



**Universidad de San Carlos de Guatemala**  
**Facultad de Ingeniería**  
**Escuela de Ingeniería Civil**

**MORTERO ECOLÓGICO PARA CASAS AUTOCONSTRUIDAS CON  
MATERIALES LOCALES EN EL DEPARTAMENTO DE JUTIAPA**

**Julio Alberto Chávez Letona**  
**Asesorado por el Ing. Francisco Javier Quiñónez de la Cruz**

**Guatemala, octubre de 2009**

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**MORTERO ECOLÓGICO PARA CASAS AUTOCONSTRUIDAS CON  
MATERIALES LOCALES EN EL DEPARTAMENTO DE JUTIAPA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA  
DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**JULIO ALBERTO CHÁVEZ LETONA**

ASESORADO POR EL ING. FRANCISCO JAVIER QUIÑÓNEZ DE LA CRUZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE  
**INGENIERO CIVIL**

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2009

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. José Milton De León Bran
VOCAL V	Br. Isaac Sultán Mejía
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. José Gabriel Ordóñez Morales
EXAMINADOR	Inga. Dilma Mejicanos Jol
EXAMINADOR	Ing. Guillermo Melini Salguero
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **MORTERO ECOLÓGICO PARA CASAS AUTOCONSTRUIDAS CON MATERIALES LOCALES EN EL DEPARTAMENTO DE JUTIAPA,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 4 de marzo de 2009.

Julio Alberto Chávez Letona



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala, 11 de agosto de 2 009

Ingeniero  
Sydney Alexander Samuels Milson  
Director de la Escuela de Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería

Señor Director:

Tengo el agrado de dirigirme a usted para informarle que he revisado el trabajo de graduación "**Mortero ecológico para casas autoconstruidas con materiales locales en el Departamento de Jutiapa**", realizado por el estudiante universitario **Julio Alberto Chávez Letona**, quien contó con la asesoría del suscrito.

Considero que el trabajo realizado por el estudiante **Chávez Letona**, cumple con los objetivos para los cuales fue planteado, por lo que recomiendo su aprobación.

Agradezco a usted la atención que se sirva prestar a la presente.

Atentamente,

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"



FACULTAD DE INGENIERIA  
AREA DE MATERIALES Y  
CONSTRUCCIONES CIVILES  
USAC

Francisco Javier Quiñonez de la Cruz  
Ingeniero Civil Colegiado No. 1941  
Asesor

Cc archivo

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala, 11 de agosto de 2 009

Ingeniero  
Sydney Alexander Samuels Milson  
Director de la Escuela de Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería

Señor Director:

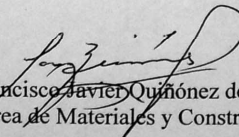
Tengo el agrado de dirigirme a usted para informarle que he revisado el trabajo de graduación **“Mortero ecológico para casas autoconstruidas con materiales locales en el Departamento de Jutiapa”**, realizado por el estudiante universitario **Julio Alberto Chávez Letona**, quien contó con la asesoría del suscrito.

Considero que el trabajo realizado por el estudiante **Chávez Letona**, cumple con los objetivos para los cuales fue planteado, por lo que recomiendo su aprobación.

Agradezco a usted la atención que se sirva prestar a la presente.

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

  
Ing. Francisco Javier Quirón de la Cruz  
Coordinador Área de Materiales y Construcciones Civiles



FACULTAD DE INGENIERIA  
AREA DE MATERIALES Y  
CONSTRUCCIONES CIVILES  
USAC

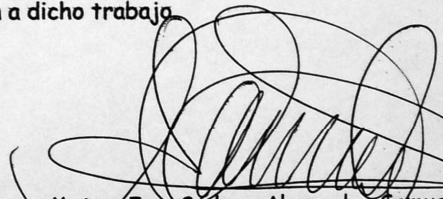
Cc archivo

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor y Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles, Ing. Francisco Javier Quiñónez de la Cruz, al trabajo de graduación del estudiante Julio Alberto Chávez Letona, titulado MORTERO ECOLÓGICO PARA CASAS AUTOCONSTRUIDAS CON MATERIALES LOCALES EN EL DEPARTAMENTO DE JUTIAPA, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

  
Mgter. Ing. Sydney Alexander Samuels Milson



Guatemala, octubre 2009

/bbdeb.

Universidad de San Carlos  
de Guatemala



Facultad de Ingeniería  
Decanato

Ref. DTG.428.2009

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **MORTERO ECOLÓGICO PARA CASAS AUTOCONSTRUIDAS CON MATERIALES LOCALES EN EL DEPARTAMENTO DE JUTIAPA**, presentado por el estudiante universitario **Julio Alberto Chávez Letona**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
DECANO

Guatemala, octubre de 2009



/gdech

## **AGRADECIMIENTOS A:**

- DIOS** Por concederme serenidad para aceptar las cosas que no puedo cambiar, valor para cambiar las que pueda y sabiduría para reconocer la diferencia.
- MI ASESOR** Por compartirme su conocimiento y experiencia, por guiarme para poder llevar a cabo este trabajo y aportar algo positivo a la sociedad guatemalteca.  
Ing. Civil Francisco Javier Quiñónez de la Cruz
- MIS  
COMPAÑEROS  
DE TRABAJO** Por estar junto conmigo durante el largo y difícil camino que este trabajo requirió. Gracias por todo.  
Mynor Saqché. Sonia Beatriz.
- PLANTA  
PILOTO** Por aportar su granito de arena para que este trabajo se llevará a cabo, gracias por compartir sus conocimientos y crear una conexión entre dos carreras que parecieran no tener relación alguna.  
Ing. Químico Mario Mérida  
Inga. Química Alba Marroquín  
Inga. Química Cinthya Ortiz
- LABORATORIO  
DE SUELOS** Por permitirme realizar las pruebas necesarias para lograr complementar este trabajo.  
Ing. Civil Omar Medrano
- SECCIÓN  
ECOMATERIALES** Por permitirme llevar a cabo esta labor, la cual me forjó la mente adquiriendo mucho conocimiento y experiencia.
- HERBARIO** Por su gran ayuda en la clasificación taxonómica.

