además, se muestran los resultados obtenidos y su interpretación a partir de los ensayos de laboratorio correspondientes al análisis granulométrico por tamizado y por hidrometría, límites de atterberg, descripción de muestras de mano, análisis de Difracción de Rayos X y Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier, realizados sobre la materia prima; así como también los ensayos de compresión simple, flexión y absorción para adobes con sus diferentes mezclas y porcentajes establecidos para cada material.

7.1 ESTRATIGRAFÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO

Los aspectos más importantes en el levantamiento de la información estratigráfica de la Formación Bucaramanga, en la sección correspondiente a la Ladrillera ERGO Durán y García Ltda., constó de 13 segmentos de base a techo, localizados dentro del Miembro Finos (Qbf) que se describen a continuación y se reflejan en la columna estratigráfica levantada, mostrada en la figura 41.

De los 13 segmentos levantados en el área de interés, se lograron catalogar 3 de ellos sin interés para la fabricación de adobes, debido a su composición conglomerática, los 10 restantes, están conformados por 6 segmentos arcillosos y 4 arenosos, que se describen a continuación, (Figura 34, 36 y 39).

Figura 34. Panorámica de los cinco primeros segmentos aflorantes al Oeste del área de estudio.



Fuente: Autores.

Segmento 1: Este nivel no es de fácil observación, debido a que el material es inconsolidado, su espesor es incierto, porque no se tiene claro su contacto inferior, pero se tomó de 50 centímetros, debido a que esta es la medida que hay desde donde empieza a aflorar el segmento en superficie hasta su techo. Su contacto con el segmento superior es neto. Presenta estratificación plano paralela y grietas de desecación rellenas por el material del segmento suprayacente. Texturalmente se caracteriza por presentar intercalaciones de capas de acillas arenosas, de plasticidad media con capas de limos con gravas de arenisca de grano medio, de color naranjado y algunos cantos de areniscas de grano medio de color naranja más claro, se observan algunas manchas verdosas que van perpendicular a la estratificación y de forma aleatoria en el segmento, con algunos cambios granulométricos, por lo cual se definió composicionalmente como: “Arcillas arenosas”, (Figura 35a).

Segmento 2: Tiene un espesor aproximado de 35 centímetros, y se observa en contacto neto con su segmento superior e inferior. Presenta estratificación plano paralela. Está compuesto por intercalaciones de capas de arcillas de plasticidad media, lentes de limos con matriz limo-arenosa, de consistencia firme, sus granos son muy finos a finos con intraclastos lodosos y capas de arenas de grano muy fino, y presentan una coloración rojiza, por lo cual se definió composicionalmente como: “Arcillas limoarenosas”, (Figura 35 a y b).

Segmento 3: Tiene un espesor aproximado de 1,20 metros, y se observa en contacto neto con su segmento superior e inferior. Presenta estratificación plano paralela. Está compuesto por una secuencia granocreciente de arcillas de plasticidad media a alta, de consistencia firme, con arenas de grano fino y capas con gradación normal de areniscas de grano medio a fino, granos subredondeados, selección de regular a buena y se define composicionalmente como: “Arcillas arenosas”, de color rojizo a café. (Figura35c).

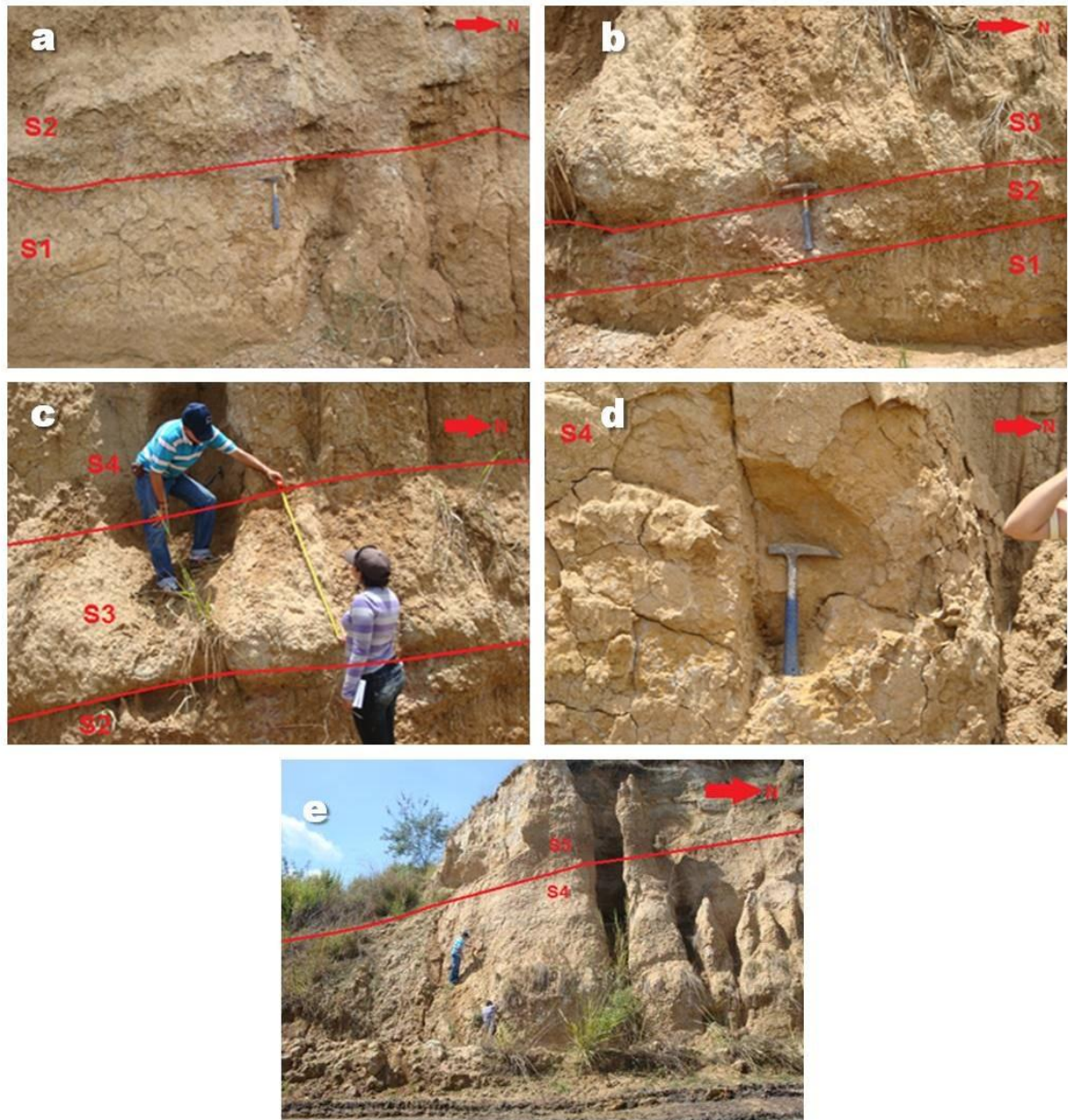
Segmento 4: Tiene un espesor aproximado de 1,75 metros, y se observa en contacto neto con su segmento superior e inferior. Presenta estratificación plano paralela. Texturalmente se caracteriza por presentar en la base lentes de arcilla en capas de arenas de grano fino y capas con gradación normal de areniscas de grano medio a fino, en la parte media del segmento capas con gradación normal de areniscas de grano medio a fino en matriz arcillosa alteradas con capas de areniscas de grano fino y capas de arcillas de baja plasticidad y fracturadas, en el tope capas de areniscas de grano medio alteradas con arcillas. Los granos son subredondeados a redondeados con buena selección, con laminación plano paralela continua a discontinua y algunos intraclastos de limolita de color verdoso sin orden preferencial, composicionalmente se define como: “Arenas arcillosas”, de color ocre. (Figura 35d).

Segmento 5: Tiene un espesor aproximado de 1,20 metros, y se observa en contacto neto con su segmento superior e inferior. Las capas del segmento son tabulares de sublitoconglomerado clastosoportados de gránulos a guijas medias y gruesas con escasos guijarros flotantes, y sublitarenita conglomerática de grano muy grueso, medio y fino con gránulos y guijos muy finos y finos, los granos y las gravas son angulares a subangulares y subelongados, el calibrado en todas partes es pobre, por lo cual se define composicionalmente como: “Conglomerado compuesto por gránulos y guijos”, su matriz presenta un color crema. (Figura 35e).

Segmento 6: Tiene un espesor aproximado de 2,65 metros, y se observa en contacto neto con su segmento superior e inferior. Presenta estratificación plano paralela. En general se distingue por su contenido de material fino representado en niveles de arcillas y limos fracturados y muy plásticos, que se intercalan principalmente con areniscas de grano muy fino a fino con matriz limosa o arcillosa, poco cementadas, por lo cual se define composicionalmente como: “Arcillas limosas”, de color verdoso. (Figura 37a).

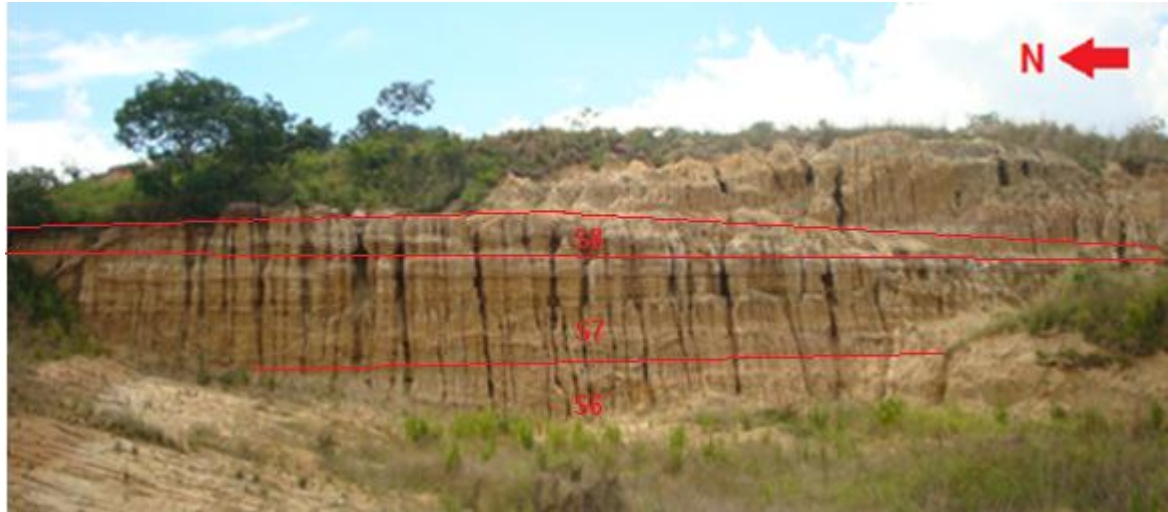
La figura 35, presenta el contacto entre los 5 primeros segmentos aflorantes en el sector de la Ladrillera ERGO Durán y García Ltda.

Figura 35. (a) Contacto entre segmento 1 y 2. (b) Contacto inferior y superior del segmento 2. (c) Contacto inferior y superior del segmento 3. (d) Segmento 4. (e) Contacto entre los segmentos 4 y 5.



Fuente: Autores.

Figura 36. Panorámica de los segmentos 6, 7 y 8 aflorantes al Este del área de estudio.



Fuente: Autores.

Segmento 7: Tiene un espesor aproximado de 6 metros, y se observa en contacto neto con su segmento superior e inferior, aflorando en el lado este y oeste de la zona de estudio. Presenta estratificación plano paralela. Está conformado por una secuencia granocreciente de base a tope, de capas medianas a gruesas, en contacto neto de arcillas de color blanco verdoso, de plasticidad media y fracturadas, seguidas de una capa arenosa de grano muy fino a fino de color rojiza, altamente meteorizada, con geometría cuneiforme, granos angulares a subangulares y al tope del segmento un paquete de conglomerado areno lodoso de gránulos y guijos. Se define composicionalmente como: “Arenas arcillosas”, de color crema en general. (Figura 37 a y b, y 38a).

Figura 37. (a) Contacto entre los segmentos 6 y 7. (b) Contacto entre los segmentos 7 y 8 aflorantes al Este del área de estudio.



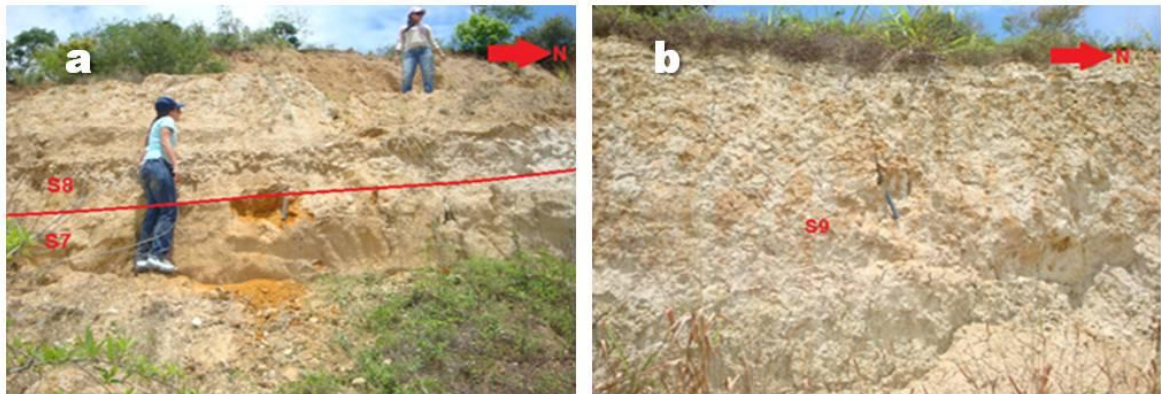
Fuente: Autores.

Segmento 8: Tiene un espesor aproximado de 2,50 metros, y se observa en contacto neto con su segmento inferior. Aflora en el lado Este y Oeste de la zona de estudio, donde se encuentra en contacto neto con su segmento superior e inferior. La litología de este segmento presenta una secuencia granocreciente, es en su mayoría de sublitarenita de grano muy fino ligeramente conglomeráticas; granos subredondeados a redondeados, alteradas aproximadamente a 1 centímetro de la base, compuesto por una capa de arcillas de 0,7 metros de espesor, fracturadas, de plasticidad baja a media, que se adelgaza lateralmente hacia el Sur. El conglomerado, en general se adelgaza lateralmente, acuñaándose hasta llegar a un metro de espesor, el calibrado en todo el segmento es pobre y los granos son subangulares y subredondeados, (Figura 37b y 38a).

Segmento 9: Tiene un espesor aproximado de 4,30 metros y se observa en contacto neto con su segmento superior e inferior. Presenta estratificación plano paralela, con una geometría tabular entre sus niveles, está compuesta por arcillas

masivas de plasticidad media, de consistencia firme, sus granos son muy finos a finos, con coloración naranja y manchas verdosas. (Figura 38b y 39a).

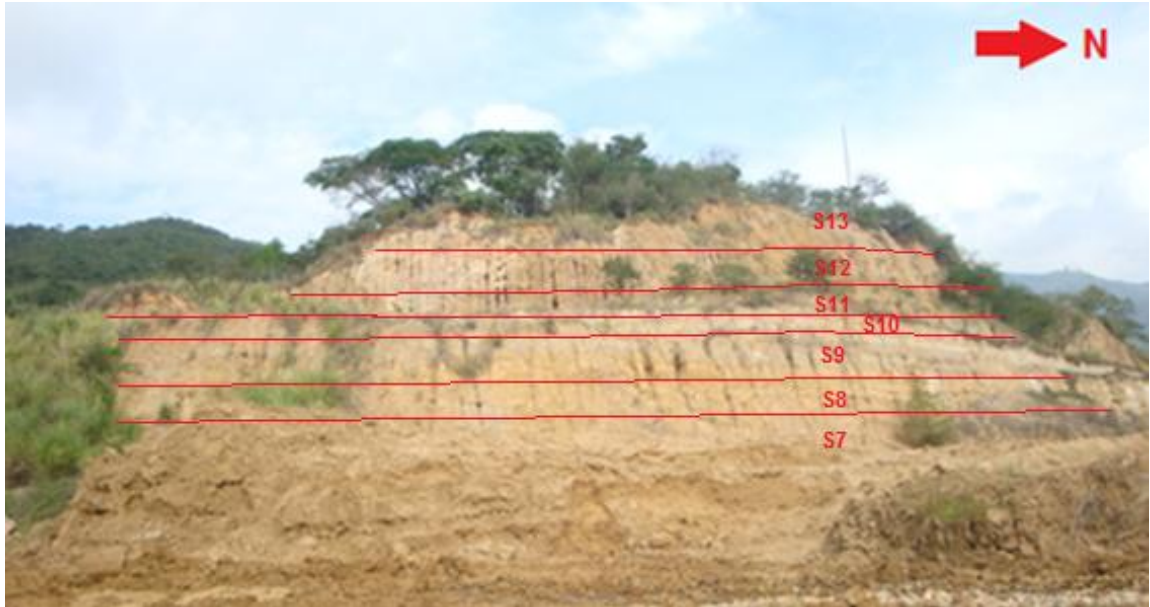
Figura 38. (a) Contacto entre los segmentos 7 y 8 aflorantes al Oeste de la zona de estudio. (b) Segmento 9.



Fuente: Autores.

Segmento 10: Tiene un espesor aproximado de 0,35 centímetros y se observa en contacto neto con su segmento inferior y en contacto difuso con su segmento superior. Presenta estratificación plano paralela. Está compuesta por arenas muy finas en alternancia con algunos niveles limoarenosos de coloración crema, hacia su base se observan arcillas de coloración pardo oscuro en contacto erosivo, aflorando en sitios geomorfológicamente correspondiente a escarpes, mostrando un grado de alteración moderada a baja con consistencia plástica de arcillas, y baja permeabilidad (Figura 40a).

Figura 39. Afloramiento de los segmentos 7 al 13 aflorantes al Oeste del área de estudio.



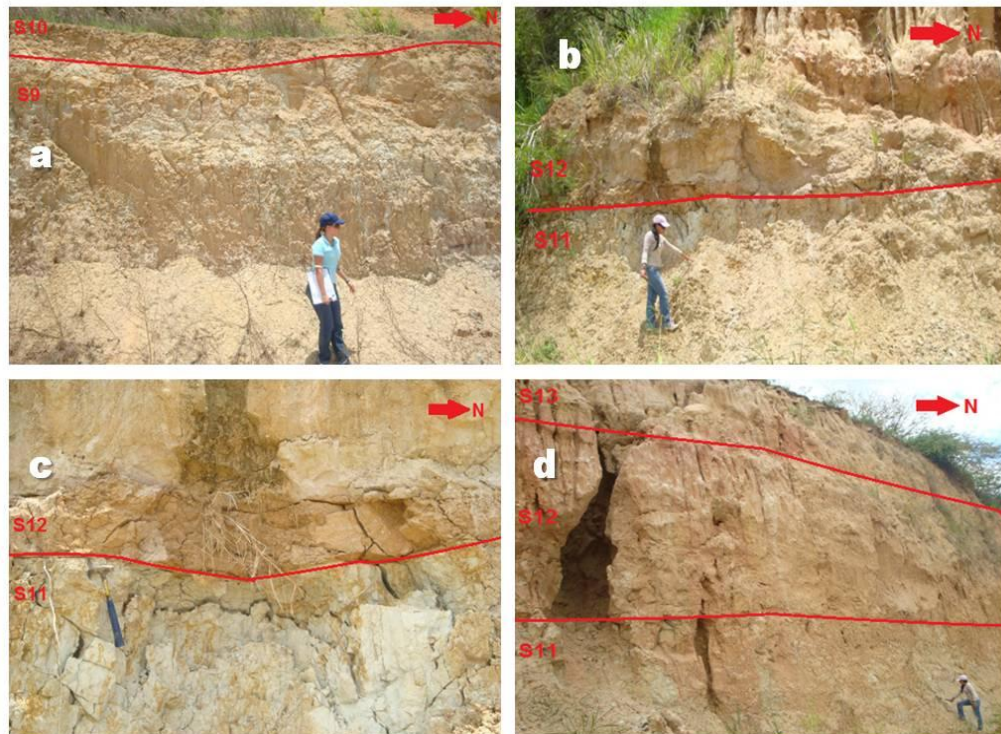
Fuente: Autores.