AGRONOMIA      Ing. Agrónomo Carlos Véliz

FACULTAD DE INGENIERÍA

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

## **DEDICATORIA A:**

- DIOS** Por acompañarme a lo largo de esta travesía, por escucharme y ayudarme ante todos mis gritos de auxilio, concediéndome fuerza y serenidad en aquellos momentos que tenía ganas de tirar la toalla, por darme salud, sabiduría, paciencia, perseverancia y creatividad.
- MI MADRE** María Elena Letona Simmons. Mas que dedicarte esto, te lo entrego, esto es tuyo, gracias a tu carácter y regaños, gracias a tu lucha, gracias a no dejarme caer nunca es que hemos logrado esto, gracias por estar siempre cuando te necesite y por guiarme, sé que no fue nada fácil, pero te lo mereces.
- MI PADRE** Julio César Chávez Quintanilla.  
Sé que siempre tuviste fe en mí.
- MIS HRMOS** Luis Adolfo, Raúl Danilo y Paulo César. Por estar siempre cuando los necesité, en las buenas y malas, por brindarme su apoyo incondicional aunque sé que a veces no es nada fácil. Gracias por todo.
- MIS TIOS  
Y PRIMAS** Por ser uno de los pilares que me llevó a concretar este logro, gracias a su apoyo y consejos. Ahora si lo logré.  
Carmen Letona, Maco Nájera, Luisa Cecilia y Ana Gabriela.
- MIS  
SOBRINOS** Que este logro los aliente a seguir adelante.

*Humilde barro!*

*El más noble, el más difundido, el de mayor plasticidad física y estética de todos los materiales constructivos que han acompañado al ser humano desde los albores de la civilización... ¿Qué otro material puede compararse contigo? Eres alegría del constructor, refugio ambiental del desamparado, inspiración de artistas y mensajero de glorias milenarias, de miserias extremas y de pasada grandeza...Arq. Gonzalo Vélez Jahn*



## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE ILUSTRACIONES	XI
GLOSARIO	XVII
RESUMEN	XXVII
OBJETIVOS	XXIX
INTRODUCCIÓN	XXXI
<b>1. CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DE UN MORTERO</b>	<b>1</b>
1.1 Descripción general	1
1.2 Aplicación de los morteros	2
1.3 Propiedades generales de los morteros	3
1.4 Clasificación de los morteros	3
1.4.1 Tipos de mortero según el concepto	4
1.4.1.1 Morteros diseñados	4
1.4.1.2 Morteros de receta o prescritos	4
1.4.2 Morteros según su aplicación	4
1.4.3 Morteros según su método de fabricación	5
1.4.3.1 Morteros hechos “ <i>in situ</i> ”	5
1.4.3.2 Morteros industriales semiterminados	6
1.4.3.2.1 Morteros predosificados	6
1.4.3.2.2 Morteros premezclados de cal	6
1.4.3.3 Morteros industriales	7
1.4.3.3.1 Morteros húmedos	7
1.4.3.3.2 Morteros secos	7

1.5	Lógica de un mortero	8
1.5.1	Aglutinantes	8
1.5.2	Consolidantes	9
1.5.3	Elástico aglutinantes	9
<b>2.</b>	<b>SUELO Y ESTABILIZACIÓN</b>	<b>11</b>
2.1	Descripción general	11
2.2	Componentes de un suelo corriente	12
2.2.1	Partículas gruesas inertes o áridos	12
2.2.2	Arcillas	12
2.2.2.1	Propiedades de la arcilla	12
2.2.2.2	Clasificación de las arcillas	13
2.2.2.2.1	Arcillas Caoliníticas	13
2.2.2.2.2	Arcillas Montmoriloníticas	14
2.2.2.2.3	Arcillas ílíticas	14
2.2.2.2.4	Técnicas constructivas en base a las arcillas crudas	15
2.2.3	Limo	17
2.2.4	Coloides	17
2.3	Características y propiedades generales del suelo	18
2.3.1	Fricción interna	18
2.3.2	Cohesión	18
2.3.3	Compresibilidad	19
2.3.4	Elasticidad	19
2.3.5	Capilaridad	19
2.3.6	Textura	19
2.4	Estabilización de suelos	20
2.4.1	Estabilización física	20
2.4.1.1	Mezcla de suelos	20
2.4.1.2	Geotextiles	21
2.4.1.3	Vibroflotación (mecánica de suelos)	21

2.4.1.4	Consolidación previa	23
2.4.2	Estabilización Química	24
2.4.2.1	Cal	24
2.4.2.2	Cemento portland	24
2.4.2.3	Productos asfálticos	24
2.4.2.4	Cloruro de sodio	25
2.4.2.5	Cloruro de calcio	25
2.4.2.6	Escorias de fundición	25
2.4.3.7	Polímeros	25
2.4.2.8	Hule de neumáticos	25
2.4.3	Estabilización mecánica	26
2.4.3.1	Compactación	26
2.4.4	Funciones de los estabilizadores	26
<b>3.</b>	<b>MATERIALES PARA IMPERMEABILIZAR</b>	<b>29</b>
3.1	Permeabilidad	29
3.2	Descripción de materiales	30
3.2.1	Baba de nopal	30
3.2.2	Aceite de linaza	30
3.2.3	Material bituminoso	31
3.2.3.1	Betunes naturales	32
3.2.3.2	Betún	32
3.2.4	Jabón negro	32
3.2.5	Cera de abeja	33
<b>4.</b>	<b>ANÁLISIS DE CASAS AUTOCONSTRUIDAS</b>	<b>35</b>
4.1	Antecedentes	35
4.2	Ventajas ambientales del uso de tierra	37
4.3	Ventajas constructivas del uso de tierra	38
4.4	Técnicas de construcción con tierra	40

4.4.1	Tapial	40
4.4.2	Adobe	40
4.4.3	Bajareque	41
4.4.4	Cob	41
4.5	Componentes de una vivienda de tierra	41
4.6	Aspectos generales de los revestimientos	42
4.7	Principales causas de deterioro en muros de tierra	44
4.7.1	Causas humanas	44
4.7.2	Causas biológicas	45
4.7.3	Causas climáticas	45
4.7.3.1	Lluvia	45
4.7.3.2	Asoleamiento	45
4.7.3.3	Viento	46
4.7.3.4	Humedad	46
4.7.3.5	Temperatura	46
4.7.4	Causas sísmicas	46
4.8	Principales efectos de deterioro en muros de tierra	47
4.8.1	Efectos de deterioro intrínseco	47
4.8.2	Efectos de deterioro extrínseco	48
4.9	Problemas que presentan los revestimientos en Guatemala	50
4.9.1	Defectos de los revestimientos	50
4.10	Importancia de los revestimientos en la preservación de los muros de tierra	52
4.11	Aspectos generales de los materiales utilizados en revestimientos en construcciones de tierra	53
4.11.1	Agua	53
4.11.2	Cal	54
4.11.3	Clara de huevo (proteína)	54
4.11.4	Suero (caseína)	54
4.11.5	Cola animal	55
4.11.6	Linaza (aceite)	55

4.11.7	Nopal (mucílago)	55
4.11.8	Fibras	55
4.11.9	Tierra (suelo)	56
4.12	Revestimientos a base de tierra	56
4.12.1	Revestimientos exteriores	56
4.12.1	Revestimientos interiores	57
4.13	Protección de superficies de barro contra las inclemencias del tiempo	58
4.13.1	Pinturas	58
4.13.2	Protección contra la lluvia	59
4.13.3	Protección contra la humedad ascendente	59
4.13.4	Protección contra la inundación	59
4.14	Consideraciones sobre los muros	60
4.15	Utilización de color en los revestimientos	62
4.16	Consideraciones generales	63
<b>5.</b>	<b>ANÁLISIS DE LABORATORIO DE LOS MATERIALES</b>	<b>67</b>
5.1	Obtención de muestras	67
5.1.1	Vegetales	68
5.1.2	Animales	68
5.1.3	Compuestos químicos	68
5.1.4	Minerales	69
5.1.5	Desechos	69
5.2	Tratamiento de los materiales	70
5.2.1	Sustancias vegetales	70
5.2.1.1	Baba o mucílago de Opuntia Cochenillifera	70
5.2.1.2	Mucílago de Acanthocereus Tetragonus	72
5.2.1.3	Látex de Euphorbia Canariensis	73
5.2.1.4	Ceniza	75

5.2.1.5	Linaza	75
5.2.1.6	Aserrín	75
5.2.2	Sustancias animales	76
5.2.2.1	Clara de huevo	76
5.2.2.2	Suero (caseína)	76
5.2.2.3	Cola animal	76
5.2.2.4	Sangre de toro	77
5.2.2.5	Estiércol	77
5.2.2.6	Sebo	78
5.2.2.7	Cera de abeja	78
5.2.3	Compuestos químicos	79
5.2.3.1	Silicato de sodio	79
5.2.3.2	Carbonato de sodio	80
5.2.3.3	Bórax	80
5.2.4	Desechos	81
5.2.4.1	Papel periódico	81
5.3	Extracción-Destilación de oleorresina	82
5.3.1	Oleorresina	82
5.3.2	Características generales e importancia de las oleorresinas	83
5.3.3	Clasificación de las oleorresinas	83
5.3.4	Uso de las oleorresinas	84
5.3.5	Proceso de extracción de la oleorresina	84
5.3.5.1	Maceración	85
5.3.5.2	Filtración	86
5.3.5.3	Concentración	88
5.3.5.4	Roto-evaporación	90
5.4	Proceso paso a paso de extracción de mucílago de Opuntia Chochenillifera	92
5.4.1	Obtención materia prima	92
5.4.2	Eliminación de espinas	93
5.4.3	Cortes y colocación	94

5.4.4	Resultado final	94
<b>6.</b>	<b>CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES</b>	<b>97</b>
6.1	Clasificación e identificación de los materiales	97
6.2	Nomenclatura	97
6.3	Clasificación Taxonómica de tres sustancias vegetales según Herbario de la Facultad de Agronomía	98
6.3.1	Acanthocereus tetragonus (lengua de vaca)	98
6.3.2	Euphorbia canariensis (olivo)	99
6.3.3	Opuntia cochenillifera (nopal)	101
6.4	Sustancias vegetales	102
6.4.1	Linaza	102
6.4.2	Aserrín	104
6.4.3	Ceniza	104
6.5	Sustancias animales	105
6.5.1	Clara de huevo	105
6.5.2	Sangre de toro	106
6.5.3	Caseína (suero)	107
6.5.4	Estiércol	108
6.5.5	Sebo	109
6.5.6	Cola animal	110
6.5.6.1	Cola de huesos	110
6.5.6.2	Cola de cuero	111
6.5.7	Cera de abeja	112
6.6	Compuestos químicos	113
6.6.1	Bórax	113
6.6.2	Silicato de sodio	114
6.6.3	Carbonato de sodio	114
6.7	Desechos	115
6.7.1	Papel periódico	115
6.8	Minerales	116

6.8.1	Arcilla	116
6.8.2	Cal	117
6.8.3	Arena	117
6.9	Caracterización del suelo	118
6.9.1	Gravedad específica	118
6.9.2	Análisis granulométrico por método del hidrómetro	119
6.9.3	Límites de Atterberg	120
<b>7.</b>	<b>EXPERIMENTACIÓN CON LOS MATERIALES PROPUESTOS</b>	<b>129</b>
7.1	Elección de combinaciones	129
7.2	Combinaciones a utilizar	129
7.2.1	Sustancias mezcladas al mortero fresco	129
7.3	Sustancias aplicadas como pintura	131
7.4	Enfoques	132
7.4.1	Sustancias mezcladas con la tierra (aplicadas al mortero fresco)	132
7.4.2	Pintura impermeable para revestimientos o tratamiento superficial	132
7.5	Aplicaciones	133
7.5.1	Paredes de piedra	133
7.5.2	Revestimientos de casas de adobe o bajareque	134
7.5.3	Aplicación en pisos	134
<b>8.</b>	<b>SUGERENCIA DE MEZCLAS</b>	<b>137</b>
8.1	Proporciones de las mezclas	137
8.2	Mezclas que presentan mejor comportamiento	138