Segmento 11: Tiene un espesor aproximado de 2,50 metros y se observa en contacto difuso con su segmento inferior y en contacto neto con su segmento superior. Presenta estratificación plano paralela. Está compuesta por intercalaciones de arcillas muy plásticas de coloración verde claro con algunas manchas naranjas, con lentes de limos con matriz arcillosa y algunas capas de arenas de grano fino a muy fino. (Figura 40b, c y d).

Segmento 12: Tiene un espesor aproximado de 3 metros, y se encuentra en una secuencia granocreciente en contacto neto con su segmento inferior y en contacto difuso con su segmento superior. Está compuesto por arenas de tamaño de grano muy fino, ligeramente conglomeráticas, fracturadas y una baja plasticidad, con coloración crema, y algunas intercalaciones de gravas, con granos subredondeados a redondeados, de selección regular a mala, (Figura 40b, c y d).

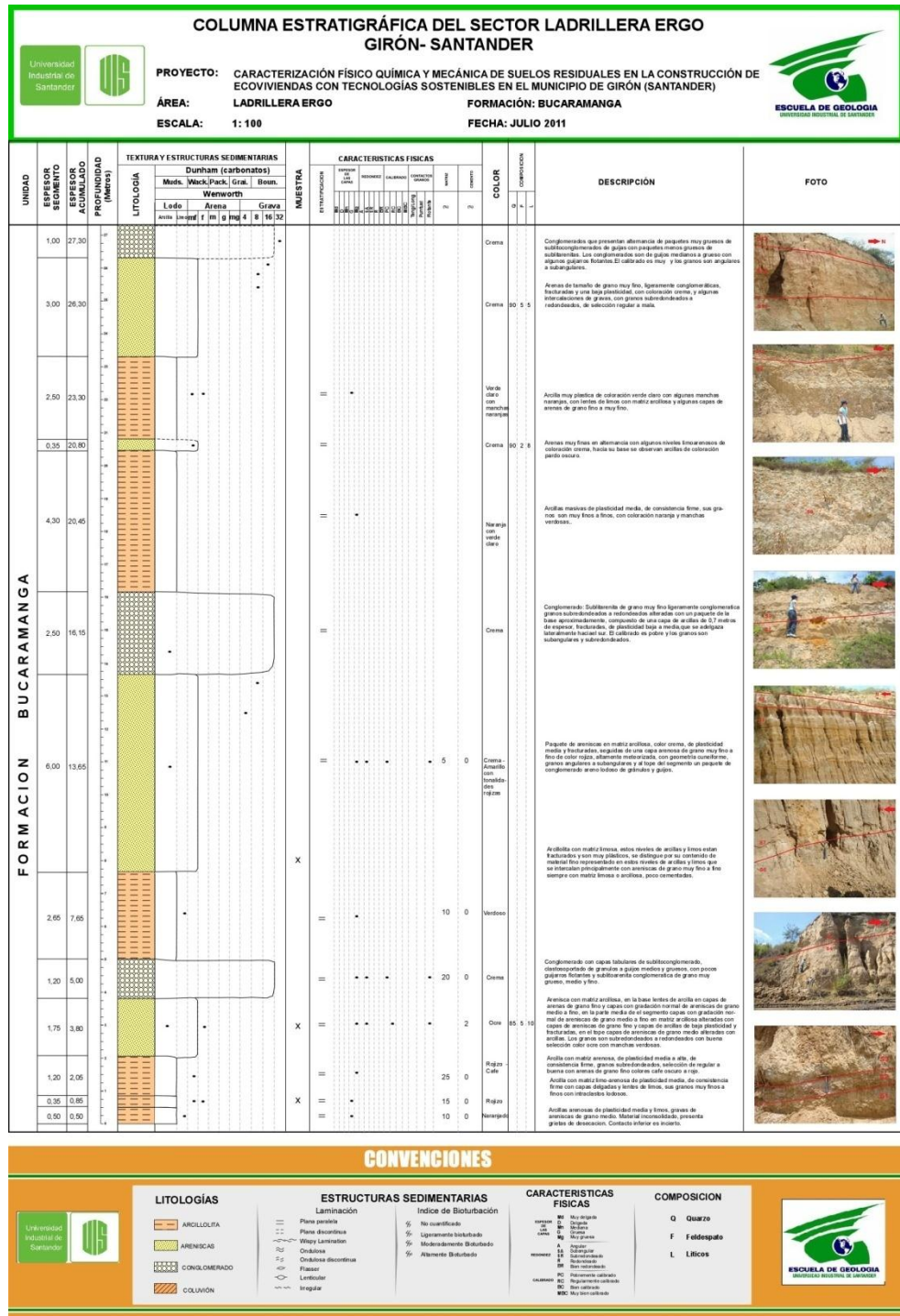
Segmento 13: Tiene un espesor aproximado de 1 metro, y se encuentra en contacto difuso con su segmento inferior. Es un segmento conglomerático que presentan alternancia de paquetes muy gruesos de sublitoconglomerados de guijas con paquetes menos gruesos de sublitarenitas. Los conglomerados son de guijos medianos a gruesos con algunos guijarros flotantes, el calibrado es muy pobre y los granos son angulares a subangulares, (Figura 40d).

Figura 40. (a) Contacto entre los segmentos 9 y 10. (b) Contacto entre los segmentos 11 y 12. (c) Detalle segmentos 11 y 12. (d) Contactos entre segmentos 11, 12 y 13.



Fuente: Autor.

Figura 41. Columna estratigráfica del sector Ladrillera ERGO Durán y García Ltda.



Fuente: Autores.

7.2 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

El análisis granulométrico, se realizó de manera general a la mezcla del material recolectado por tamizado, según la norma I.N.V.E. 123-07: “Análisis granulométrico de suelos por tamizado”, (Tabla 8).

Tabla 8. Análisis granulométrico por tamizado.

MALLA	DIÁMETRO	PESO SUELO	%	% RETENIDO	%
No.	(mm)	RETENIDO (g)	RETENIDO	ACUMULADO	QUE PASA
4	4.750	47,2	1,58%	1,58%	98,42%
10	2	492,5	16,46%	18,04%	81,96%
20	0.850	481,1	16,08%	34,11%	65,89%
40	0.425	355,4	11,88%	45,99%	54,01%
60	0.250	201,9	6,75%	52,74%	47,26%
100	0.150	484,2	16,18%	68,92%	31,08%
200	0.075	528,9	17,67%	86,59%	13,41%
FONDO		401,3	13,41%	100,00%	
MASA					
TOTAL		2992,5			

Fuente: Autores.

El peso total de la muestra, fue de 3000 gramos, y después de realizar el proceso de tamizado, fue de 2992,5 gramos, con un porcentaje de error del 0,25%, menor al 1%, parámetro establecido según las normas para la realización del análisis granulométrico por hidrometría, el cual se realizó de acuerdo a la norma I.N.V.E. 124-07: “Análisis granulométrico por medio del hidrómetro”, (Tabla 9).

Una vez realizado el proceso de tamizado, se obtuvieron resultados del 13,41%, correspondiente a las partículas más finas de la muestra; estas partículas son limos y arcillas. El porcentaje de muestra retenida para esta prueba, fue el tomado

de los materiales más finos que pasan del tamiz 200, retenidos en el fondo, estando el diámetro de las partículas de este porcentaje, en el rango de 0,029 a 0,001 milímetros.

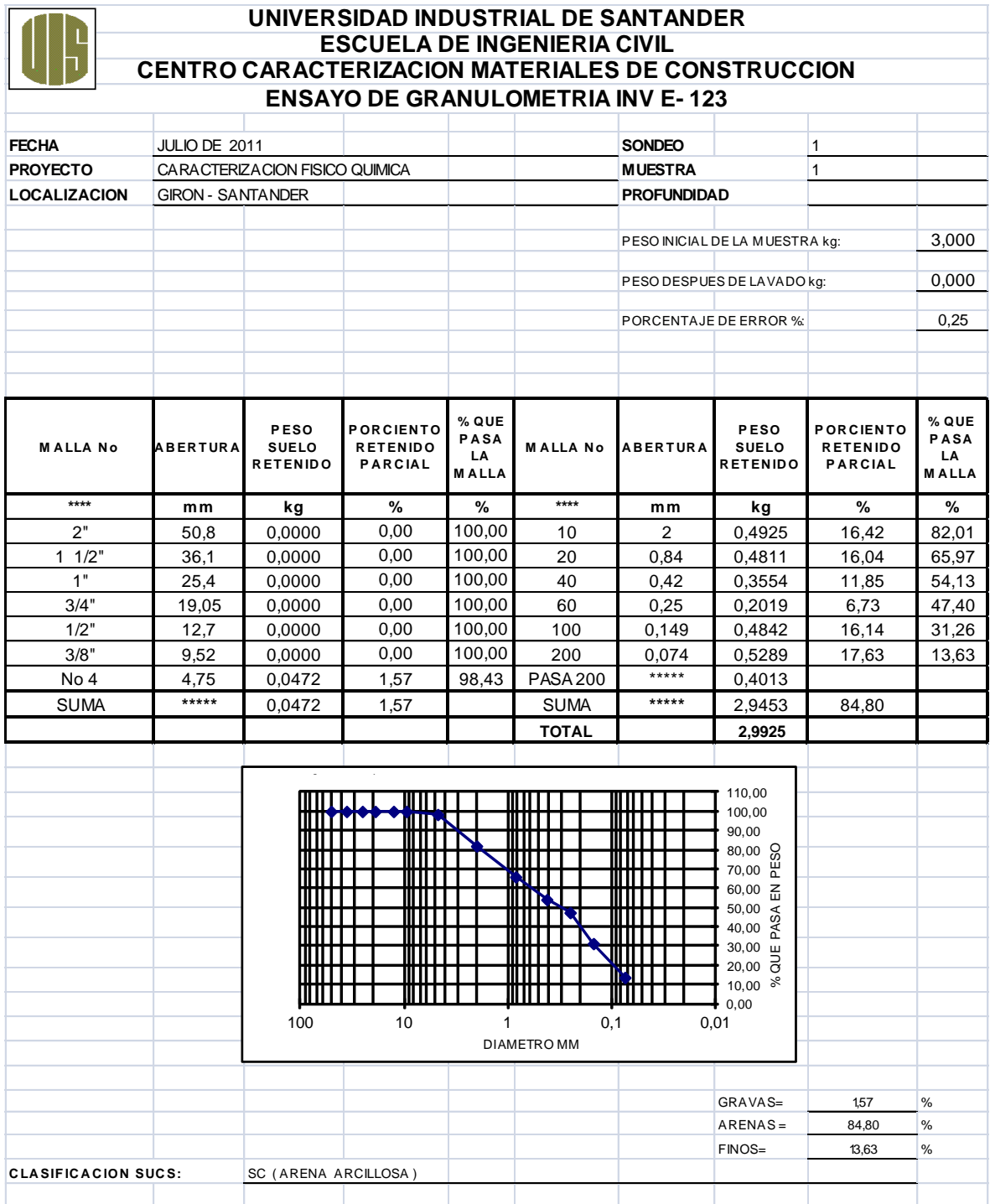
Tabla 9. Análisis granulométrico por hidrometría.

Tiempo (min)	Lectura del Hidrómetro, R	Rcp	% Que Pasa	RcL	L (cm)	A	D (mm)
1	68	50,15	98,29	69	4,9	0,0133	0,029
2	66	48,15	94,37	67	5,3	0,0133	0,022
5	64	46,15	90,45	65	5,6	0,0133	0,014
15	60	42,15	82,61	61	6,2	0,0133	0,009
30	60	42,15	82,61	61	6,2	0,0133	0,006
60	55	37,15	72,81	56	7,1	0,0133	0,005
120	51	33,15	64,97	52	7,8	0,0133	0,003
240	48	30,15	59,09	49	8,3	0,0133	0,002
1440	44	26,15	51,25	45	8,9	0,0133	0,001

Fuente: Autores.

Los resultados obtenidos, fueron relacionados en una gráfica donde las abscisas corresponden al tamaño de los tamices y las ordenadas al porcentaje en peso del suelo que pasa, esta gráfica recibe el nombre de curva granulométrica, (Figura 42), y es tomada de manera general para todo el material recolectado.

Figura 42. Curva granulométrica.



Fuente: Autores.

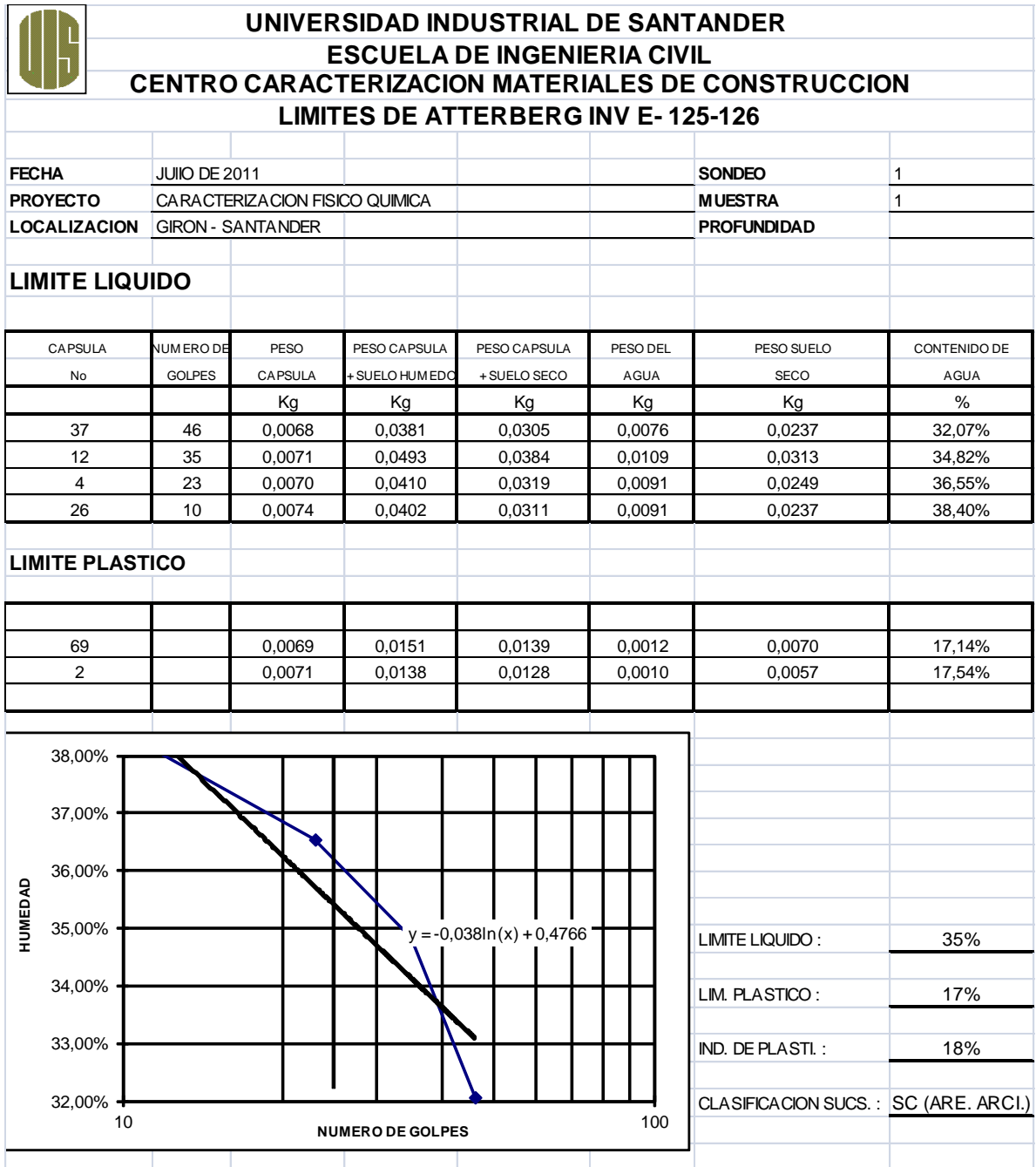
De acuerdo al análisis granulométrico obtenido por tamizado e hidrometría se obtuvo la curva granulométrica, la cual muestra que el material recolectado del frente de explotación de la Ladrillera ERGO Durn y García Ltda., tiene un porcentaje de gravas correspondiente a 1,57%, de arenas 87,80% y de finos 13,63%, dando como resultado, según el sistema unificado de clasificación, un suelo SC, que corresponde a un suelo arenoarcilloso, apto para la fabricación de adobes, sin tener que realizar una variación en su composición.

7.3 LÍMITES DE ATTERBERG

Estos ensayos se realizaron para una muestra representativa recolectada de la mezcla de material que se genera en el frente de explotación, según lo establecido en la norma ASTM D4318, efectuando pruebas para encontrar:

- Límite Líquido (LL), por medio del cual se midió el contenido de humedad del suelo entre el estado semi-líquido y plástico, de acuerdo a la norma I.N.V.E. 125: “Determinación de límite líquido de suelos”, dando como resultado un límite líquido correspondiente al 35%, (Figura 43).
- Límite Plástico (LP), con el cual se midió el contenido de humedad del suelo entre los estados semi-sólido y plástico, de acuerdo a la norma I.N.V.E. 126-07: “Límite plástico e índice de plasticidad de suelos”, dando como resultado un límite plástico correspondiente al 17%, (Figura 43).
- Índice de Plasticidad (%), por medio del cual se midió la diferencia entre los límites líquido y plástico, utilizando la ecuación: $IP = LL - LP$, y dando como resultado un índice de plasticidad correspondiente al 18%, (Figura 43).

Figura 43. Límites de Atterberg.



Fuente: Autores.

En la figura 43, se muestran los resultados para estos ensayos, dando una clasificación, según el sistema unificado de clasificación de SC: arena arcillosa, teniendo en cuenta que para este rango, los Límites de Atterberg deben ser superiores a la Línea A y el IP mayor a 7, obteniendo un resultado de LL=35%, LP=17% e IP=18%.



7.4 DESCRIPCIÓN DE MUESTRAS

Se realizó la descripción macroscópica de dos muestras de mano, recolectadas de manera representativa en los niveles de interés descritos y levantados en la columna estratigráfica (Figura 41), en un estereomicroscopio binocular, a partir de la clasificación de folk (1954), "Registro para descripción de rocas sedimentarias siliciclásticas (> al 50% de terrígenos) en muestras de mano".

La primera muestra descrita es una arenisca de grano muy fino mal calibrada, con un 20% de matriz arcillosa, con muy baja porosidad, poco cemento (6%), y moderadamente meteorizada. (Figura 44, 45 y 48).

La segunda muestra descrita es una arcillolita con matriz limosa, moderadamente meteorizada. (Figura 46, 47 y 49).

Figura 44. Formato descripción de muestras, página 1, muestra VC-001-S4.

		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER ESCUELA DE GEOLOGÍA			
REGISTRO PARA DESCRIPCIÓN DE ROCAS SEDIMENTARIAS SILICICLASTICAS (>50% DE TERRÍGENOS) EN MUESTRA DE MANO					
Número de muestra: VC-001-S4		Localidad: Santander		Municipio: Girón	
Número de foto: VC-59		Sección delgada: <input type="checkbox"/>		Sección delgada pulida: <input type="checkbox"/>	
DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA					
REACCIÓN AL HCL:		SI <input type="checkbox"/>	NO <input checked="" type="checkbox"/>	CARBONATOS 0%	
TIPO DE ROCA: Sedimentaria					
COLOR: Ocre con manchas verdosas					
TEXTURA					
SELECCIÓN O CALIBRADO: Pobremente Calibrado					
REDONDEZ PROMEDIO: Subangular					
ARMAZÓN					
GRAVA		ARENA			LODO
Cantos	% mm	Arena muy gruesa	% mm	Limo	%
Guijarros	% mm	Arena gruesa	% mm	Arcilla	%
Guijas	% mm	Arena media	% mm		
Gránulo	% mm	Arena fina	30% mm		
		Arena muy fina	43% mm		
TOTAL GRAVA	%	TOTAL ARENA	73%	TOTAL LODO	%
Redondez		Redondez	Subangular		
Esfericidad		Esfericidad	a > b = c		
TOTAL DE ARMAZÓN		73%			
MATRIZ					
ARCILLOSA			ARENO LODOSA		
Limo	%	Arena	%	Tamaño promedio	, mm
Arcilla	20%	Limo	%		
		Arcilla	%		
TOTAL MATRIZ LODOSA	%	TOTAL MATRIZ ARENO LODOSA	%		
TOTAL DE MATRIZ		20%			



Fuente: Autores.

Figura 45. Formato descripción muestras, página 2, muestra VC-001-S4.

CEMENTO			
Silíceo	Calcáreo	Ferruginoso	Otros
6%	%	%	%
TOTAL CEMENTO		6%	
POROSIDAD			
Primaria	Secundaria		
1%	Fractura	Disolución	
	%	%	
Observaciones: Porosidad Interparticular			
TOTAL POROSIDAD		1%	
NOMBRE TEXTURAL (FOLK, 1954): Arenisca de grano muy fino mal calibrada			
COMPOSICIÓN			
GRAVA			
Cuarzo	Feldespatos	Fragmentos Líticos	Accesorios
%	%	%	%
Observaciones:			
ARENA			
Cuarzo	Feldespatos	Fragmentos Líticos	Accesorios
85 %	5%	10%	%
Observaciones:			
GRADO METEORIZACIÓN (basado en BGS 5930,1981)			
Tipo I (Fresca)	<input type="checkbox"/>		
Tipo II (Ligeramente meteorizada)	<input type="checkbox"/>		
Tipo III (Moderadamente meteorizada)	<input checked="" type="checkbox"/>		
Tipo IV (Altamente meteorizada)	<input type="checkbox"/>		
Tipo V (Completamente meteorizada)	<input type="checkbox"/>		
Tipo VI (Suelo Residual)	<input type="checkbox"/>		

Fuente: Autores.

Figura 46. Formato descripción muestras, página 1, muestra VC-002-S1.

		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER ESCUELA DE GEOLOGÍA			
REGISTRO PARA DESCRIPCIÓN DE ROCAS SEDIMENTARIAS SILICICLASTICAS (>50% DE TERRÍGENOS) EN MUESTRA DE MANO					
Número de muestra: CV-002-S1		Localidad: Santander		Municipio: Girón	
Número de foto: VC-68		Sección delgada: <input type="checkbox"/>		Sección delgada pulida: <input type="checkbox"/>	
DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA					
REACCIÓN AL HCL:		SI	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	CARBONATOS %
TIPO DE ROCA: Sedimentaria					
COLOR: Naranjado					
TEXTURA					
SELECCIÓN O CALIBRADO:					
REDONDEZ PROMEDIO:					
ARMAZÓN					
GRAVA		ARENA		LODO	
Cantos	% mm	Arena muy gruesa	% mm	Limo	%
Guijarros	% mm	Arena gruesa	% mm	Arcilla	93%
Guijas	% mm	Arena media	% mm		
Gránulo	% mm	Arena fina	% mm		
		Arena muy fina	% mm		
TOTAL GRAVA		TOTAL ARENA		TOTAL LODO	
				93%	
Redondez		Redondez			
Esfericidad		Esfericidad			
TOTAL DE ARMAZÓN		93%			
MATRIZ					
LODOSA		ARENO LODOSA			
Limo	7%	Arena	%	Tamaño promedio	, mm
Arcilla	%	Limo	%		
		Arcilla	%		
TOTAL MATRIZ LODOSA		TOTAL MATRIZ ARENO LODOSA			
7%					
TOTAL DE MATRIZ		7%			

Fuente: Autores.

Figura 47. Formato descripción muestras, página 2, muestra VC-002-S1.

CEMENTO			
Silíceo	Calcáreo	Ferruginoso	Otros
%	%	%	%
TOTAL CEMENTO %			
POROSIDAD			
Primaria		Secundaria	
%	Fractura	Disolución	
	%	%	
Observaciones:			
TOTAL POROSIDAD %			
NOMBRE TEXTURAL (FOLK, 1954): Arcillolita con matriz limosa			
COMPOSICIÓN			
GRAVA			
Cuarzo	Feldespatos	Fragmentos Líticos	Accesorios
%	%	%	%
Observaciones:			
ARENA			
Cuarzo	Feldespatos	Fragmentos Líticos	Accesorios
%	%	%	%
Observaciones:			
GRADO METEORIZACIÓN (basado en BGS 5930,1981)			
Tipo I (Fresca)	<input type="checkbox"/>		
Tipo II (Ligeramente meteorizada)	<input type="checkbox"/>		
Tipo III (Moderadamente meteorizada)	<input checked="" type="checkbox"/>		
Tipo IV (Altamente meteorizada)	<input type="checkbox"/>		
Tipo V (Completamente meteorizada)	<input type="checkbox"/>		
Tipo VI (Suelo Residual)	<input type="checkbox"/>		

Fuente: Autores.

Figura 48. Fotografía muestra VC-59.



Fuente: Autores.

Figura 49. Fotografía muestra VC-68.



Fuente: Autores.

7.5 DIFRACCIÓN DE RAYOS X (DRX)

Los análisis de DRX, se realizaron para 3 muestras de manera representativa, una correspondiente a los niveles arenosos (segmento 7), otra correspondiente a los niveles arcillosos (segmento 9) y la última correspondiente a una mezcla de los niveles anteriores, recolectada de la mezcla de material generada en el frente de explotación y se efectuó una interpretación y análisis de los 3 difractogramas en conjunto. (Figura 50, 51 y 52).

Por medio de este análisis, se obtuvieron las fases minerales cristalinas y amorfas, en la Tabla 10 se relacionan las 3 muestras con sus respectivas fases minerales.

Tabla 10. Fases minerales de las muestras.

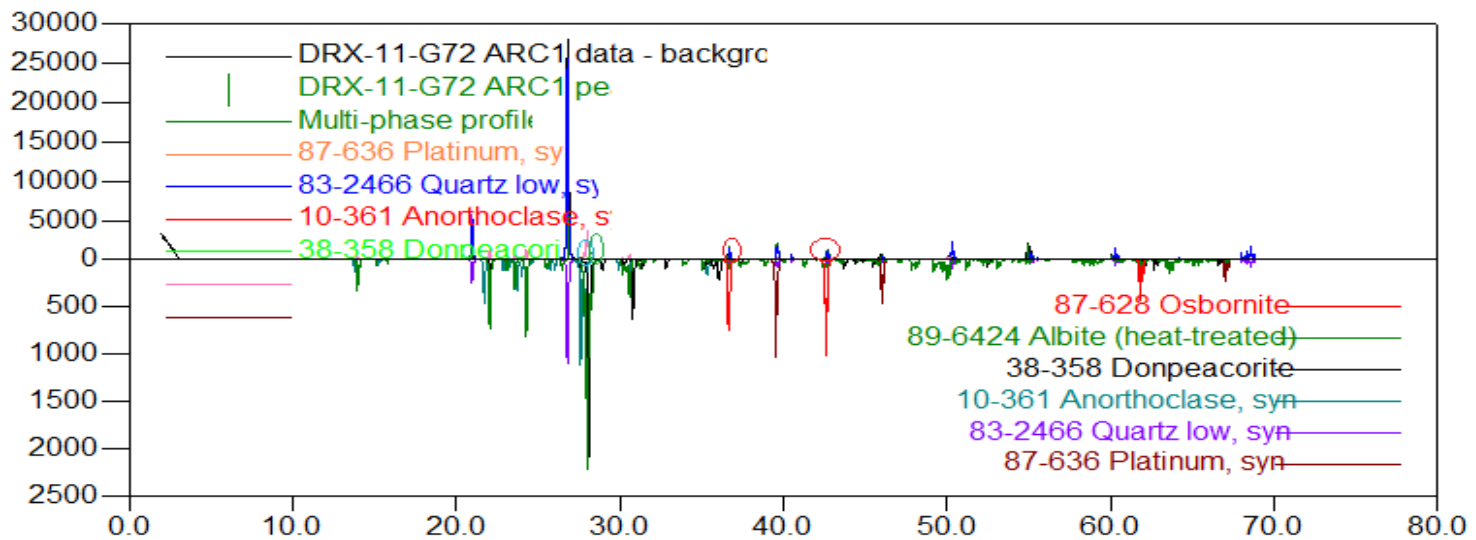
MUESTRA	FASES MINERALES
ARENA	Cuarzo
	Anortoclasa
	Donpeacorita
	Albita
	Osbornita
ARCILLA	Cuarzo
	Montmorillonita
	Haloisita
	Albita
	Cuarzo
MEZCLA	Montmorillonita
	Haloisita
	Donpeacorita
	Osbornita

Fuente: Autores.

Figura 49. Análisis DRX para la muestra arenosa.

ARN1

Platinum	87-636
Quartz	83-2466
Anorthoclase	10-361
Donpeacorite	38-358
Albite	89-6424
Osbornite	87-628

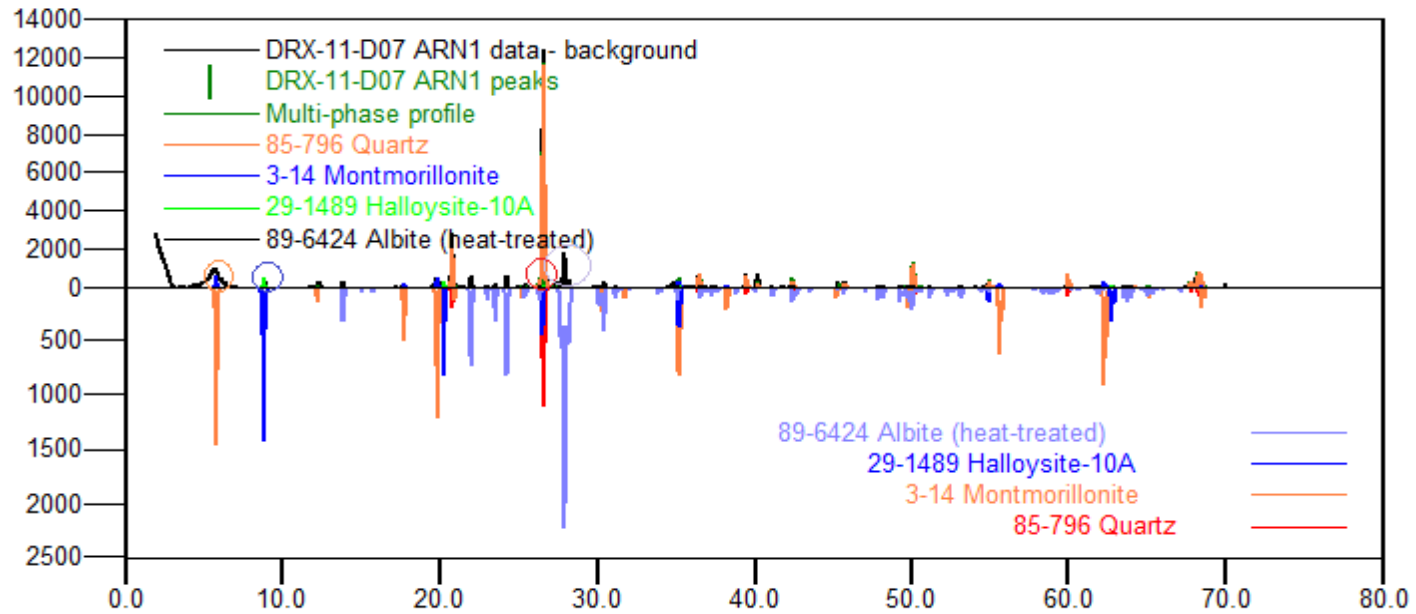


Fuente: Autores.

Figura 50. Análisis DRX para la muestra arcillosa.

ARC1

Quartz	85-796
Montmorillonite	3-14
Halloysite	29-1489
Albite	89-6424

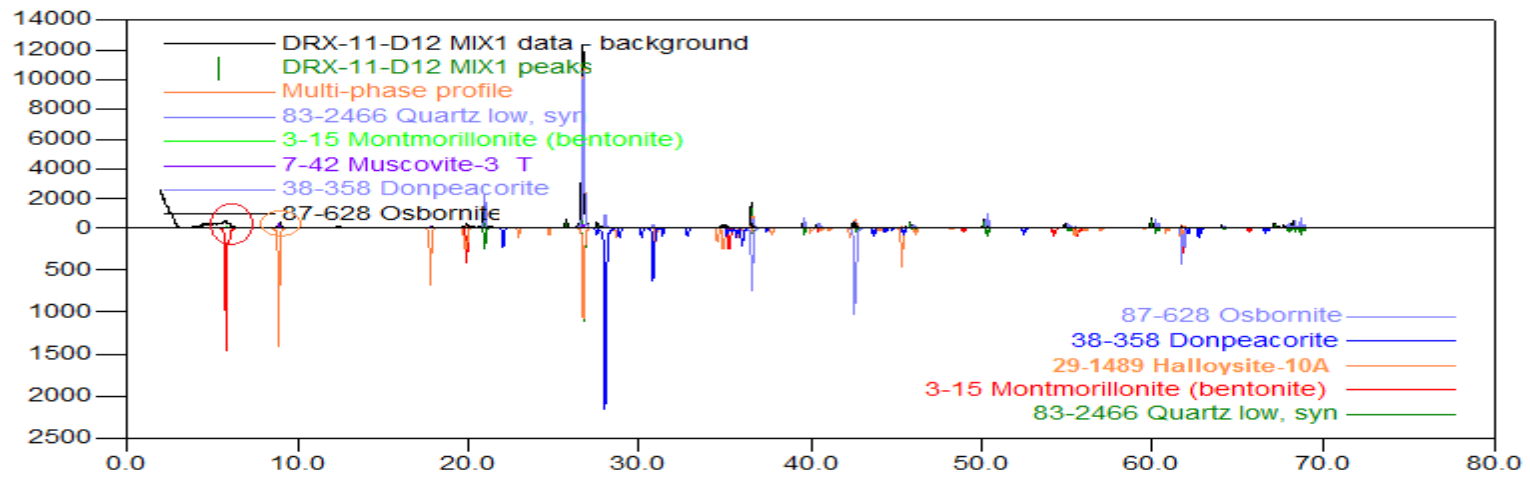


Fuente: Autores.

Figura 51. Análisis DRX para la muestra mezcla arena + arcilla.

MIX1

Quartz	83-2466
Montmorillonite	3-15
Halloysite	29-1489
Donpeacorite	38-358
Osbornite	87-628



Fuente: Autores.

Para este análisis se utilizaron unos porta-muestras de platino, el cual en la muestra de arena alcanzó a ser irradiado, por lo cual se observa en el perfil de difracción.

En el análisis se encontró lo siguiente:

El cuarzo como era de esperarse, se encuentra tanto en el perfil de la arcilla, como en el de la arena, y en la mezcla, debido a que se considera el material más abundante y cristalino de la tierra, desde el punto de vista mineralógico.

La reflexión correspondiente a la Albita, en el perfil de difracción de la Arcilla, está bien definida por lo que se puede estimar que se encuentra en una alta proporción, a diferencia del perfil de la arena, en el cual no se alcanza a observar muy bien; por lo tanto la presencia de la Albita en la arena es mínima. En la mezcla no se alcanza a apreciar la reflexión correspondiente a la Albita, posiblemente por la poca proporción de arcilla con respecto a la arena a la hora de hacer la mezcla.

La Montmorillonita es un hidrosilicato de magnesio y aluminio, típico de la fracción arcillosa, las cuales se pueden apreciar en el perfil de la arcilla y en la mezcla final.

La Haloisita es un aluminosilicato, presente en muestras arcillosas. La principal Reflexión de la Haloisita es la que se marca en el difractograma.

La Osbornita, es un Nitrito de Titanio (TiN), presente en la arena, la cual también es apreciable en el difractograma de la muestra final.