<b>9.</b>	<b>ELABORACIÓN DE LOS MORTEROS Y APLICACIÓN DE PINTURAS EN LABORATORIO</b>	<b>145</b>
9.1	Proceso de elaboración de los morteros	145
9.2	Resultados preliminares	149
	9.2.1 Sustancias mezcladas con el mortero fresco	149
9.3	Aplicaciones como pintura	160
	9.3.1 Opuntia Cochenillifera (nopal)	161
	9.3.2 Acanthocereus Tetragonus (lengua de vaca)	161
	9.3.3 Euphorbia Canariensis (olivo)	161
	9.3.4 Linaza (aceite)	162
	9.3.5 Sangre de toro	162
	9.3.6 Cola animal (cerdo)	162
	9.3.7 Cera de abeja	163
9.4	Aplicación	163
	9.4.1 Compatibilidad	163
	9.4.2 Estabilidad	164
	9.4.3 Limpieza	164
	9.4.4 Rugosidad	164
	9.4.5 Porosidad suficiente	164
	9.4.6 Capacidad de absorción de agua limitada	165
	9.4.7 Cierta grado de humedad	165
<b>10.</b>	<b>ENSAYOS DE LOS MORTEROS EN LABORATORIO</b>	<b>167</b>
10.1	Características a evaluar en el revestimiento	167
10.2	Densidad	167
10.3	Absorción por capilaridad	167
10.4	Permeabilidad al agua	169
	10.4.1 Consideraciones importantes en el ensayo de permeabilidad al agua	171

10.4.1.1	Aparición de humedad	171
10.4.1.2	Gotas	171
10.5	Características sobre comportamiento de aspecto	172
10.5.1	Nuançages (matices)	172
10.5.2	Eflorescencia al secado	173
10.5.3	Carbonatación diferencial a largo plazo	174
10.5.4	Manchas	175
10.5.5	Quema o alambra	175
<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS</b>		<b>177</b>
<b>CONCLUSIONES</b>		<b>193</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>		<b>201</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>		<b>205</b>
<b>ANEXOS</b>		<b>209</b>

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Ausencia de revestimiento en viviendas autoconstruidas de Guatemala, 2009	51
2.	Defectos en los revestimientos en viviendas de Guatemala, 2009	51
3.	Equipo para proceso de lixiviación dinámica	86
4.	Aspas de equipo de lixiviación dinámica	86
5.	Inicio de la colocación de la solución en el equipo de filtración	87
6.	Final de proceso de filtración	87
7.	Proceso de descarga del equipo de filtración	87
8.	Bomba que produce el vacío en el equipo de filtración	87
9.	Marmita con enchaquetado para el proceso de concentración	88
10.	Final de proceso de concentración	88
11.	Proceso final de concentración	89
12.	Descarga de la solución de concentración	89
13.	Caldera pirotubular utilizada para realizar la concentración	89
14.	Tablero de control de la caldera	90
15.	Quemador de diesel de la caldera	90
16.	Proceso de roto-evaporación	91
17.	Condensador	91
18.	Bomba que produce el vacío en el proceso de roto-evaporación	91
19.	Sistema de reciclaje de agua	92
20.	Equipo marca la temperatura y la velocidad a la que rota, esta se puede manipular	92
21.	Obtención de la materia prima	93
22.	Método para la eliminación de espinas	93
23.	Método alternativo para la eliminación de espinas	93
24.	Corte de las hojas de la planta	94

25.	Sustancia colocada en agua	95
26.	Lengua de Vaca (Acanthocereus Tetragonus). Aldea El Tule, Municipio de Quesada, Jutiapa 2009	99
27.	Olivo (Euphorbia Canariensis). Aldea El Tule, Municipio de Quesada, Jutiapa 2009	100
28.	Nopal (Opuntia Cochenillifera). Aldea El Tule, Municipio de Quesada, Jutiapa 2009	102
29.	Planta Linum usitatissimum	103
30.	Semilla Linaza	103
31.	Cola del cuero del cerdo	112
32.	Aplicación de sustancias al mortero fresco	132
33.	Aplicación de sustancias como pinturas	133
34.	Aplicación alternativa	133
35.	Estructura de bajareque	135
36.	Problemas en los pisos. Aldea El Tule, Municipio de Quesada, Jutiapa 2009	135
37.	Muro de piedra, Guatemala 2009	135
38.	Vivienda de adobe, Guatemala 2009	135
39.	Molde de madera utilizado para la fabricación de mezclas	145
40.	Realización de mezclas	146
41.	Realización de mezclas	146
42.	Colocación de la mezcla dentro del molde. Centro de Investigaciones de Ingeniería, 2009	147
43.	Molde completo con ocho diferentes mezclas. Centro de Investigaciones de Ingeniería, 2009	147
44.	Extracción de las mezclas del molde. Centro de Investigaciones de Ingeniería, 2009	148
45.	Extracción de las mezclas del molde. Centro de Investigaciones de Ingeniería, 2009	148
46.	Probetas debidamente identificadas listas para secar durante 28 días	148