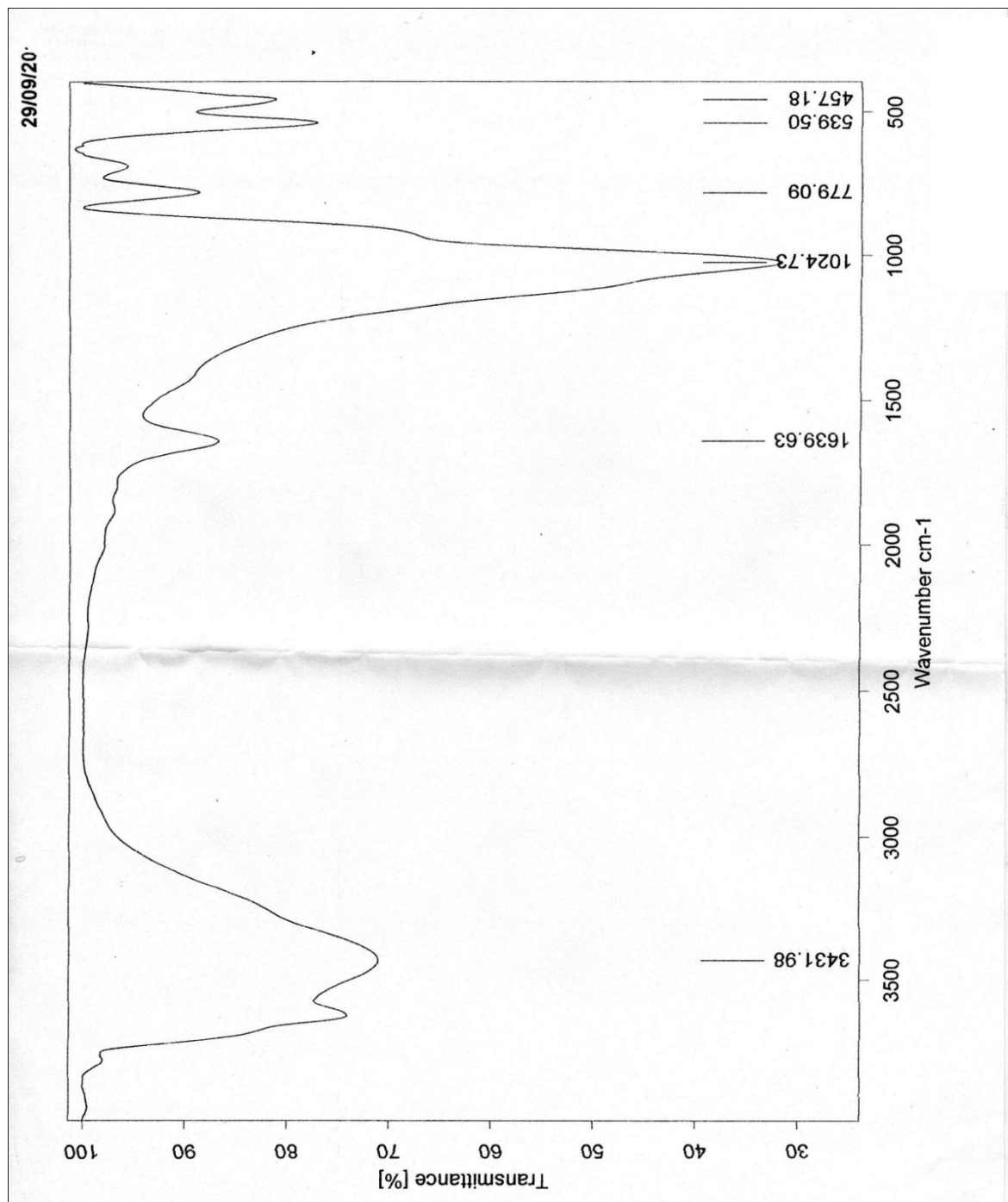
La Donpeacorita es un Ortopiroxeno, presente en la arena y en la muestra final. La Anortoclasa es un tectosilicato presente en muy poca proporción y debido a esto no alcanza a ser apreciable en la muestra final.

7.6 ESPECTROSCOPIA INFRAROJA POR TRANSFORMADA DE FOURIER (IRTF)

La interpretación de la gráfica de Transmitancia Vs. Número de Onda para nuestra muestra, presentada en la Figura 52, indica:

Una región comprendida de 500 a 4000 cm^{-1} , correspondiente a muestras orgánicas, donde la longitud de onda de 457.18, cae cerca del campo espectral del sulfato de bario; la longitud de onda de 779.09, pertenece al grupo de los carbonatos, y el tipo de vibración que presenta es de tensión, siendo su grupo funcional CH_2 ; el pico presentado en 1024.73, indica la presencia de SiO_2 dentro de la muestra en altas proporciones, con una vibración de flexión; la longitud de onda reflejada en 1639.63 podría estar indicando la aparición de sales de nitrato; y el pico encontrado en 3431.98 posiblemente se encuentra relacionado con factores de humedad (OH) dentro de la muestra.

Figura 52. Análisis IRFT para la muestra.



Fuente: Autores.

7.7 PRUEBA DE ABSORCIÓN

Este ensayo determinó la cantidad de agua que puede absorber el material bajo condiciones de inmersión, según la norma NTC 4017, a cinco adobes por cada una de las cinco mezclas elaboradas, para estimar de manera promedio el porcentaje de absorción por cada dosificación.

La Figura 54, muestra de manera representativa, un adobe de los cinco que se utilizaron por cada dosificación, sumergidos en agua, durante el ensayo de absorción.

7.7.1 Mezcla 1 (100% materia prima). Desde el momento de su elaboración, estos adobes presentaron una serie de fracturas, a medida que pasaban los días respectivos de curado, éstas se iban incrementando aún más. Los valores correspondientes al ensayo se presentan en la Tabla 11.

Tabla 11. Ensayo de absorción para adobes de mezcla 1.

Adobes Mezcla 1	Peso Seco (Kg)	Peso Saturado (Kg)	% Absorción
1	5,8682	7,5447	28,57%
2	6,266	8,2797	32,14%
3	6,5147	8,4954	30,40%
4	6,6294	8,7194	31,53%
5	6,5513	8,4133	28,42%

Fuente: Autores.

Los adobes de la mezcla 1, no se encuentran estabilizados, son los más fracturados, y absorben una alta cantidad de líquido, acumulados en sus fracturas,

generando expansión y deformación del adobe. Este ensayo, arrojó un promedio de absorción correspondiente al 30,21%, tomando este dato como referencia, para ser comparado con los adobes estabilizados, y establecer en cuál de estas mezclas mejoró esta propiedad.

7.7.2 Mezcla 2 (95% materia prima + 5% ceniza). Estos adobes, visiblemente se mostraron mucho más compactos a la hora de su elaboración, y sin presencia de fracturas, con un aspecto mucho más macizo. Los valores correspondientes al ensayo se presentan en la Tabla 12.

Tabla 12. Ensayo de absorción para adobes de mezcla 2.

Adobes Mezcla 2	Peso Seco (Kg)	Peso Saturado (Kg)	% Absorción
1	6,6624	8,5717	28,66%
2	6,3955	8,3636	30,77%
3	6,8123	8,6275	26,65%
4	6,9449	8,9631	29,06%
5	7,0101	8,9789	28,09%

Fuente: Autores.

Los adobes de la mezcla 2, se encuentran estabilizados con 5% de ceniza, y al no presentar gran cantidad de fracturas durante su tiempo de curado, respecto a los adobes sin estabilizar, disminuye la absorción de líquidos durante el ensayo, que arrojó un promedio de absorción correspondiente al 28,64%, mejorando en 1,57% respecto a la mezcla 1.

7.7.3 Mezcla 3 (95% materia prima + 5% cáscara de yuca). Aparentemente, al momento de su elaboración, se observa como la cáscara de yuca, hace que se disminuyan notablemente las fracturas presentadas en el adobe de la mezcla 1. Los valores correspondientes al ensayo se presentan en la Tabla 13.

Tabla 13. Ensayo de absorción para adobes de mezcla 3.

Adobes Mezcla 3	Peso Seco (Kg)	Peso Saturado (Kg)	% Absorción
1	7,069	8,934	26,38%
2	6,9857	8,8521	26,72%
3	7,2217	9,2391	27,94%
4	6,6943	8,4954	26,90%
5	7,1097	9,0391	27,14%

Fuente: Autores.

Los adobes de esta mezcla, al presentar menor cantidad de fracturas en comparación a las dos mezclas anteriores, mejoran el porcentaje de líquidos absorbidos, dando como resultado un promedio de absorción correspondiente a 27,01%, mejorando en 3,2% los resultados de absorción de la mezcla sin estabilizar, lo que indica, que la cáscara de yuca, por sus propiedades absorbentes al ser secada al sol, está absorbiendo una cantidad considerable de agua, mejorando esta propiedad en los adobes.

7.7.4 Mezcla 4 (90% materia prima + 8% ceniza + 2% cáscara de yuca). Visiblemente, estos adobes se presentan mejor que los de la mezcla 3, debido a que la ceniza tiende a ocultar los fragmentos de cáscara de yuca, además de disminuir notablemente las grietas con respecto a la mezcla 1. Los valores correspondientes al ensayo se presentan en la Tabla 14.

Tabla 14. Ensayo de absorción para adobes de mezcla 4.

Adobes Mezcla 4	Peso Seco (Kg)	Peso Saturado (Kg)	% Absorción
1	6,9259	8,8221	27,38%
2	6,7551	8,5931	27,21%
3	6,4312	8,3194	29,36%
4	6,8767	8,7491	27,23%
5	7,2413	9,2447	27,67%

Fuente: Autores.

Los adobes de la mezcla 4, al estar estabilizados con una combinación de ceniza y cáscara de yuca, presentan una buena compactación del material, arrojando un porcentaje de absorción correspondiente a 27,77%, mejorando en 2,44% respecto a la mezcla 1, reiterando que la cáscara de yuca absorbe cantidades de agua que mejoran esta propiedad en los adobes, pero al adicionarles dosificaciones mayores al 5% en estabilizante tiende a descompensar el adobe.

7.7.5 Mezcla 5 (90% materia prima + 10% ceniza). Esta mezcla fue elaborada, pensando en comparar sus resultados con la mezcla 2, que aparentemente muestra las mejores características, buscando establecer si las condiciones mejoran con el aumento del contenido de ceniza en el adobe. Los valores correspondientes al ensayo se presentan en la Tabla 15.

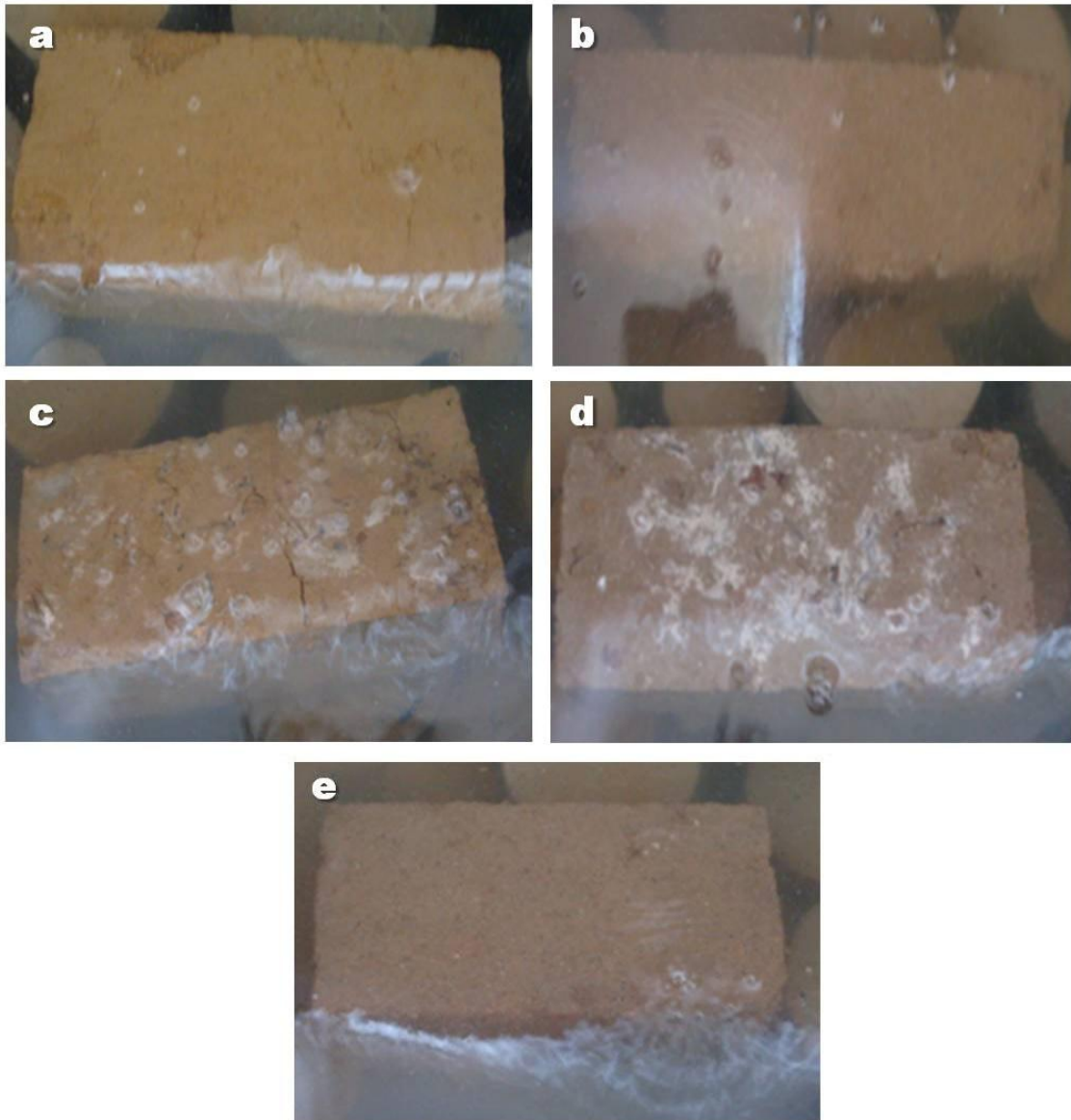
Tabla 15. Ensayo de absorción para adobes de mezcla 5.

Adobes Mezcla 5	Peso Seco (Kg)	Peso Saturado (Kg)	% Absorción
1	6,4918	8,5412	31,57%
2	6,4271	8,4433	31,37%
3	6,7121	8,6624	29,06%
4	6,7901	8,9	31,07%
5	6,6529	8,6609	30,18%

Fuente: Autores.

Los adobes de esta mezcla, al tener una dosificación mayor al 5% en su composición, alteran las propiedades iniciales de la materia prima, y arrojan un resultado promedio de absorción correspondiente al 30,65%, siendo mayor que el hallado en la mezcla 1 en un 0,44%, reiterando que para estabilizar adobes con este tipo de materiales, no es recomendable usar altas cantidades de estabilizante.

Figura 54. Adobes sometidos a prueba de absorción. (a) Mezcla 1. (b) Mezcla 2. (c) Mezcla 3. (d) Mezcla 4. (e) Mezcla 5.



Fuente: Autores.

Con la prueba de absorción se logró establecer que al estabilizar las mezclas con cáscara de yuca, se reduce la capacidad de absorber humedad, garantizando mejor consistencia en su estructura, como indican la mezcla 3 y 4 con porcentajes de absorción de 27,01% y 27,77% respectivamente. Sin embargo, al adicionarle cantidades mayores al 5% de ceniza, las propiedades del adobe tienden a alterarse, como se indica en la mezcla 5 con 30,65% de absorción, perdiendo las condiciones iniciales de la materia prima, y en la mezcla 4, aunque arroja buenos resultados de absorción, al aumentarse su contenido de ceniza en la dosificación, no presenta los resultados esperados. La mezcla 2, contiene las cantidades adecuadas de ceniza según lo indicado anteriormente (5%), y presenta un porcentaje de absorción correspondiente al 28,64%, siendo un resultado intermedio respecto a las demás mezclas.

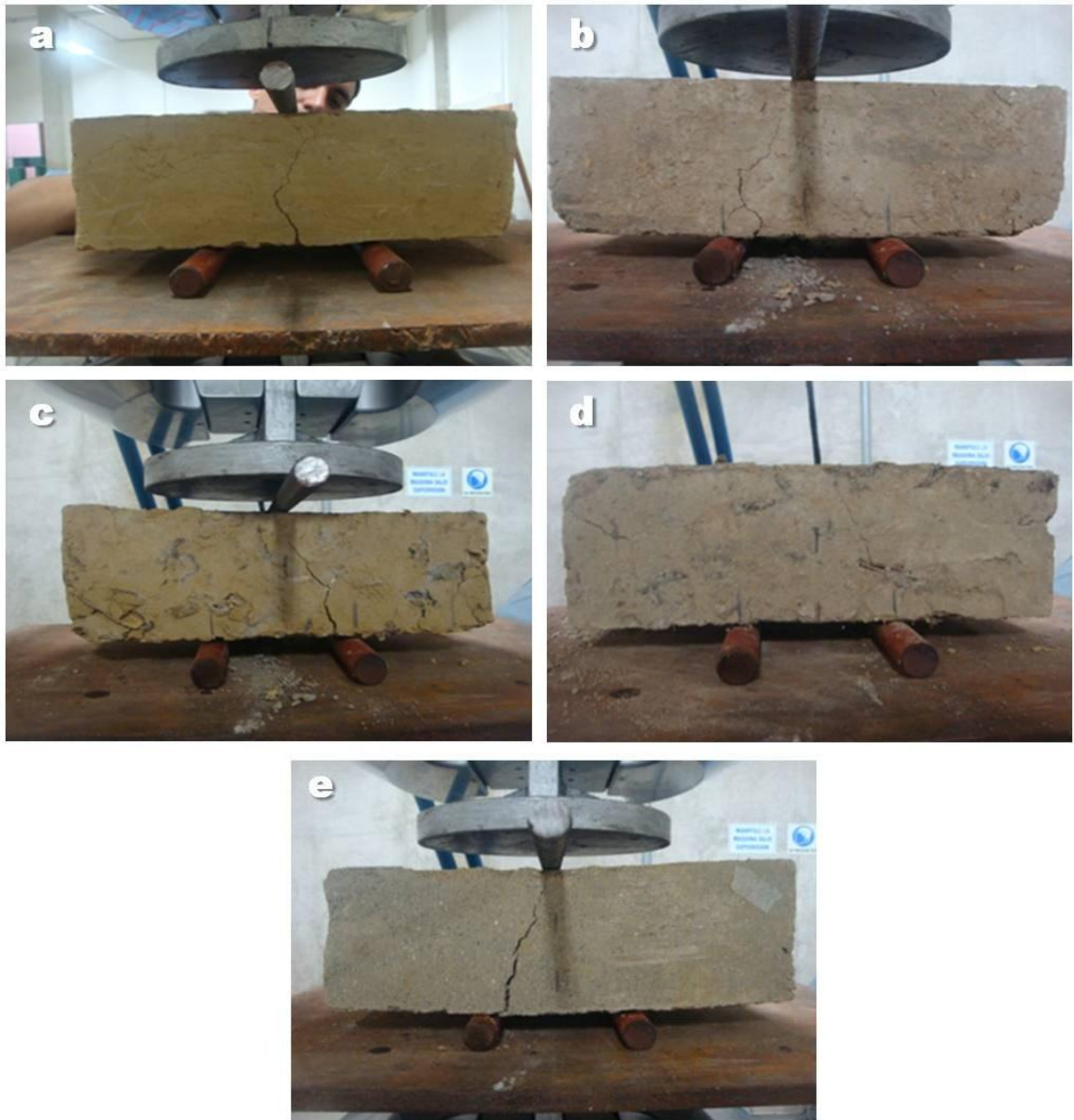
Todas las dosificaciones realizadas para los adobes, buscan mejorar las condiciones iniciales de la mezcla 1, que no se encuentra estabilizada, y presenta valores de absorción promedio correspondientes al 30,21%.

7.8 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

Este ensayo se realizó con el objetivo de conocer la carga puntual máxima aplicada que puede soportar un adobe apoyado en los extremos, hasta su rotura, de acuerdo a la norma NTC 4017.

La Figura 55, muestra de manera representativa, un adobe de los cinco que se utilizaron por cada dosificación, sometido al ensayo de flexión, y su comportamiento.

Figura 55. Adobes sometidos a prueba de flexión. (a) Mezcla 1. (b) Mezcla 2. (c) Mezcla 3. (d) Mezcla 4. (e) Mezcla 5.



Fuente: Autores.

7.8.1 Mezcla 1 (100% materia prima). En la tabla 16, se presentan los resultados obtenidos para la mezcla 1, correspondientes al ensayo de flexión, donde se le aplicó una carga puntual a cada uno de los adobes, y se estableció el momento de su rotura.

Tabla 16. Ensayo de flexión para adobes de mezcla 1.

Adobes Mezcla 1	Flexión	
	Carga Puntual (KN)	Módulo de Rotura (Mpa)
1	3,372	0,844
2	3,101	0,776
3	3,100	0,775
4	3,220	0,805
5	3,243	0,811

Fuente: Autores.