47.	Ensayo de absorción por capilaridad. Centro de Investigaciones de Ingeniería, 2009	170
48.	Ensayo de absorción por capilaridad. Centro de Investigaciones de Ingeniería, 2009	170
49.	Ensayo de permeabilidad al agua. Centro de Investigaciones de Ingeniería, 2009	171
50.	Aparición de humedad en el ensayo de permeabilidad al agua	172
51.	Aparición de humedad en el ensayo de permeabilidad al agua	172
52.	Aparición de gotas en el ensayo de permeabilidad al agua	173
53.	Aparición de gotas en el ensayo de permeabilidad al agua	173
54.	Eflorescencias al secado, nuançages y manchas	177
55.	Eflorescencias al secado, nuançages y manchas	177
56.	Diagrama del proceso de extracción de oleorresina	85
57.	Características de las mezclas con sustancias aplicadas al mortero fresco	150
58.	Características de las mezclas con sustancias aplicadas al mortero fresco	150
59.	Características de las mezclas con sustancias aplicadas al mortero fresco	150
60.	Características de las mezclas con sustancias aplicadas al mortero fresco	150
61.	Características de las mezclas con sustancias aplicadas al mortero fresco	151
62.	Características de las mezclas con sustancias aplicadas al mortero fresco	151
63.	Características de las mezclas con sustancias aplicadas al mortero fresco	151
64.	Características de las mezclas con sustancias aplicadas al mortero fresco	151
65.	Características de las mezclas con sustancias aplicadas al mortero fresco	152
66.	Características de las mezclas con sustancias aplicadas al mortero fresco	152

67.	Características de las mezclas con sustancias aplicadas al mortero fresco	152
68.	Trabajabilidad observada en las mezclas con sustancias vegetales aplicadas al mortero fresco	153
69.	Plasticidad observada en las mezclas con sustancias vegetales aplicadas al mortero fresco	153
70.	Observación del parámetro de colocación en las mezclas con sustancias vegetales aplicadas al mortero fresco	154
71.	Trabajabilidad observada en las mezclas con sustancias animales aplicadas al mortero fresco	154
72.	Plasticidad observada en las mezclas con sustancias animales aplicadas al mortero fresco	155
73.	Observación del parámetro de colocación en mezclas con sustancias animales aplicadas al mortero fresco	155
74.	Trabajabilidad observada en las mezclas con compuestos químicos aplicados al mortero fresco	156
75.	Plasticidad observada en las mezclas con compuestos químicos aplicados al mortero fresco	156
76.	Observación del parámetro de colocación en mezclas con compuestos químicos aplicados al mortero fresco	157
77.	Trabajabilidad observada en las mezclas con sustancias vegetales y animales aplicadas al mortero fresco	157
78.	Plasticidad observada en las mezclas con sustancias vegetales y animales aplicadas al mortero fresco	158
79.	Observación del parámetro de colocación en las mezclas con sustancias vegetales y animales aplicadas al mortero fresco	158
80.	Trabajabilidad observada en las mezclas con sustancias varias aplicadas al mortero fresco	159
81.	Plasticidad observada en las mezclas con sustancias varias aplicadas al mortero fresco	159
82.	Observación del parámetro de colocación en mezclas con sustancias varias aplicadas al mortero fresco	160

## TABLAS

I.	Nomenclatura utilizada para la identificación de las probetas	98
II.	Composición química de las semillas de linaza	103
III.	Composición química de la sangre de animales vacunos	107
IV.	Composición media porcentual del estiércol de caballo	108
V.	Composición ácidos grasos del sebo bovino	109
VI.	Factor de corrección para calcular el límite líquido	124
VII.	Combinaciones de mezclas con materiales agregados al mortero fresco	130
VIII.	Combinaciones de mezclas con aplicación de sustancias como pintura	131
IX.	Combinaciones de las mezclas con su respectiva proporción en función del volumen	137
X.	Mezclas con materiales aplicados al mortero fresco con mejor comportamiento	140
XI.	Mezclas con materiales aplicados al mortero fresco con comportamiento medio	141
XII.	Mezclas con materiales aplicados al mortero fresco que se deben optimizar	141
XIII.	Mezclas con sustancias aplicadas como pintura impermeable que tuvieron mejor comportamiento	142
XIV.	Mezclas con sustancias aplicadas como pintura impermeable que tuvieron un comportamiento medio	143
XV.	Resumen ensayos de absorción por capilaridad en mezclas con sustancias aplicadas al mortero fresco	180
XVI.	Resumen ensayo de absorción por capilaridad en mezclas con sustancias aplicadas como pintura impermeable	181
XVII.	Coeficiente de absorción por capilaridad de mezclas con	

sustancias mezcladas al mortero en estado fresco, ordenados ascendentemente.	182
XVIII. Coeficiente de absorción por capilaridad de probetas con sustancias aplicadas como pintura impermeable, ordenados ascendentemente	183
XIX. Resumen del ensayo de permeabilidad al agua de mezclas con sustancias aplicadas al mortero fresco	185
XX. Resumen del ensayo de permeabilidad al agua de mezclas con sustancias aplicadas como pintura impermeable	186
XXI. Resumen del ensayo de permeabilidad al agua de mezclas con sustancias aplicadas al mortero fresco, ordenadas descendentemente	187
XXII. Tiempo de filtración promedio de probetas con sustancias aplicadas como pintura impermeable, ordenadas descendentemente	188
XXIII. Relación entre el ensayo de absorción por capilaridad y la permeabilidad al agua, para la recomendación de mezclas con sustancias aplicadas al mortero fresco	191
XXIV. Relación entre el ensayo de absorción por capilaridad y la permeabilidad al agua, para la recomendación de mezclas con sustancias aplicadas como pintura impermeable	192



## GLOSARIO

<b>ACIDULAR</b>	Poner ligeramente ácido un líquido.
<b>AFNOR</b>	Asociación Francesa de Normalización.
<b>AFOGARAR</b>	Quemar, requemar, tostar, asar.
<b>ALBUMINA</b>	Proteína animal o vegetal que se disuelve en agua y se coagula por el calor.
<b>ALERO</b>	Parte inferior del tejado que sale fuera de la pared.
<b>ALICATADO</b>	Revestimiento o capa de azulejos que se pone en una pared, un zócalo o en otra superficie.
<b>ALUMINA</b>	Óxido de aluminio que se halla en la naturaleza en estado puro o cristalizado formando, en combinación con la sílice y otros cuerpos, los feldespatos y las arcillas.
<b>AMONIACO</b>	Gas venenoso de olor irritante, incoloro, soluble en agua, formado por tres átomos de hidrógeno y uno de nitrógeno.
<b>AMORFA</b>	Se aplica al cuerpo cuyas partículas forman una estructura interna desordenada.
<b>ANFOTERO</b>	Molécula o ion capaz de actuar como ácido o como base, según las condiciones.
<b>ANTISÉPTICA</b>	Que impide el desarrollo de los microorganismos patógenos causantes de las infecciones.

<b>APIS MELIFERA</b>	Conocida también como abeja europea.
<b>ASEQUIBLE</b>	Que puede ser conseguido o alcanzado.
<b>ASTM</b>	Sociedad Americana para Pruebas y Materiales.
<b>AUTOTROFICO</b>	Organismo capaz de sintetizar o elaborar su propia materia orgánica a partir de sustancias inorgánicas.
<b>AVIDEZ</b>	Deseo fuerte e intenso de tener o conseguir una cosa.
<b>BENCINA</b>	Líquido incoloro, volátil e inflamable, obtenido del petróleo que se utiliza como disolvente.
<b>CACTIFORME</b>	Con aspecto parecido al de un cactus.
<b>CALDERA</b>	Recipiente metálico donde hierve agua cuyo vapor, constituye la fuerza motriz de la máquina.
<b>CAÚSTICA</b>	Se aplica a la sustancia que quema y destruye los tejidos orgánicos.
<b>CIZALLA</b>	Recorte o fragmento de metal que resulta de la manipulación del mismo.
<b>CLADODIOS</b>	Ramificaciones aplanadas que adoptan las funciones de las hojas.
<b>CLASTICO</b>	Dícese del depósito o roca formada por los fragmentos de rocas preexistentes.

<b>CONCHILLA</b>	Son restos fósiles de crustáceos preservados en calcio natural. Por lo general, su color es blanco y se encuentra en las capas superiores de la tierra.
<b>CORAL</b>	Sustancia dura secretada por estos animales y que después de pulimentada, se puede emplear en joyería.
<b>CREATINA</b>	Sustancia producida por nuestro cuerpo (en el hígado) y almacenada en la fibra muscular. Se libera en forma de alta energía como un combustible inmediato del cuerpo cuando se realiza alguna actividad física.
<b>CREATININA</b>	Es un producto de la degradación de la creatina, un componente importante del músculo.
<b>CUARZO</b>	Mineral muy duro de aspecto cristalino que forma parte de la composición de muchas rocas; en estado puro es incoloro, pero puede adquirir gran variedad de colores en función de las sustancias con las que esté mezclado.
<b>DELEZNABLE</b>	Que se rompe o se deshace fácilmente.
<b>DEYECTAR</b>	Expeler los excrementos.
<b>DISGREGACIÓN</b>	Desunión de las partes de un todo que era compacto.
<b>EMBUTIDO</b>	Obra de madera, marfil, metal u otro material que se hace encajando y ajustando unas piezas en otras de distinto color o material para formar dibujos y relieves.
<b>EMULSIFICANTE</b>	Agente que genera una emulsión, mezcla entre sustancias que no se incorporan sin este elemento.

<b>EPITELIO</b>	Tejido formado por una o varias capas de células yuxtapuestas que constituyen la capa externa de la mucosa que recubre las cavidades externas, los conductos del cuerpo y la piel.
<b>ESTERES</b>	Compuestos formados por la combinación de ácidos y alcoholes.
<b>ESTERILLA</b>	Tejido de paja.
<b>ESTUCO</b>	Pasta de cal apagada y mármol pulverizado con que se cubren las paredes o muros.
<b>EVAPORITA</b>	Roca sedimentaria formada por los restos de sales minerales que dejan tras de sí las aguas salinas al evaporarse.
<b>FARMACOPEA</b>	Libro que recoge las medicinas más frecuentes, el modo de prepararlas y administrarlas.
<b>FELDESPATO</b>	Sustancia mineral que forma la parte principal de muchas rocas.
<b>FIBRINOGENO</b>	Proteína producida por el hígado que ayuda a detener el sangrado al favorecer la formación de coágulos de sangre.
<b>FIBROCEMENTO</b>	Material constituido por la mezcla de cemento y fibras de amianto, de gran resistencia e ignífugo, utilizado en la fabricación de cubiertas, conducciones, etc.

<b>FLOCULACIÓN</b>	Proceso a través del cual las partículas de un coloide se aglomeran y forman partículas más gruesas, las cuales a menudo pueden redispersarse por agitación, pues las fuerzas de unión en su interior son débiles.
<b>GRUMO</b>	Porción de un líquido que se solidifica o se coagula.
<b>GUIJARRO</b>	Piedra pequeña, redondeada y lisa por erosión del agua.
<b>HALURO</b>	Compuesto binario formado por la combinación de un halógeno con un metal.
<b>HETEROTROFO</b>	Organismo incapaz de elaborar su propia materia orgánica a partir de sustancias inorgánicas y se nutre de sustancias elaboradas por otros seres vivos.
<b>HUMUS</b>	Capa superior del suelo compuesta por un conjunto de materias orgánicas en descomposición.
<b>INOCUIDAD</b>	Incapacidad para hacer daño.
<b>ION</b>	Átomo o grupo de átomos que, por pérdida o ganancia de uno o más electrones, ha adquirido una carga eléctrica.
<b>LINÓLEO</b>	Material fuerte e impermeable, formado por un tejido de yute cubierto con una capa de corcho en polvo amasado con aceite de linaza que se emplea para cubrir los suelos.