Los adobes de esta mezcla, no se encuentran estabilizados, son los que mayor cantidad de fracturas muestran. Este ensayo, arrojó una carga puntual promedio correspondiente a 3,207 KN, se toma este dato como referencia, para ser comparado con los adobes estabilizados, y así establecer cuál de estas mezclas mejora esta propiedad.

7.8.2 Mezcla 2 (95% materia prima + 5% ceniza). En la tabla 17, se presentan los resultados obtenidos para la mezcla 2, correspondientes al ensayo de flexión, donde se le aplicó una carga puntual a cada uno de los adobes, y se estableció el momento de su rotura.

Tabla 17. Ensayo de flexión para adobes de mezcla 2.

Adobes Mezcla 2	Flexión	
	Carga Puntual (KN)	Módulo de Rotura (Mpa)
1	4,570	1,143
2	3,910	0,978
3	6,670	1,669
4	4,010	1,003
5	3,880	0,971

Fuente: Autores.

Los adobes de esta mezcla, se encuentran estabilizados con 5% de ceniza, y al no presentar gran cantidad de fracturas durante su tiempo de curado, se muestran más compactos y resistentes, respecto a los adobes sin estabilizar; dando como resultado una carga puntual promedio correspondiente a 4,608 KN, mejorando la resistencia al esfuerzo aplicado puntualmente en 1,401 KN, respecto a la mezcla sin estabilizar, indicando que la ceniza, presenta propiedades compactantes, ayudando a estabilizar la materia prima.

7.8.3 Mezcla 3 (95% materia prima + 5% cáscara de yuca). En la tabla 18, se presentan los resultados obtenidos para la mezcla 3, correspondientes al ensayo de flexión, donde se le aplicó una carga puntual a cada uno de los adobes, y se estableció el momento de su rotura.

Tabla 18. Ensayo de flexión para adobes de mezcla 3.

Adobes Mezcla 3	Flexión	
	Carga Puntual (KN)	Módulo de Rotura (Mpa)
1	2,880	0,720
2	2,640	0,660
3	2,780	0,695
4	2,810	0,703
5	2,790	0,698

Fuente: Autores.

Los adobes de esta mezcla, se encuentran estabilizados con un 5% de cáscara de yuca, presentan una carga puntual promedio correspondiente a 2,78 KN, mostrando una diferencia de 0,427 KN en comparación con la mezcla sin estabilizar, disminuyendo su resistencia promedio a la carga aplicada; esto indica que la cáscara de yuca a pesar de mejorar las características absorbentes del adobe, no presenta propiedades compactantes para el mismo, alteando las características iniciales de la materia prima.

7.8.4 Mezcla 4 (90% materia prima + 8% ceniza + 2% cáscara yuca). En la tabla 19, se presentan los resultados obtenidos para la mezcla 4, correspondientes al ensayo de flexión, donde se le aplicó una carga puntual a cada uno de los adobes, y se estableció el momento de su rotura.

Tabla 19. Ensayo de flexión para adobes de mezcla 4.

Adobes Mezcla 4	Flexión	
	Carga Puntual (KN)	Módulo de Rotura (Mpa)
1	3,493	0,874
2	3,654	0,914
3	3,546	0,887
4	3,761	0,941
5	3,631	0,908

Fuente: Autores.

Los adobes de esta mezcla, al estar estabilizados con una combinación de ceniza y cáscara de yuca, presentan una buena compactación del material, mostrando una carga puntual promedio correspondiente a 3,617 KN, mejorando en 0,41 KN la resistencia promedio a la carga aplicada, en comparación con la mezcla 1 sin estabilizar. Sin embargo, se puede establecer nuevamente, que no es conveniente realizar dosificaciones mayores al 5%, ya que estas no muestran los resultados esperados, al no mejorar la carga aplicada de la mezcla 2, que contiene una adición de 5% de ceniza.

7.8.5 Mezcla 5 (90% materia prima + 10% ceniza). En la tabla 20, se presentan los resultados obtenidos para la mezcla 5, correspondientes al ensayo de flexión, donde se le aplicó una carga puntual a cada uno de los adobes, y se estableció el momento de su rotura.

Tabla 20. Ensayo de flexión para adobes de mezcla 5.

Adobes Mezcla 5	Flexión	
	Carga Puntual (KN)	Módulo de Rotura (Mpa)
1	2,320	0,580
2	2,210	0,553
3	2,110	0,528
4	2,390	0,598
5	2,430	0,608

Fuente: Autores.

Los adobes de esta mezcla, al tener una dosificación mayor al 5% de ceniza en su composición, alteran las propiedades iniciales de la materia prima, mostrando una carga puntual promedio correspondiente a 2,292 KN, indicando una diferencia de 0,915 KN en comparación con la mezcla sin estabilizar, disminuyendo su resistencia promedio a la carga aplicada. Estos resultados nos reiteran, que aunque la ceniza cumple con las expectativas propuestas para la compactación y resistencia a la carga puntual de los adobes, dosificaciones mayores al 5% en su mezcla, no son apropiadas porque alteran sus características iniciales.

Con la prueba de flexión se logró establecer que al estabilizar mezclas con ceniza, se obtienen adobes más rígidos, compactos y resistentes a las cargas antes del momento de su rotura, indicando que este aditivo tiene propiedades puzolánicas cuando se encuentra mezclado con la materia prima, como muestran las mezclas 2 y 4, con resultados de 4,608 y 3,617 KN respectivamente para las cargas puntuales aplicadas. Sin embargo, en las mezclas bajo la misma carga, donde se adiciono cantidades mayores al 5% de ceniza, las propiedades del adobe tienden a alterarse, generando un comportamiento adverso, negativo y flexible, como lo indica la mezcla 5, con valores promedio de 2,292 KN, donde se obtuvieron valores más bajos que los presentados por los adobes sin estabilizar de la mezcla

1, y en la mezcla 4, donde aunque arroja buenos resultados de resistencia a las cargas puntuales, al aumentarse su contenido de ceniza con respecto a la mezcla 2, genera una disminución en la carga resistida y no un aumento.

Todas las dosificaciones realizadas para los adobes, buscan mejorar las condiciones iniciales de la mezcla 1, que no se encuentra estabilizada, y presenta valores promedio de resistencia a la carga puntual de 3,207 KN.

7.9 PRUEBA DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Este ensayo determina las relaciones esfuerzo - deformación de los adobes, conociendo su resistencia hasta el momento en el que se produce la falla, de acuerdo a la norma NTC 4017.

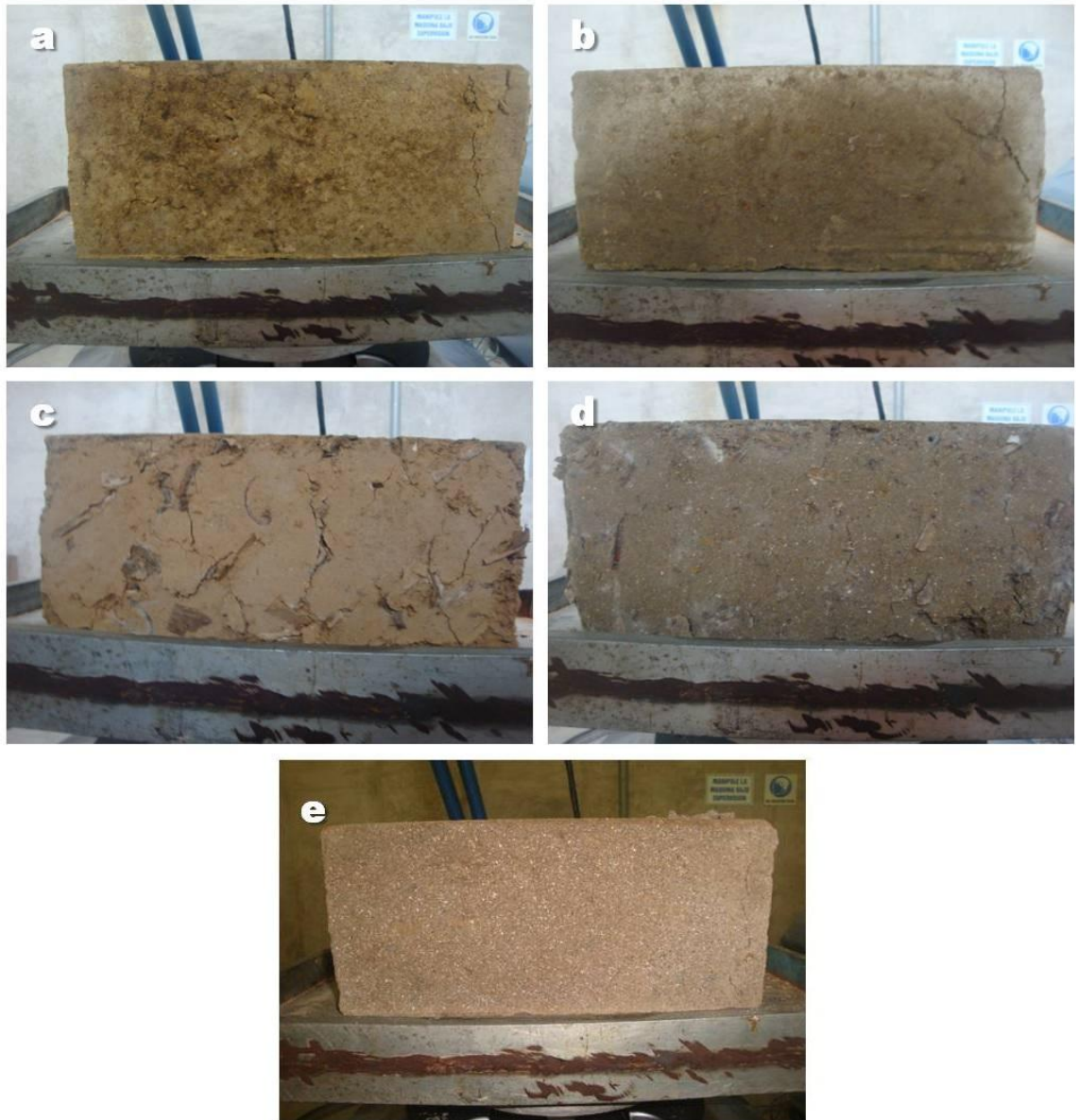
Las Figuras 56 y 57, muestran de manera representativa, un adobe de los cinco que se utilizaron por cada dosificación, sometidos al ensayo de compresión, y su comportamiento.

Figura 56. Adobes sometidos a prueba de compresión, vista lateral. (a) Mezcla 1. (b) Mezcla 2. (c) Mezcla 3. (d) Mezcla 4. (e) Mezcla 5.



Fuente: Autores.

Figura 57. Adobes sometidos a prueba de compresión, vista frontal. (a) Mezcla 1. (b) Mezcla 2. (c) Mezcla 3. (d) Mezcla 4. (e) Mezcla 5.



Fuente: Autores.

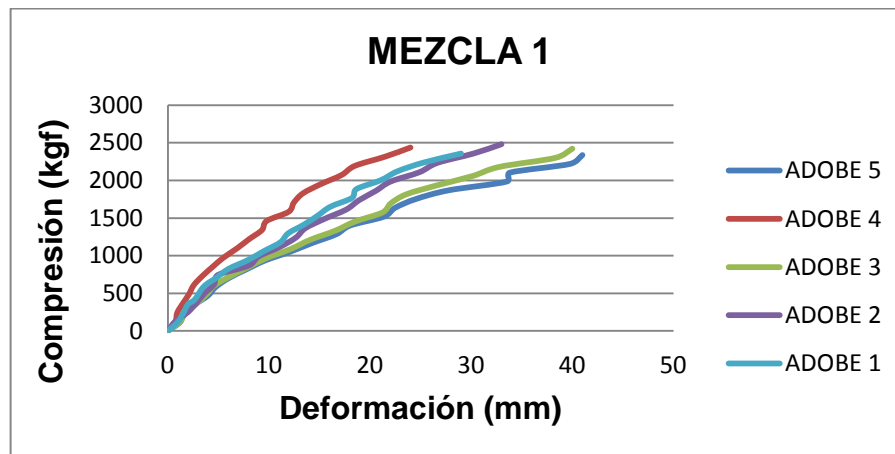
7.9.1 Mezcla 1 (100% materia prima). En la tabla 21, se presentan los resultados obtenidos y utilizados para la realización de graficas e interpretación de resultados correspondientes al ensayo de compresión.

Tabla 21. Ensayo de compresión para adobes de mezcla 1.

Adobes Mezcla 1	Compresión		Deformación			Área (cm ²)	Esfuerzo (Kgf/cm ²)
	Carga (Kn)	Carga (Kgf)	Li (mm)	Lf (mm)	%		
1	23,105	2356,71	320	291	9,06%	120	19,63925
2	24,324	2481,048	320	287	10,31%	120	20,6754
3	23,74	2421,48	320	280	12,50%	120	20,179
4	23,89	2436,78	320	296	7,50%	120	20,3065
5	22,91	2336,82	320	279	12,81%	120	19,4735

Fuente: Autores.

Gráfica 1. Ensayo de Compresión Vs. Deformación para la mezcla 1.

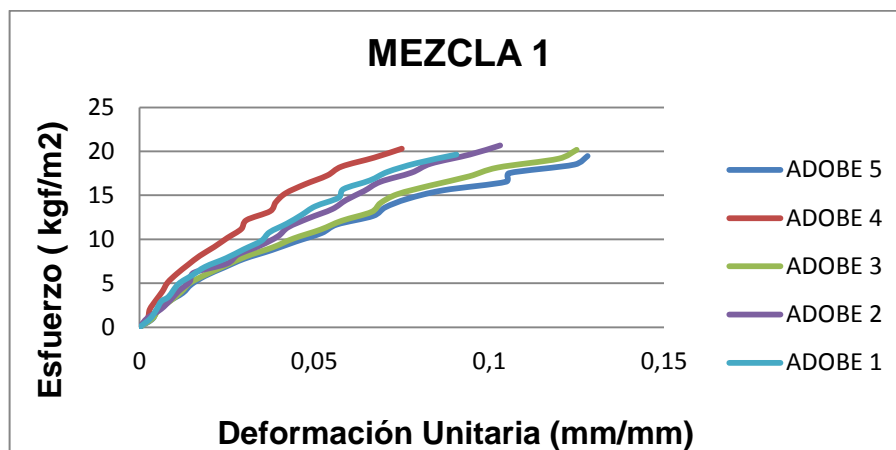


Fuente: Autores.

La gráfica 1 de compresión contra deformación para la mezcla 1, representa el ensayo realizado, indicando las cargas (Kgf) para las cuales se deforma el

material (mm). De esta manera, podemos interpretar, como de los 5 adobes utilizados para esta mezcla, el adobe 4 es el que presenta menos deformación, y el 5 el que presenta mayor deformación, de igual forma podemos observar como estos adobes, tienden a deformarse de 25 a 40 mm, para cargas promedio de 2500 Kgf. Estos valores son tomados como referencia, para establecer que dosificación mejora esta característica.

Gráfica 2. Ensayo de Esfuerzo Vs. Deformación Unitaria para la mezcla 1.



Fuente: Autores.

La gráfica 2 relaciona el esfuerzo aplicado sobre el material y la deformación unitaria que este experimenta con esta carga aplicada. De esta manera podemos observar como el adobe 4 es el que sufre menos deformación unitaria, y el adobe 5 es el que sufre mayor deformación unitaria, fracturándose todos con un esfuerzo promedio de aproximadamente 20 (Kgf/m²), mostrando un comportamiento uniforme para la mezcla.

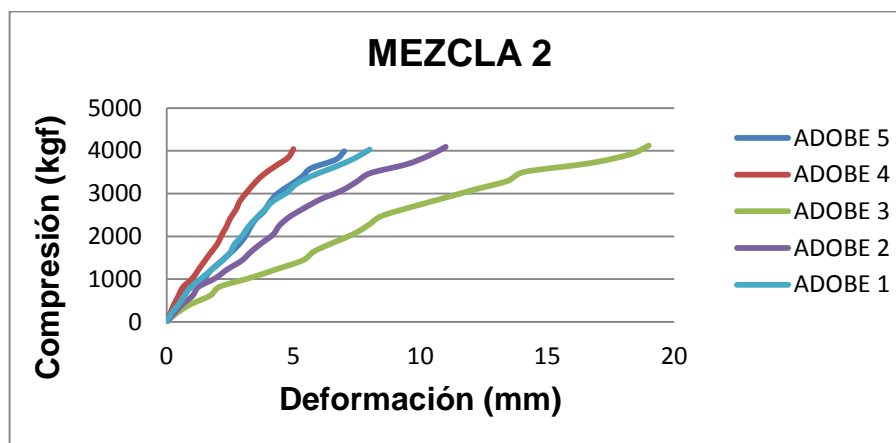
7.9.2 Mezcla 2 (95% materia prima + 5% ceniza). En la tabla 22, se presentan los resultados obtenidos y utilizados para la realización de gráficas e interpretación de resultados correspondientes al ensayo de compresión.

Tabla 22. Ensayo de compresión para adobes de mezcla 2.

Adobes Mezcla 2	Compresión		Deformación			Área (cm ²)	Esfuerzo (Kgf/cm ²)
	Carga (Kn)	Carga (Kgf)	Li (mm)	Lf (mm)	%		
1	39,513	4030,326	320	312	2,50%	120	33,58605
2	40,125	4092,75	320	309	3,44%	120	34,10625
3	40,431	4123,962	320	301	5,94%	120	34,36635
4	39,613	4040,526	320	315	1,56%	120	33,67105
5	39,124	3990,648	320	313	2,19%	120	33,2554

Fuente: Autores.

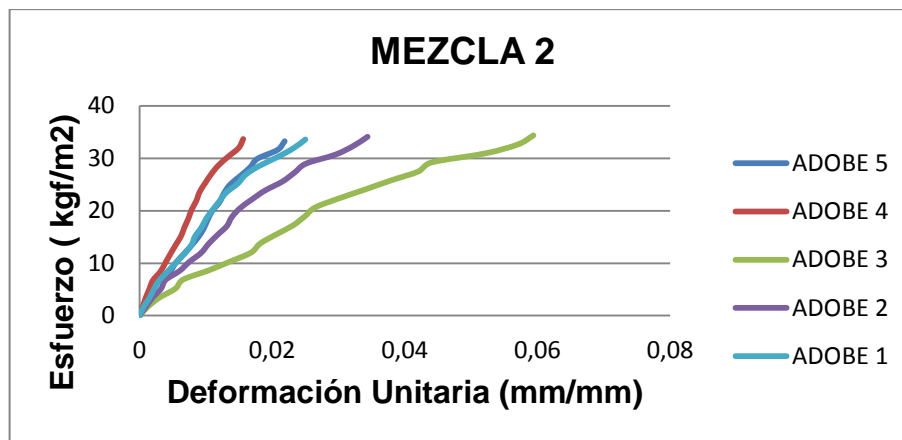
Gráfica 3. Ensayo de Compresión Vs. Deformación para la mezcla 2.



Fuente: Autores.

La gráfica 3 de compresión contra deformación para la mezcla 2, indica las cargas (Kgf) para las cuales se deforma el material (mm). Se puede observar, como el adobe 4 es el que menor deformación presenta, y el adobe 3 es el de mayor deformación. Los 5 adobes, se deforman de 4 a 10 mm aproximadamente, exceptuando el adobe 3 que se deforma 18 mm, todos para cargas promedio de 4000 Kgf; aumentando notablemente la carga resistida antes del momento de su deformación y disminuyendo su valor de deformación a menos de la mitad, todo esto en comparación con los adobes de la mezcla 1.