<b>LIQUEN</b>	Organismo formado por la simbiosis de un hongo y un alga, que crece en lugares húmedos y sin contaminar, sobre las rocas o los troncos de los árboles.
<b>MACHACAR</b>	Deshacer, aplastar, reducir a polvo algo golpeándolo.
<b>MARMITA</b>	Olla de metal con tapadera.
<b>MELÍFERA</b>	Que lleva o tiene miel.
<b>MELIPONIDAS</b>	Abejas sin aguijón, son muy sociables.
<b>MESETERIO</b>	Repliegue del peritoneo formado de tejido conjuntivo, que contiene numerosos vasos sanguíneos y linfáticos, que une el estómago y el intestino con las paredes abdominales.
<b>MICA</b>	Mineral del grupo de los silicatos hidratados, compuesto de aluminio, potasio, sodio, magnesio e incluso litio, que cristaliza en láminas brillantes y elásticas de mínima dureza.
<b>MICRÓN</b>	Milésima parte de un milímetro.
<b>NIXTAMAL</b>	Maíz cocido en agua de cal, con el que se hacen tortitas después de molido.
<b>ODORÍFERA</b>	Que huele bien, que tiene buen olor o fragancia.
<b>PICNÓMETRO</b>	Dispositivo para medir la densidad o peso específico de los líquidos orgánicos.

<b>PISÓN</b>	Instrumento pesado para apretar piedras, tierra u otro material.
<b>POCHAR</b>	Precocción consistente en cocer un genero dentro de una materia grasa a temperatura inferior a la de fritura fuerte.
<b>POLIMERIZAR</b>	Proceso químico por el cual mediante el calor, la luz o un catalizador se unen varias moléculas de un compuesto para formar una cada de múltiples eslabones de estas y obtener una macromolécula.
<b>PONDERAL</b>	Relativo al peso.
<b>PROLINA</b>	Aminoácido que no es esencial en la alimentación humana y animal, pero es un componente de la mayor parte de las proteínas.
<b>PROPÓLEO</b>	Sustancia cerosa con que las abejas bañan las colmenas antes de empezar a obrar.
<b>PUZOLANA</b>	Material de origen volcánico que reacciona con la cal apagada en un ambiente húmedo formando un cemento de endurecimiento lento.
<b>RETÍCULA</b>	Placa de cristal dividida en cuadrados pequeños que se usa para determinar el área de una figura.
<b>REVESTIMIENTO</b>	Colocación de una capa de cualquier material para proteger o adornar una superficie.

<b>REVOCO</b>	Arreglo o pintura que se coloca en la parte exterior de una vivienda.
<b>SAPORÍFERO</b>	Que mueve o inclina al sueño.
<b>SAPROFITO</b>	Microorganismo que se alimenta de materias orgánicas en descomposición.
<b>SESQUIÓXIDOS</b>	Óxido cuya molécula está constituida por tres átomos de oxígeno y tres de otro elemento.
<b>SILICATO</b>	Sal compuesta de ácido silícico y una base, de composición y estructura muy variada.
<b>SILICE</b>	Dióxido de silicio, compuesto químico formado por la combinación de un átomo de silicio y dos de oxígeno.
<b>SILO</b>	Lugar convenientemente seco y preparado para guardar el trigo u otras semillas o forrajes. Antiguamente los silos eran subterráneos, pero modernamente se construyen también sobre la superficie del suelo.
<b>SOLADO</b>	Revestimiento de un piso con ladrillos, losas u otro material.
<b>SOSA</b>	Nombre común del hidróxido de sodio, base de gran importancia industrial y el producto caustico mas conocido.
<b>TERRACOTA</b>	Arcilla modelada y endurecida al horno.



<b>TIZA</b>	Arcilla terrosa blanca que se utiliza para escribir en los encerados.
<b>TRIZADURAS</b>	Consecuencia de hacer trizas algún objeto.
<b>UREA</b>	Principio que contiene gran cantidad de nitrógeno y constituye la mayor parte de la materia orgánica contenida en la orina en su estado natural.
<b>VÁSTAGO</b>	Varilla, barra que transmite el movimiento a algún mecanismo.



## RESUMEN

Las casas autoconstruidas sufren grandes daños debido a que son bastante vulnerables al deterioro, es por eso que ameritan de atención y mantenimiento. La importancia del estudio de los daños se debe principalmente a que estos vuelven la vivienda un lugar inseguro, insalubre y no confortable para la integridad física y psicológica de sus habitantes como sucede en la aldea El Tule en el departamento de Jutiapa. En países como el nuestro, existe una amplia tradición asociada con las viviendas rurales, comúnmente el tipo de casa edificada esta compuesta por tierra en combinación con materiales de origen vegetal, pero presentan algunas debilidades que hacen la vivienda insalubre e insegura. Una de ellas es que la tierra esta expuesta a la intemperie y por ende sufre daños, debido a los cambios climáticos, proliferación de insectos, alimañas, precipitaciones, eflorescencias y formación de microorganismo dañinos para la salud.

En el presente trabajo de graduación se intentó contribuir a dar solución a dicho problema, elaborando un eco-mortero (a base de materiales y mano de obra locales) que sirva como revoco exterior para este tipo de construcciones que cumpla con aspectos de durabilidad, calidad y de costo reducido; logrando un mejor aprovechamiento de los recursos, utilización de energías alternativas y fomento de cooperación vecinal.

Se realizaron visitas de campo a la aldea para realizar un análisis de las viviendas y para obtener los materiales que brinda la naturaleza del lugar. Aunque por facilidad de obtención y transportación ciertas sustancias se obtuvieron en lugares distintos.

Los materiales utilizados durante la investigación se clasificaron en cinco categorías según, su naturaleza: sustancias vegetales, sustancias

animales, compuestos químicos, minerales y desechos. Cada una de las sustancias se le realizó un tratamiento previo para su implementación en la mezcla y un análisis de laboratorio para conocer sus características y propiedades. Con ayuda de la lógica de todo mortero se seleccionaron las combinaciones de las mezclas, para cada mezcla se realizaron tres muestras para obtener resultados confiables durante la experimentación. Por otro lado, por la escasa información sobre el uso de estos materiales, se decidió enfocarlos de dos maneras diferentes; la primera fue sustancias aplicadas al mortero fresco y la segunda de sustancias aplicadas como pintura impermeable o tratamiento superficial.