Gráfica 4. Ensayo de Esfuerzo Vs. Deformación Unitaria para la mezcla 2.



Fuente: Autores.

La gráfica 4 relaciona el esfuerzo aplicado sobre el material y la deformación unitaria que este experimenta con esta carga aplicada. Podemos ver como el adobe 4 es el que sufre menos deformación unitaria, y el adobe 3 es el que sufre mayor deformación unitaria, fracturándose todos con un esfuerzo promedio de aproximadamente 35 (Kgf/m²), indicando nuevamente mayor resistencia y menor deformación unitaria en comparación con la mezcla 1.

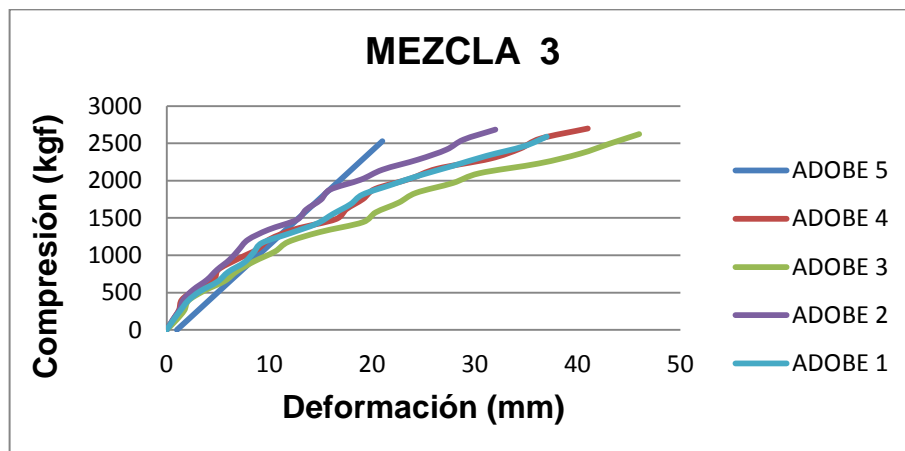
7.9.3 Mezcla 3 (95% materia prima + 5% cáscara de yuca). En la tabla 23, se presentan los resultados utilizados para la realización de gráficas e interpretación de resultados correspondientes al ensayo de compresión.

Tabla 23. Ensayo de compresión para adobes de mezcla 3.

Adobes Mezcla 3	Compresión		Deformación			Área (cm ²)	Esfuerzo (Kgf/cm ²)
	Carga (Kn)	Carga (Kgf)	Li (mm)	Lf (mm)	%		
1	21,585	2590,2	320	283	11,56%	120	21,585
2	22,37	2684,4	320	288	10,00%	120	22,37
3	21,867	2624,04	320	274	14,38%	120	21,867
4	22,494	2699,28	320	279	12,81%	120	22,494
5	21,074	2528,88	320	265	17,19%	120	21,074

Fuente: Autores.

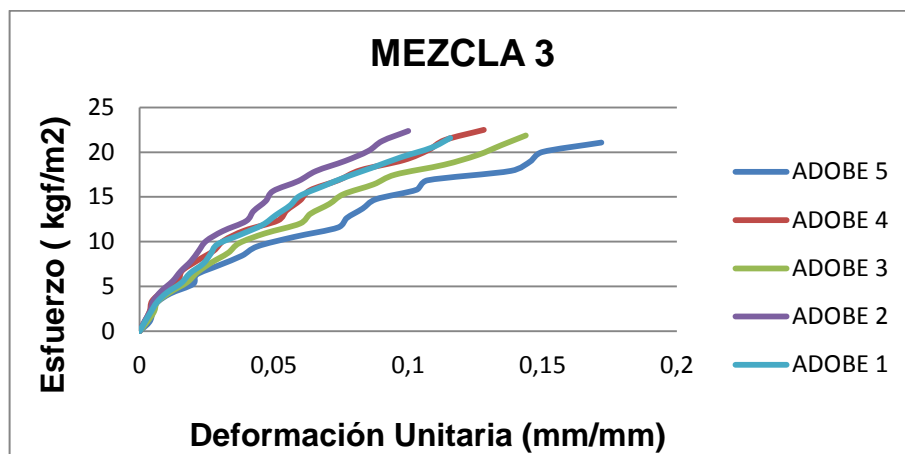
Gráfica 5. Ensayo de Compresión Vs. Deformación para la mezcla 3.



Fuente: Autores.

La gráfica 5, de compresión contra deformación para la mezcla 3, indica las cargas (Kgf) para las cuales se deforma el material (mm). Se observa un comportamiento uniforme para los adobes de esta mezcla, siendo el adobe 5 el que presenta menor deformación, y el 3 el que presenta mayor deformación, la cual varía de 20 a 45 mm, para cargas promedio de aproximadamente 2700 Kgf, dando como resultado iguales y mayores deformaciones en comparación con la mezcla 1.

Gráfica 6. Ensayo de Esfuerzo Vs. Deformación Unitaria para la mezcla 3.



Fuente: Autores.

La gráfica 6 relaciona el esfuerzo aplicado sobre el material y la deformación unitaria que este experimenta con esta carga. Se puede observar como el adobe 2 es el que sufre menos deformación unitaria y el adobe 5 es el que sufre mayor deformación unitaria, fracturándose todos con un esfuerzo promedio de aproximadamente 23 (Kgf/m²), indicando una leve mejoría en la resistencia soportada en comparación con la mezcla 1.

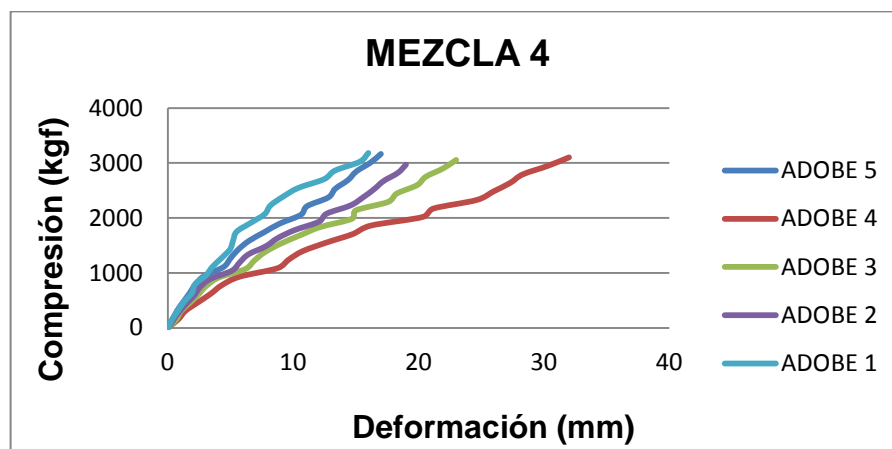
7.9.4 Mezcla 4 (90% materia prima + 8% ceniza + 2% cáscara yuca). La tabla 24, presenta los resultados utilizados para la realización de gráficas e interpretación de resultados correspondientes al ensayo de compresión.

Tabla 24. Ensayo de compresión para adobes de mezcla 4.

Adobes Mezcla 4	Compresión		Deformación			Área (cm ²)	Esfuerzo (Kgf/cm ²)
	Carga (Kn)	Carga (Kgf)	Li (mm)	Lf (mm)	%		
1	31,201	3182,502	320	304	5,00%	120	26,52085
2	29,114	2969,628	320	301	5,94%	120	24,7469
3	29,958	3055,716	320	297	7,19%	120	25,4643
4	30,418	3102,636	320	288	10,00%	120	25,8553
5	31,024	3164,448	320	303	5,31%	120	26,3704

Fuente: Autores.

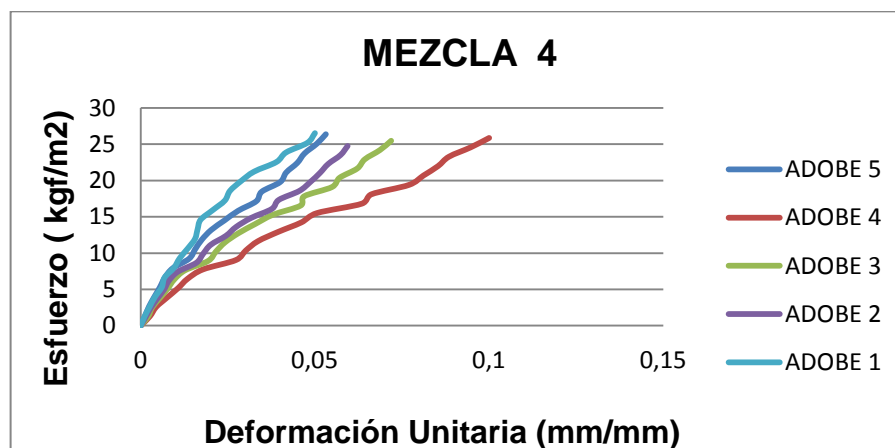
Gráfica 7. Ensayo de Compresión Vs. Deformación para la mezcla 4.



Fuente: Autores.

La gráfica 7, de compresión contra deformación para la mezcla 4, indica las cargas (Kgf) para las cuales se deforma el material (mm). Esta curva muestra como el adobe 1 de esta mezcla es que el menor deformación sufrió, y el adobe 4 fue el que mayor deformación sufrió, de igual forma se puede observar que los 5 adobes, tienden a deformarse de 15 a 22 mm, excepto el adobe 4 que se deforma 31 mm aproximadamente, todos para cargas promedio de 3100 Kgf, mostrándonos una buena dosificación ya que se elevan los valores de cargas promedio resistidas y disminuye la deformación en comparación con los adobes de la mezcla 1.

Gráfica 8. Ensayo de Esfuerzo Vs. Deformación Unitaria para la mezcla 4.



Fuente: Autores.

La gráfica 8 relaciona el esfuerzo aplicado sobre el material y la deformación unitaria que este experimenta con esta carga. En la curva vemos como el adobe 1 es el que sufre menor deformación unitaria, y el adobe 4 es el que sufre mayor deformación unitaria, fracturándose todos con un esfuerzo promedio de aproximadamente 26 (Kgf/m²), indicando una mejoría en la resistencia soportada en comparación con la mezcla 1.

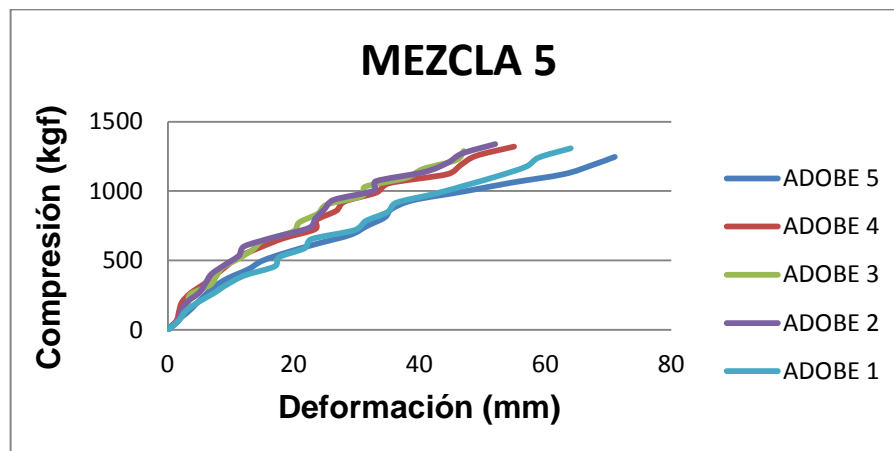
7.9.5 Mezcla 5 (90% materia prima + 10% ceniza). En la tabla 25, se presentan los resultados utilizados para la realización de gráficas e interpretación de resultados correspondientes al ensayo de compresión.

Tabla 25. Ensayo de compresión para adobes de mezcla 5.

Adobes Mezcla 5	Compresión		Deformación			Área (cm ²)	Esfuerzo (Kgf/cm ²)
	Carga (Kn)	Carga (Kgf)	Li (mm)	Lf (mm)	%		
1	12,828	1308,456	320	256	20,00%	120	10,9038
2	13,124	1338,648	320	268	16,25%	120	11,1554
3	12,639	1289,178	320	273	14,69%	120	10,74315
4	12,948	1320,696	320	265	17,19%	120	11,0058
5	12,22	1246,44	320	249	22,19%	120	10,387

Fuente: Autores.

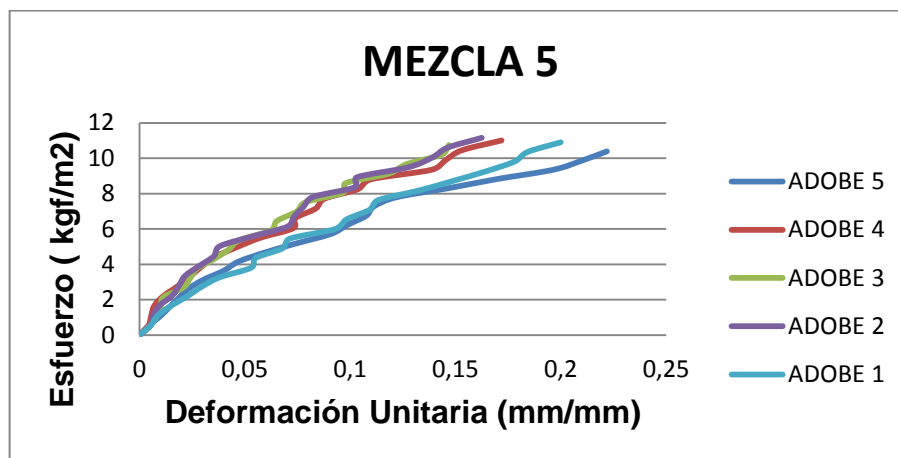
Gráfica 9. Ensayo de Compresión Vs. Deformación para la mezcla 5.



Fuente: Autores.

La gráfica 9, de compresión contra deformación para la mezcla 5, indica las cargas (Kgf) para las cuales se deforma el material (mm). En la gráfica se observa como los adobes 2, 3 y 4 presentan la menor deformación y el adobe 5 presenta la mayor deformación, siendo unos resultados muy homogéneos. Estos adobes tienden a deformarse de 55 a 65 mm para cargas promedio de 1300 Kgf, indicando, una reducción en la carga soportada y un aumento en la deformación presentada, en comparación con la mezcla 1, ratificando lo encontrado en pruebas anteriores, donde se indica que no es conveniente realizar dosificaciones mayores al 5% de ceniza, porque invierte los resultados positivos presentados en la mezcla 2.

Gráfica 10. Ensayo de Esfuerzo Vs. Deformación Unitaria para la mezcla 5.



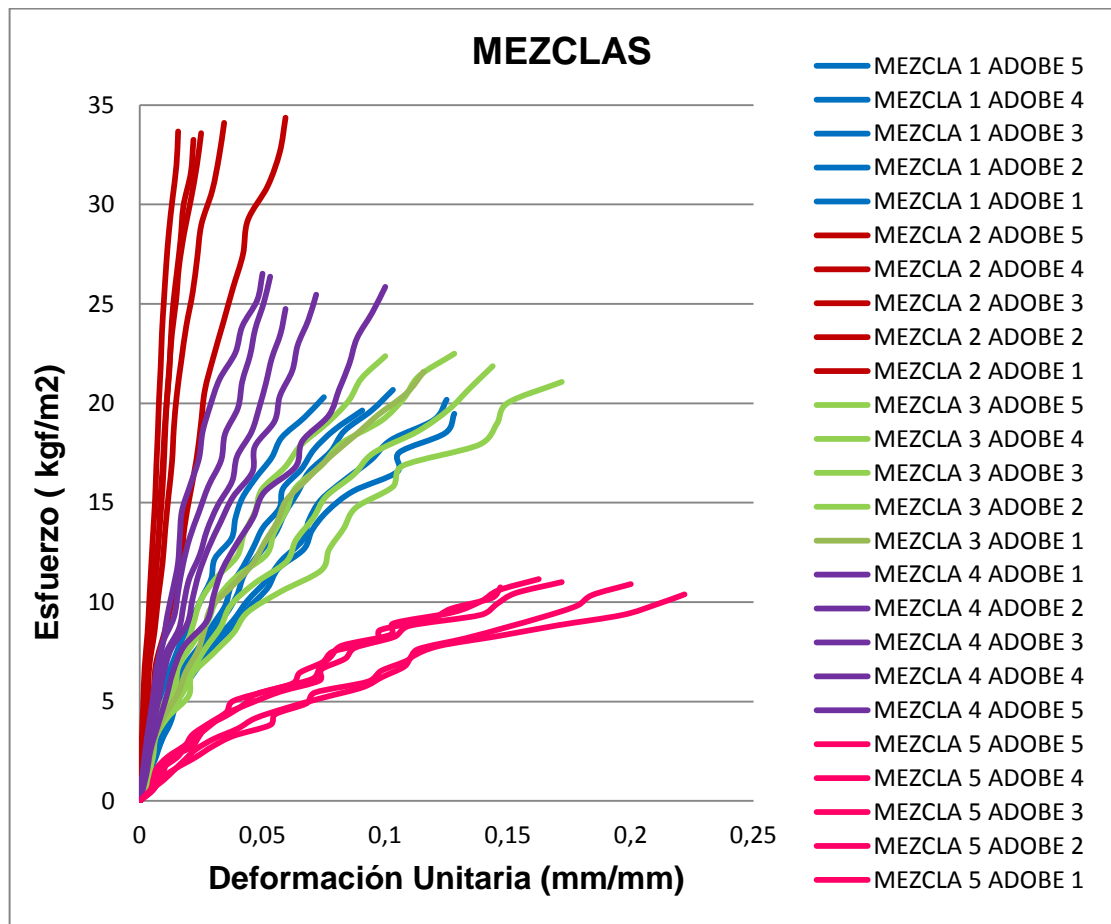
Fuente: Autores.

En la gráfica 10, se relaciona el esfuerzo aplicado sobre el material y la deformación unitaria que este experimenta con esta carga. Nuevamente se observa como los adobes 2, 3 y 4 sufren una menor deformación unitaria, y el adobe 5 es el que sufre una mayor deformación unitaria, fracturándose todos con un esfuerzo promedio de aproximadamente 11 (Kgf/m²), indicando una

disminución muy notoria en la resistencia soportada en comparación con la mezcla 1 y las demás mezclas.

En la figura 11, podemos observar una unificación de las gráficas de esfuerzo contra deformación unitaria para las 5 mezclas presentadas anteriormente.

Gráfica 11. Ensayo de Esfuerzo Vs. Deformación Unitaria para todas las mezclas.



Fuente: Autores.

En la gráfica 11, se resume el ensayo de compresión para las 5 mezclas realizadas y cada uno de los adobes de estas mezclas, y se observa de una manera contundente, como la dosificación que dio mejores resultados para este ensayo, fue la mezcla 2, alcanzando valores de hasta 35 Kgf/m² y así mismo los más bajos en deformación unitaria, no siendo superiores a 0,05; de igual forma se puso establecer que la mezcla 5 es la que presenta resultados más heterogéneos y alejados de las otras dosificaciones, presentando el menor esfuerzo correspondiente a 11 Kgf/m², y las deformaciones unitarias más altas presentadas durante el ensayo mayores a 0,2. También es importante resaltar, que la mezcla 4, junto con la mezcla 2, dieron resultados superiores a los encontrados en la primera mezcla, que fue la tomada de referencia para mejorar parámetros, y que la mezcla 3, presento valores muy similares a esta, indicando que no se mejoraron ni empeoraron en ella los resultados de partida.

Observando todas las gráficas presentadas para compresión, podemos definir que el comportamiento de todas las mezclas, tienen la forma típica de curva de materiales frágiles, debido a que no se encuentra claramente definido su punto de fluencia, ni una zona lineal elástica, y presenta ruptura súbita, sin aumento notorio en las deformaciones del material.

De esta manera podemos ratificar que de acuerdo a los resultados encontrados, en los ensayos de compresión, flexión y absorción, no es recomendable usar adiciones mayores al 5% de ceniza para estabilizar el adobe, debido a que su respuesta no fue positiva, y lo que se logra, son adobes más flexibles y frágiles que los presentados por solo material; así mismo, podemos determinar que la mejor dosificación presentada para resistencia a esfuerzos tanto unitarios como de carga puntual aplicada, es la mezcla 2, y que los mejores resultados de absorción se encontraron en la mezcla 3.

CONCLUSIONES

- Se elaboró un levantamiento estratigráfico en el frente de explotación de la Ladrillera ERGO Durán y García Ltda., que permitió identificar 13 segmentos, 3 de ellos conglomeráticos que no presentan interés, 6 de ellos arcillosos, y 4 arenosos; establecidos como niveles de interés para la extracción de material y fabricación de adobes, y se ubicó en la sección estratigráfica realizada al frente de explotación dentro del Miembro Finos (Qbf), perteneciente a la Formación Bucaramanga.
- Se estableció por medio del análisis granulométrico por tamizado e hidrometría realizado, para el frente de explotación de la Ladrillera ERGO Durán y García Ltda., un porcentaje de gravas correspondiente a 1,57%, de arenas 87,80% y de finos 13,63%, dando como resultado, según el sistema unificado de clasificación, un suelo SC: Arena arcilloso, apto para la fabricación de adobes, sin tener que realizar una variación en su composición.
- Se constituyó por medio de los análisis correspondientes a los Límites de Atterberg, un límite líquido de 35%, límite plástico de 17% y un índice de plasticidad de 18%, que según el sistema unificado de clasificación, es un suelo SC: Arena arcillosa, apto para la fabricación de adobes.
- Se caracterizó la materia prima extraída, mediante análisis de Difracción de Rayos X (DRX), Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier (IRFT) y descripciones de muestras de mano, que permitieron establecer el tipo de suelos pertenecientes a la zona de estudio, dando como resultado un suelo con porcentajes de arenas, limos y arcillas, y su respectiva composición mineralógica, apropiados para la elaboración de adobes estabilizados.

- Se estableció por medio de la prueba de absorción que al estabilizar las mezclas realizadas con cáscara de yuca secada de manera natural, se reduce la capacidad de absorber humedad, garantizando mejor consistencia en la estructura de los adobes, y de la misma manera, que al adicionarle cantidades mayores al 5% de ceniza, las propiedades del adobe tienden a alterarse.
- Se determinó que aunque los resultados para las pruebas de absorción realizados a adobes estabilizados con cáscara de yuca secada de manera natural son los esperados, no podrían ser utilizadas en construcciones rurales, debido a que su estabilizante podría generar que animales o insectos de la zona, tiendan a corroerlos y generen su posterior debilitamiento y destrucción.
- Se certificó por medio de las pruebas de compresión y flexión, que los adobes que generan mejores resultados a la carga aplicada y los más bajos de deformación unitaria, son los estabilizados con ceniza cuando su dosificación es igual o menor al 5%, y de igual forma, que dosificaciones mayores al 5%, genera adobes más flexibles y frágiles.
- Se obtuvieron en las gráficas de compresión, comportamientos que obedecen a la forma típica de curva de materiales frágiles, debido a que no se encuentra claramente definido su punto de fluencia, ni una zona lineal elástica, y presentan ruptura súbita, sin aumento notorio en las deformaciones del material.

BIBLIOGRAFÍA

1. **APORI, S.** Cambios bioquímicos que ocurren en las cáscaras de plátano verde y yuca secados al sol. International symposium on soil testing and plant analysis: Precision Nutrient Management. USA. 1994.
2. **ARIAS, Lucía Elizabeth; ALDERETE, Carlos E.; MELLACE, Rafael F.** Control de la absorción de agua en bloques comprimidos de suelo-cemento. Centro regional de investigaciones de arquitectura de tierra cruda (CRIATiC-FAU-UNT), 2003, 6p.
3. **BOSCARELLO G, Carlos; HERRERO, Noguero; A, Paulo.** Caracterización físico química de suelos de Soledad y Ciudad Bolívar para la fabricación de bloques de tierra estabilizada y compactada (BTC). Geominas, Vol. 37, No 50. Venezuela, 2009. 7p.
4. **CABALLERO ANAYA, Zeudiel; MARTÍNEZ BARAJAS, Gabriel Alberto.** Influencia de las propiedades físicas del material tierra para la elaboración de bloques de tierra comprimidos (BTC). Proyecto de Grado. Universidad Industrial de Santander. 2009. 124p.
5. **CRATERRE.** Construir con tierra Tomo I y II. Blocks de Terre Comprimee- Equipements de production. Paris.1979.
6. **CRUZ GUEVARA, L. E.; CABALLERO, V.M.** Guías de Laboratorio. Petrología Sedimentaria. 2007.

7. **DWIGHT, W.; GOLDSMITH, R.; JIMENO, A.; CRUZ, J.; RESTREPO, H.; GÓMEZ, E.** Mapa geológico del Cuadrángulo H-12, Bucaramanga. Escala 1:100.000. Ingeominas. 1977.
8. **ETCHEBARNE, Rosario; PIÑEIRO, Gabriela; SILVA, Juan Carlos.** Proyecto tierra Uruguay montaje de prototipos de vivienda a través de la utilización de tecnologías en tierra: adobe, fajina y BTC. Universidad de la República. Uruguay, 2005.16p.
9. **FLORES AGUILAR, Camilo Andrés; LÓPEZ HERNÁNDEZ, Olber Alexander.** Propuesta de reforzamiento de muros de adobe modificado con confinamiento de madera rolliza. Proyecto de Grado. Universidad Industrial de Santander. Facultad de ingenierías físico-mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. 2010. 135 p.
10. **FOLK Robert L.** Petrology of sedimentary rocks.1974.
11. **GALÍNDEZ, Fernando.** Bloques de tierra comprimida (BTC) sin adicción de cemento. Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Católica de Salta, Fundación Mapfre. Argentina, 2007. 46p.
12. **HOUBEN, H. y GUILLAUD, H.** Earth Construction – A Comprehensive Guide. London. 1994. 25p.
13. **INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN.** Clasificación SUCS. Método estándar para la clasificación de suelos con propósitos de ingeniería. Norma ASTM D2487.

14. **INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN.**
Clasificación SUCS. Método estándar para la clasificación de suelos con propósitos de ingeniería. Norma ASTM D4318.
15. **I.N.V.E. 123-07.** Análisis granulométrico por medio de tamizado.
16. **I.N.V.E. 124-07.** Análisis granulométrico por medio del hidrómetro.
17. **I.N.V.E. 125-07.** Determinación del límite líquido de los suelos.
18. **I.N.V.E. 126-07.** Límite plástico e índice de plasticidad de suelos.
19. **LA REVUE DURABLE.** Dossier des technologies appropriées pour la construction, l'eau et la santé. Vol 19. 2006.
20. **MALAVÉ, R. E.; GÓMEZ, M.; SOSA, G.; ANZOLA, E.; GIMÉNEZ, A.** Evaluación de la durabilidad de bloques de tierra-cemento-sisal armado, al someterlos a la acción de iones cloruros. Materiales de construcción, Vol. 56. Barquisimeto, Venezuela, 2006. 284 p.
21. **MENÉNDEZ, Pedro; ARDILA, Marlene.** Ecovivienda en Latinoamérica. Foro Iberoamericano y del Caribe sobre mejores prácticas. Fundación Hábitat Colombia, 2006, 44p.
22. **MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN E INFORMACIÓN GEOCIENTÍFICA, MINERO – AMBIENTAL Y NUCLEAR – INGEOMINAS.** Zonificación sismogeotécnica indicativa del área metropolitana de Bucaramanga. Colombia, 2001. 290p

23. **MONTES BERNABÉ, José Luis.** Estudio del efecto de la fibra de bagazo de Agave angustifolia Haw, en la resistencia a la flexión y compresión del adobe compactado. Proyecto de Grado, Maestría. Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Investigación para el desarrollo integral regional, Unidad Oaxaca. 2009. 127p.
24. **MORALES DOMINGUEZ, Valentín Juventino; ORTIZ GUZMAN, Margarito; ALAVEZ RAMIREZ, Rafael.** Mejoramiento de las propiedades mecánicas del adobe compactado. Instituto Politécnico Nacional, Centro interdisciplinario de investigación para el desarrollo integral regional, Unidad Oaxaca, Vol. 5, No 1. México, 2007. 8p.
25. **MORALES, Robert; TORRES, Rafael; RENGIFO, Luis; IRALA, Carlos.** Manual para la construcción de viviendas de adobe. Lima, Perú 1993. 25p.
26. **NEVILLE, M. A.** Tecnología del concreto. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. Primera edición. 1999.
27. **NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 4017.** Método para muestreo y ensayos de unidades de mampostería y otros productos de arcilla.
28. **OTI, J.E; KINUTHIA, J.M; BAI, J.** Compressive strength and microstructural analysis of unfired clay masonry bricks. Engineering Geology. 2009. 230p.
29. **OTI, J.E; KINUTHIA, J.M; BAI, J.** Engineering properties of unfired clay masonry bricks. Engineering Geology. 2009.130p.
30. **Publicaciones geológicas especiales del Ingeominas.** Recursos minerales de Colombia. Segunda edición. Tomo II Minerales preciosos rocas y minerales no metálicos recursos energéticos. Colombia 1987. 554p.

31. **RIVERA TORRES, Juan Carlos; MUÑOZ DÍAZ, Edgar Eduardo.** Caracterización estructural de materiales de sistemas constructivos en tierra: El adobe. Revista internacional de desastres naturales, accidentes e infraestructura civil, Vol. 5. Bogotá, Colombia, 2005. 135 p.
32. **RODRÍGUEZ, M. A.; SAROZA, B.** Identificación de la composición óptima del adobe como material de construcción de una escuela en Cuba. Materiales de construcción, Vol. 56. Barquisimeto, Venezuela, 2006. 284 p.
33. **ROYERO GUTIÉRREZ, José María.** Geología y geoquímica de la plancha 111 Toledo- Norte de Santander. Ministerio de Minas y Energía, Instituto de investigación e información geocientífica minero- ambiental y nuclear, Ingeominas. 2001. 56p.
34. **ROYERO; CLAVIJO.** Memoria explicativa del mapa geológico generalizado del departamento de Santander. Ingeominas, Bucaramanga. 2001.
35. **WARD, D, E.** Recursos minerales de parte de los departamentos de Norte de Santander y Santander. Ingeominas, Bol. Geol.XVIII,.Bogota (1970). 3140p.
36. **YAMÍN LACOUTURE, Luis Eduardo; PHILLIPS BERNAL, Camilo; REYES ORTIZ, Juan Carlos; RUIZ VALENCIA, Daniel.** Estudio de vulnerabilidad sísmica, rehabilitación y refuerzo de casas de adobe y tapia pisada a nivel nacional. Centro de Estudios de Desastres y Riesgos, CEDERI de la Universidad de los Andes. Colombia, 2007. 377p.

ANEXOS

Anexo A. Informe pruebas de resistencia a la compresión, flexión y absorción

CENTRO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION ESCUELA INGENIERIA CIVIL

RESULTADO ENSAYO DE ABSORCIÓN

PROYECTO : CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICA Y MECÁNICA DE SUELOS
RESIDUALES UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE
COVIVIENDAS CON TECNOLOGIA SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO
DE GIRÓN SANTANDER
FECHA ENSAYO: OCTUBRE 14 DE 2011
NORMA DE REF : NTC 1085

CARACTERÍSTICAS

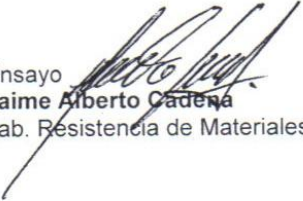
MATERIAL : ADOBE MEZCLA 1
LONGITUD Lo : 320 mm
ANCHO B : 150 mm
ESPESOR H : 80 mm

RESULTADOS

ESPECIMEN	PESO SATURADO Kg	PESO SECO Kg	% ABSORCION
1	7,5447	5,8682	28,57
2	8,2797	6,266	32,14
3	8,4954	6,5147	30,40
4	8,7194	6,6294	31,53
5	8,4133	6,5513	28,42

Observaciones:

1 DECLARAMOS QUE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS REPORTADOS EN ESTE INFORME ESTAN RELACIONADOS CON LOS ESPECIMEN QUE SE HAN IDENTIFICADO Y ENSAYADO, LAS CUALES FUERON ENTREGADAS EN EL LABORATORIO DIRECTAMENTE POR EL CLIENTE
2 ESTE INFORME NO DEBE REPRODUCIRSE PARCIAL O TOTALMENTE SIN LA AUTORIZACION DEL CENTRO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION, ESCUELA INGENIERIA CIVIL DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
3 LA APLICACION Y EMPLEO DE LOS DATOS Y RESULTADOS REPORTADOS EN ESTE INFORME NO SON RESPONSABILIDAD DEL CENTRO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION, ESCUELA INGENIERIA CIVIL DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER.

Ensayo 
Jaime Alberto Cadena
Lab. Resistencia de Materiales

**CENTRO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION
ESCUELA INGENIERIA CIVIL**



RESULTADO ENSAYO DE ABSORCIÓN

PROYECTO : CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICA Y MECÁNICA DE SUELOS RESIDUALES UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE COVIVIENDAS CON TECNOLOGIA SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE GIRÓN SANTANDER

FECHA ENSAYO: OCTUBRE 14 DE 2011

NORMA DE REF : NTC 1085

CARACTERISTICAS


MATERIAL : ADOBE MEZCLA 2
LONGITUD Lo : 320 mm
ANCHO B : 150 mm
ESPESOR H : 80 mm

RESULTADOS

ESPECIMEN	PESO SATURADO Kg	PESO SECO Kg	% ABSORCION
1	8,5717	6,6624	28,66
2	8,3636	6,3955	30,77
3	8,6275	6,8123	26,65
4	8,9631	6,9449	29,06
5	8,9789	7,0101	28,09

Observaciones:

1 DECLARAMOS QUE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS REPORTADOS EN ESTE INFORME ESTAN RELACIONADOS CON LOS ESPECIMEN QUE SE HAN IDENTIFICADO Y ENSAYADO LAS CUALES FUERON ENTREGADAS EN EL LABORATORIO DIRECTAMENTE POR EL CLIENTE
2 ESTE INFORME NO DEBE REPRODUCIRSE PARCIAL O TOTALMENTE SIN LA AUTORIZACION DEL CENTRO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION ESCUELA INGENIERIA CIVIL DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
3 LA APLICACION Y EMPLEO DE LOS DATOS Y RESULTADOS REPORTADOS EN ESTE INFORME NO SON RESPONSABILIDAD DEL CENTRO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION ESCUELA INGENIERIA CIVIL DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

Ensayo 
Jaime Alberto Cadena
Lab. Resistencia de Materiales

CENTRO CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN
Ciudad Universitaria, Carrera 27 - Calle 9, Edificio Álvaro Beltrán Pinzón
PBX: (+57 7) 634 4000 Ext. 2487 - 2490 - FAX: (+57 7) 632 0744, Bucaramanga, Colombia

E-mail labcivil@uis.edu.co





**CENTRO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION
ESCUELA INGENIERIA CIVIL**

RESULTADO ENSAYO DE ABSORCIÓN

PROYECTO : CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICA Y MECÁNICA DE SUELOS RESIDUALES UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE COVIVIENDAS CON TECNOLOGIA SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE GIRON SANTANDER

FECHA ENSAYO: OCTUBRE 14 DE 2011
NORMA DE REF : NTC 1085

CARACTERISTICAS

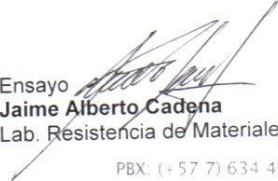
MATERIAL : ADOBE MEZCLA 3
LONGITUD Lo : 320 mm
ANCHO B : 150 mm
ESPESOR H : 80 mm

RESULTADOS

ESPECIMEN	PESO SATURADO Kg	PESO SECO Kg	% ABSORCION
1	8,934	7,069	26,38
2	8,8521	6,9857	26,72
3	9,2391	7,2217	27,94
4	8,4954	6,6943	26,90
5	9,0391	7,1097	27,14

Observaciones:

- 1 DECLARAMOS QUE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS REPORTADOS EN ESTE INFORME ESTAN RELACIONADOS CON LOS ESPECIMEN QUE SE HAN IDENTIFICADO Y ENSAYADO, LAS CUALES FUERON ENTREGADAS EN EL LABORATORIO DIRECTAMENTE POR EL CLIENTE.
- 2 ESTE INFORME NO DEBE REPRODUCIRSE PARCIAL O TOTALMENTE SIN LA AUTORIZACION DEL CENTRO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION, ESCUELA INGENIERIA CIVIL DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
- 3 LA APLICACION Y EMPLEO DE LOS DATOS Y RESULTADOS REPORTADOS EN ESTE INFORME NO SON RESPONSABILIDAD DEL CENTRO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION, ESCUELA INGENIERIA CIVIL DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

Ensayo 
Jaime Alberto Cadena
Lab. Resistencia de Materiales

CENTRO CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN
Ciudad Universitaria, Carrera 27 - Calle 9, Edificio Álvaro Beltrán Pinzón

PBX: (+ 57 7) 634 4000 Ext. 2487 - 2490 - FAX: (+ 57 7) 632 0744, Bucaramanga, Colombia

E-mail labcivil@uis.edu.co



CENTRO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION
ESCUELA INGENIERIA CIVIL



RESULTADO ENSAYO DE ABSORCIÓN

PROYECTO : CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICA Y MECÁNICA DE SUELOS
RESIDUALES UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE
COVIVIENDAS CON TECNOLOGIA SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO
DE GIRÓN SANTANDER

FECHA ENSAYO: OCTUBRE 14 DE 2011

NORMA DE REF : NTC 1085

CARACTERÍSTICAS

MATERIAL : ADOBE MEZCLA 4

LONGITUD Lo : 320 mm

ANCHO B : 150 mm

ESPESOR H : 80 mm

RESULTADOS

ESPECIMEN	PESO SATURADO Kg	PESO SECO Kg	% ABSORCION
1	8,8221	6,9259	27,38
2	8,5931	6,7551	27,21
3	8,3194	6,4312	29,36
4	8,7491	6,8767	27,23
5	9,2447	7,2413	27,67

Observaciones:

1 DECLARAMOS QUE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS REPORTADOS EN ESTE INFORME ESTAN RELACIONADOS CON LOS ESPECIMEN QUE SE HAN IDENTIFICADO Y ENSAYADO. LAS CUALES FUERON ENTREGADAS EN EL LABORATORIO DIRECTAMENTE POR EL CLIENTE
2 ESTE INFORME NO DEBE REPRODUCIRSE PARCIAL O TOTALMENTE. SIN LA AUTORIZACION DEL CENTRO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION. ESCUELA INGENIERIA CIVIL DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
3 LA APLICACION Y EMPLEO DE LOS DATOS Y RESULTADOS REPORTADOS EN ESTE INFORME NO SON RESPONSABILIDAD DEL CENTRO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION. ESCUELA INGENIERIA CIVIL DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

Ensayo
Jaime Alberto Cadena
Lab. Resistencia de Materiales

CENTRO CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Ciudad Universitaria, Carrera 27 - Calle 9, Edificio Álvaro Beltrán Pinzón

PBX: (+ 57 7) 634 4000 Ext. 2487-2490 - FAX: (+ 57 7) 632 0744, Bucaramanga, Colombia

E-mail labcivil@uis.edu.co





**CENTRO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION
ESCUELA INGENIERIA CIVIL**

RESULTADO ENSAYO DE ABSORCIÓN

PROYECTO : CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICA Y MECÁNICA DE SUELOS RESIDUALES UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE COVIVIENDAS CON TECNOLOGIA SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE GIRÓN SANTANDER

FECHA ENSAYO: OCTUBRE 14 DE 2011

NORMA DE REF : NTC 1085

CARACTERISTICAS

MATERIAL : ADOBE MEZCLA 5

LONGITUD Lo : 320 mm

ANCHO B : 150 mm

ESPESOR H : 80 mm

RESULTADOS

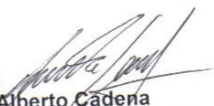
ESPECIMEN	PESO SATURADO Kg	PESO SECO Kg	% ABSORCION
1	8,5412	6,4918	31,57
2	8,4433	6,4271	31,37
3	8,6624	6,7121	29,06
4	8,9	6,7901	31,07
5	8,6609	6,6529	30,18

Observaciones:

1 DECLARAMOS QUE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS REPORTADOS EN ESTE INFORME ESTAN RELACIONADOS CON LOS ESPECIMEN QUE SE HAN IDENTIFICADO Y ENSAYADO; LAS CUALES FUERON ENTREGADAS EN EL LABORATORIO DIRECTAMENTE POR EL CLIENTE

2 ESTE INFORME NO DEBE REPRODUCIRSE PARCIAL O TOTALMENTE SIN LA AUTORIZACION DEL CENTRO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION, ESCUELA INGENIERIA CIVIL DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

3 LA APLICACION Y EMPLEO DE LOS DATOS Y RESULTADOS REPORTADOS EN ESTE INFORME NO SON RESPONSABILIDAD DEL CENTRO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION, ESCUELA INGENIERIA CIVIL DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

Ensayo 
Jaime Alberto Cadena
 Lab. Resistencia de Materiales

CENTRO CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Universidad Universitaria, Carrera 27 - Calle 9, Edificio Álvaro Beltrán Pinzón
 PBX (+57 7) 634 4000 Ext. 2487-2490 FAX: (+57 7) 632 0744, Bucaramanga, Colombia

E-mail: labcivil@uis.edu.co





	LABORATORIO CARACTERIZACIÓN MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	código :F-PS-03
	INFORME DE RESULTADOS ENSAYO DE COMPRESIÓN LADRILLOS-BLOQUES	Versión:01

OCTUBRE 14 2011

DATOS GENERALES			
CLIENTE	PROYECTO CARACTERIZACION FISICO QUIMICO Y MECANICO DE SUELOS	LADRILLOS CERAMICOS	X
OBRA		LADRILLOS DE CONCRETO	
MATERIAL	ADOBE	NORMA : ICONTEC 4017	

IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE	IDENTIFICACIÓN INTERNA	AREA TOTAL cm2	CARGA Kgf	ESFUERZO (Kg/cm2)Sección total	PESO SATURADO gr	PESO SECO gr	% ABSORCIÓN
mezcla 1	L102	120	2357	19,63925	-----	-----	-----
mezcla 1	L103	120	2481	20,6754	-----	-----	-----
mezcla 1	L104	120	2421	20,179	-----	-----	-----
mezcla 1	L105	120	2437	20,3065	-----	-----	-----
mezcla 1	L106	120	2337	19,4735	-----	-----	-----
mezcla 2	L107	120	4.030	33,58605	-----	-----	-----
mezcla 2	L108	120	4.093	34,10625	-----	-----	-----
mezcla 2	L109	120	4.124	34,36635	-----	-----	-----
mezcla 2	L110	120	4.041	33,67105	-----	-----	-----
mezcla 2	L111	120	3.991	33,2554	-----	-----	-----
mezcla 3	L112	120	2.590	21,585	-----	-----	-----
mezcla 3	L113	120	2.684	22,37	-----	-----	-----
mezcla 3	L114	120	2.624	21,867	-----	-----	-----
mezcla 3	L115	120	2.699	22,494	-----	-----	-----
mezcla 3	L116	120	2.529	21,074	-----	-----	-----

Observaciones : 1. DECLARAMOS QUE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS REPORTADOS EN ESTE INFORME ESTAN RELACIONADOS CON LOS ESPECIMEN QUE SE HAN IDENTIFICADO Y ENSAYADO, LAS CUALES FUERON ENTREGADAS EN EL LABORATORIO DIRECTAMENTE POR EL CLIENTE.
 2. ESTE INFORME NO DEBE REPRODUCIRSE PARCIAL O TOTALMENTE SIN LA AUTORIZACION DEL CENTRO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION, ESCUELA INGENIERIA CIVIL DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER.
 3. LA APLICACION Y EMPLEO DE LOS DATOS Y RESULTADOS REPORTADOS EN ESTE INFORME NO SON RESPONSABILIDAD DEL CENTRO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION, ESCUELA INGENIERIA CIVIL DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER.
 4. LA INFORMACION DECLARADA EN ESTE INFORME ESTA BASADA EN LOS DATOS SUMINISTRADOS POR EL CLIENTE, NO ES COMPETENCIA DEL LABORATORIO LA VERACIDAD DE DICHA INFORMACION.

Ensayo.
JAIRO HERNANDEZ S.
 LAB. HORMIGÓN

CENTRO CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN
 Ciudad Universitaria, Carrera 27 - Calle 9, Edificio Álvaro Beltrán Pinzón
 PBX. (+57 7) 634 4000 Ext. 2487 2490 - FAX: (+57 7) 632 0744, Bucaramanga, Colombia
 E-mail labcivil@uis.edu.co



CENTRO CARACTERIZACIÓN MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



RESULTADOS ENSAYO A FLEXIÓN

PROYECTO : CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICO Y MECÁNICO DE SUELOS RESIDUALES UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE COVIVIENDAS CON TECNOLOGÍA SOSTENIBLE EN EL MUNICIPIO DE GIRON SANTANDER
FECHA ENSAYO: OCTUBRE 14 DE 2011
NORMA DE REF : NTC 2849

CARACTERÍSTICAS

MATERIAL : ADOBE MEZCLA 1 LONGITUD Lo : 320 mm
ANCHO B : 150mm ESPESOR H : 80mm

CONDICIONES DEL ENSAYO

Equipo : Máquina Universal de Ensayos Marca MTS
Capacidad del Equipo : 500kN
Posición del Especimen: Apoyado sobre Mandril
Distancia entre apoyos : 90mm
Punto de Carga : céntrica – axial
Velocidad de Ensayo : constante de 0.2mm/seg

RESULTADOS

ESPECIMEN	CARGA DE ROTURA N
1	3372
2	3101
3	3100
4	3220
5	3243

Observaciones:

1 DECLARAMOS QUE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS REPORTADOS EN ESTE INFORME ESTAN RELACIONADOS CON LOS ESPECIMEN QUE SE HAN IDENTIFICADO Y ENSAYADO, LAS CUALES FUERON ENTREGADAS EN EL LABORATORIO DIRECTAMENTE POR EL CLIENTE
2 ESTE INFORME NO DEBE REPRODUCIRSE PARCIAL O TOTALMENTE SIN LA AUTORIZACION DEL CENTRO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION, ESCUELA INGENIERIA CIVIL DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
3 LA APLICACION Y EMPLEO DE LOS DATOS Y RESULTADOS REPORTADOS EN ESTE INFORME NO SON RESPONSABILIDAD DEL CENTRO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION, ESCUELA INGENIERIA CIVIL DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
4 LA INFORMACION DECLARADA EN ESTE INFORME ESTA BASADA EN LOS DATOS SUMINISTRADOS POR EL CLIENTE, NO ES COMPETENCIA DEL LABORATORIO LA VERACIDAD DE DICHA INFORMACION

Ensayo
Jaime Alberto Cadena
Lab. Resistencia de Materiales

CENTRO CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN
Ciudad Universitaria, Carrera 27 - Calle 9, Edificio Álvaro Beltrán Pinzón
PBX: (+57 7) 634 4000 Ext. 2487-2490 FAX: (+57 7) 632 0744, Bucaramanga, Colombia
E-mail: labcivil@uis.edu.co



CENTRO CARACTERIZACIÓN MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



RESULTADOS ENSAYO A FLEXIÓN

PROYECTO : CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICO Y MECÁNICO DE SUELOS RESIDUALES UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE COVIVIENDAS CON TECNOLOGÍA SOSTENIBLE EN EL MUNICIPIO DE GIRON SANTANDER

FECHA ENSAYO: OCTUBRE 14 DE 2011

NORMA DE REF : NTC 2849

CARACTERÍSTICAS

MATERIAL : ADOBE MEZCLA 2 LONGITUD Lo : 320 mm
ANCHO B : 150mm ESPESOR H : 80mm

CONDICIONES DEL ENSAYO


Equipo : Maquina Universal de Ensayos Marca MTS
Capacidad del Equipo : 500kN
Posición del Espécimen: Apoyado sobre Mandril
Distancia entre apoyos : 90mm
Punto de Carga : céntrica – axial
Velocidad de Ensayo : constante de 0.2mm/seg

RESULTADOS

ESPECIMEN	CARGA DE ROTURA N
1	4570
2	3910
3	6670
4	4010
5	3880

Observaciones:

1 DECLARAMOS QUE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS REPORTADOS EN ESTE INFORME ESTAN RELACIONADOS CON LOS ESPECIMEN QUE SE HAN IDENTIFICADO Y ENSAYADO, LAS CUALES FUERON ENTREGADAS EN EL LABORATORIO DIRECTAMENTE POR EL CLIENTE.
2 ESTE INFORME NO DEBE REPRODUCIRSE PARCIAL O TOTALMENTE SIN LA AUTORIZACION DEL CENTRO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION, ESCUELA INGENIERIA CIVIL DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER.
3 LA APLICACION Y EMPLEO DE LOS DATOS Y RESULTADOS REPORTADOS EN ESTE INFORME NO SON RESPONSABILIDAD DEL CENTRO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION, ESCUELA INGENIERIA CIVIL DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER.
4 LA INFORMACION DECLARADA EN ESTE INFORME ESTA BASADA EN LOS DATOS SUMINISTRADOS POR EL CLIENTE. NO ES COMPETENCIA DEL LABORATORIO LA VERACIDAD DE DICHA INFORMACION.

Ensayo 
Jaime Alberto Cadena
Lab. Resistencia de Materiales

CENTRO CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Ciudad Universitaria, Carrera 27 - Calle 9, Edificio Álvaro Beltrán Pinzón

PBX: (+57 7) 634 4000 Ext. 2487 2490 - FAX: (+57 7) 632 0744, Bucaramanga, Colombia

E-mail labcivil@uis.edu.co



CENTRO CARACTERIZACIÓN MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



RESULTADOS ENSAYO A FLEXIÓN

PROYECTO : CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICO Y MECÁNICO DE SUELOS RESIDUALES UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE COVIVIENDAS CON TECNOLOGÍA SOSTENIBLE EN EL MUNICIPIO DE GIRON SANTANDER

FECHA ENSAYO: OCTUBRE 14 DE 2011

NORMA DE REF : NTC 2849

CARACTERÍSTICAS

MATERIAL : ADOBE MEZCLA 3 LONGITUD Lo : 320 mm
ANCHO B : 150mm ESPESOR H : 80mm

CONDICIONES DEL ENSAYO


Equipo : Máquina Universal de Ensayos Marca MTS
Capacidad del Equipo : 500kN
Posición del Espécimen: Apoyado sobre Mandril
Distancia entre apoyos : 90mm
Punto de Carga : céntrica – axial
Velocidad de Ensayo : constante de 0.2mm/seg

RESULTADOS

ESPECIMEN	CARGA DE ROTURA N
1	2880
2	2640
3	2780
4	2810
5	2790

Observaciones:

1. DECLARAMOS QUE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS REPORTADOS EN ESTE INFORME ESTAN RELACIONADOS CON LOS ESPECIMEN QUE SE HAN IDENTIFICADO Y ENSAYADO, LAS CUALES FUERON ENTREGADAS EN EL LABORATORIO DIRECTAMENTE POR EL CLIENTE.
2. ESTE INFORME NO DEBE REPRODUCIRSE PARCIAL O TOTALMENTE SIN LA AUTORIZACION DEL CENTRO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION, ESCUELA INGENIERIA CIVIL DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER.
3. LA APLICACION Y EMPLEO DE LOS DATOS Y RESULTADOS REPORTADOS EN ESTE INFORME NO SON RESPONSABILIDAD DEL CENTRO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION, ESCUELA INGENIERIA CIVIL DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER.
4. LA INFORMACION DECLARADA EN ESTE INFORME ESTA BASADA EN LOS DATOS SUMINISTRADOS POR EL CLIENTE, NO ES COMPETENCIA DEL LABORATORIO LA VERACIDAD DE DICHA INFORMACION.

Ensayo 
Jaime Alberto Cadena
Lab. Resistencia de Materiales

CENTRO CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Ciudad Universitaria, Carrera 27 - Calle 9, Edificio Alvaro Beltrán Pinzón

PBX: (+57 7) 634 4000 Ext. 2487 2490 FAX: (+57 7) 632 0744, Bucaramanga, Colombia

E-mail labcivil@uis.edu.co



CENTRO CARACTERIZACIÓN MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



RESULTADOS ENSAYO A FLEXIÓN

PROYECTO : CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICO Y MECÁNICO DE SUELOS RESIDUALES UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE COVIVIENDAS CON TECNOLOGÍA SOSTENIBLE EN EL MUNICIPIO DE GIRÓN SANTANDER

FECHA ENSAYO: OCTUBRE 14 DE 2011

NORMA DE REF : NTC 2849

CARACTERÍSTICAS

MATERIAL : ADOBE MEZCLA 4
ANCHO B : 150mm

LONGITUD L_o : 320 mm
ESPESOR H : 80mm

CONDICIONES DEL ENSAYO

Equipo : Máquina Universal de Ensayos Marca MTS

Capacidad del Equipo : 500kN

Posición del Espécimen: Apoyado sobre Mandril

Distancia entre apoyos : 90mm

Punto de Carga : céntrica – axial

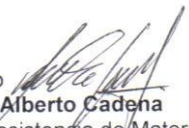
Velocidad de Ensayo : constante de 0.2mm/seg

RESULTADOS

ESPECIMEN	CARGA DE ROTURA N
1	3493
2	3654
3	3546
4	3761
5	3631

Observaciones:

1 DECLARAMOS QUE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS REPORTADOS EN ESTE INFORME ESTAN RELACIONADOS CON LOS ESPECIMEN QUE SE HAN IDENTIFICADO Y ENSAYADO, LAS CUALES FUERON ENTREGADAS EN EL LABORATORIO DIRECTAMENTE POR EL CLIENTE.
2 ESTE INFORME NO DEBE REPRODUCIRSE PARCIAL O TOTALMENTE SIN LA AUTORIZACION DEL CENTRO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION, ESCUELA INGENIERIA CIVIL DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER.
3 LA APLICACION Y EMPLEO DE LOS DATOS Y RESULTADOS REPORTADOS EN ESTE INFORME NO SON RESPONSABILIDAD DEL CENTRO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION, ESCUELA INGENIERIA CIVIL DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER.
4 LA INFORMACION DECLARADA EN ESTE INFORME ESTA BASADA EN LOS DATOS SUMINISTRADOS POR EL CLIENTE, NO ES COMPETENCIA DEL LABORATORIO LA VERACIDAD DE DICHA INFORMACION.

Ensayo 
Jaime Alberto Cadena
Lab. Resistencia de Materiales

CENTRO CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Ciudad Universitaria, Carrera 27 - Calle 9, Edificio Álvaro Beltrán Pinzón

PBX: (+ 57 7) 634 4000 Ext. 2487-2490 - FAX: (+57 7) 632 0744, Bucaramanga, Colombia

E-mail labcivil@uis.edu.co



CENTRO CARACTERIZACIÓN MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



RESULTADOS ENSAYO A FLEXIÓN

PROYECTO : CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICO Y MECÁNICO DE SUELOS RESIDUALES UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE COVIVIENDAS CON TECNOLOGÍA SOSTENIBLE EN EL MUNICIPIO DE GIRÓN SANTANDER
FECHA ENSAYO: OCTUBRE 14 DE 2011
NORMA DE REF : NTC 2849

CARACTERÍSTICAS

MATERIAL : ADOBE MEZCLA 5 LONGITUD Lo : 320 mm
ANCHO B : 150mm ESPESOR H : 80mm

CONDICIONES DEL ENSAYO

Equipo : Máquina Universal de Ensayos Marca MTS
Capacidad del Equipo : 500kN
Posición del Espécimen: Apoyado sobre Mandril
Distancia entre apoyos : 90mm
Punto de Carga : céntrica – axial
Velocidad de Ensayo : constante de 0.2mm/seg

RESULTADOS

ESPECIMEN	CARGA DE ROTURA N
1	2320
2	2210
3	2110
4	2390
5	2430

Observaciones:

1 DECLARAMOS QUE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS REPORTADOS EN ESTE INFORME ESTAN RELACIONADOS CON LOS ESPECIMEN QUE SE HAN IDENTIFICADO Y ENSAYADO, LAS CUALES FUERON ENTREGADAS EN EL LABORATORIO DIRECTAMENTE POR EL CLIENTE.
2 ESTE INFORME NO DEBE REPRODUCIRSE PARCIAL O TOTALMENTE SIN LA AUTORIZACION DEL CENTRO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION, ESCUELA INGENIERIA CIVIL DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER.
3 LA APLICACION Y EMPLEO DE LOS DATOS Y RESULTADOS REPORTADOS EN ESTE INFORME NO SON RESPONSABILIDAD DEL CENTRO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION, ESCUELA INGENIERIA CIVIL DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER.
4 LA INFORMACION DECLARADA EN ESTE INFORME ESTA BASADA EN LOS DATOS SUMINISTRADOS POR EL CLIENTE, NO ES COMPETENCIA DEL LABORATORIO LA VERACIDAD DE DICHA INFORMACION.

Ensayo
Jaime Alberto Cadena
Lab. Resistencia de Materiales

CENTRO CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Ciudad Universitaria, Carrera 27 - Calle 9, Edificio Alvaro Beltrán Pinzón

PBX: (+57 7) 634 4000 Ext. 2487-2490 - FAX: (+57 7) 632 0744, Bucaramanga, Colombia

E-mail: labcivil@uis.edu.co