Debido a que el agua es el factor primordial causante de los daños en los muros de tierra, se decidió centrar la atención en las características de absorción por capilaridad y la permeabilidad al agua. Se implementaron ensayos para poder contar con parámetros comparativos, con los cuales se pudiera encontrar un punto de equilibrio para dar una jerarquía a las mezclas.

Dependiendo de los ensayos obtenidos durante la experimentación, se definió las aplicaciones de las mezclas; estas fueron no solamente para revocos exteriores sino como recubrimientos para interiores, revestimientos en muros de tierra, viviendas de adobe y bajareque, aplicaciones en pisos, pinturas impermeables o para tratamiento superficial.

En tiempos donde esta Aldea padece de la enfermedad de Chagas, ya que el insecto trasmisor de esta adoptó las casas de tierra como su nuevo hábitat; ya que los muros se encuentran muy deteriorados o con ausencia de revestimientos se hizo necesario estudiar y experimentar morteros con los cuales se pueda evitar esta problemática.

## **OBJETIVOS**

### **General:**

Elaborar un eco-mortero a base de tierra y otros recursos locales para implementarlo como revoco exterior en casas autoconstruidas en áreas rurales, con la intención de disminuir en alto porcentaje el grado de deterioro y mantenimiento; para contribuir a convertir las viviendas de la aldea El Tule del departamento de Jutiapa en un lugar seguro, salubre y confortable para sus habitantes.

### **Específicos:**

1. Contribuir a resolver los problemas de deterioro de viviendas de tierra por inclemencias del clima, proliferación de insectos y alimañas, formación de microorganismos y otros.
2. Utilizar únicamente materiales que sean congruentes con las circunstancias sociales, económicas y ambientales del lugar.
3. Implementar ensayos de laboratorio para la evaluación de características importantes de los morteros de tierra con las sustancias seleccionadas; como la absorción por capilaridad, permeabilidad al agua y comportamientos de aspecto.
4. Revivir y alentar el surgimiento de una conciencia ecológica que vaya de la mano con el desarrollo de Guatemala encaminado al aprovechamiento de los recursos energéticos, gestión de residuos, utilización de energías alternativas y cooperación poblacional.



## INTRODUCCIÓN

La utilización de tierra como material de construcción surgió hace miles de años, lamentablemente no hace muchos años que la técnica que involucra la utilización de tierra para construir resurgió acompañada de una concientización ecológica. Esta técnica predomina en países con mayor necesidad de vivienda y menor cantidad de recursos, como es el caso de Guatemala. Sin ninguna duda, la tierra es el material más accesible y disponible para la construcción de un lugar digno para vivir. Son innumerables las ventajas que posee este material para construir, aunque también tiene ciertas desventajas; razones por las cuales su uso ha sido atacado y en algunos casos desechado, recurriendo a la utilización de otros recursos.

Las casas autoconstruidas en países tercermundistas como el nuestro son muy comunes en áreas rurales; donde la necesidad, el ingenio y la cooperación vecinal se unen para formar una vivienda a base de materiales que se encuentran en la naturaleza. Por otro lado, las limitaciones económicas y de mano de obra calificada, cabe mencionar que la negligencia política tiene gran influencia; son motivos para resolver dicho problema con recursos que sean accesibles, que se utilicen técnicas no muy complejas y que tengan un costo mínimo.

Debido a las condiciones en que se encuentra Guatemala, hoy en día surge la intención de revivir métodos de construcción populares y tradicionales utilizados en el pasado que contribuyan al bienestar económico, social y ambiental del país. De esta preocupación surge como síntoma de la realidad la intención de buscar sistemas constructivos que respondan a una adaptación de costumbres, situaciones y capacidades para poner en las manos de la gente la posibilidad de construir su propia vivienda.

Las casas autoconstruidas son muy comunes en el país, pero presentan problemas de mantenimiento, tienen recubrimientos defectuosos o no poseen ningún tipo de revoco exterior siendo estas sensibles a factores como el clima, insectos, alimañas, eflorescencias y microorganismos.

Este tipo de construcción se puede denominar vernácula, ingenua, espontánea, folklórica como la denominan distintos autores, pero en general es aquella construcción que se presenta en una población con rasgos característicos del pueblo que denota una integración al medio que lo rodea, que se integra al contexto, que continua con una tradición ancestral, que utiliza materiales de la región, que responde a necesidades cotidianas y que la construyen con sus propias manos los futuros moradores conjuntamente con vecinos, familiares y amigos.

La autoconstrucción involucra dos aspectos muy importantes como lo es el encuentro y la comunicación, y en un país como el nuestro con una gran riqueza social, aportándonos una tradición cultural; una tecnología a emplear y transformar los materiales de la región según procedimientos y sistemas constructivos que la experiencia ha demostrado su eficacia.

En esta investigación se contribuye a la solución de dicho problema, elaborando un eco-mortero que sirva como revoco exterior para casas autoconstruidas con el cual se disminuya en alto porcentaje los problemas de mantenimiento. Quiere decir esto que se eliminen problemas como agrietamiento debido a los cambios climáticos, desprendimientos o eflorescencias debido a las lluvias o heladicidad, proliferación de insectos y alimañas, formación de microorganismos dañinos para la salud y la imagen de este tipo de vivienda, asociada erróneamente con pobreza.



Los revestimientos en Guatemala presentan deficiencias de varios tipos, pudiendo resaltar las más comunes: los materiales que los constituyen, la mezcla de los materiales utilizados, el muro sobre el cual se aplica, durabilidad, falta de adherencia, fisuración entre otros. Dejando de lado las causas de estas deficiencias ya mencionadas como los cambios climáticos y demás, existen una lista interminable de otras causas como la pobreza, la ignorancia, la falta de colaboración entre los habitantes, la negligencia política, dificultades de acceso entre otras.

Dentro de las construcciones de adobe, bahareque y piedra, así como también en almacenamientos de leña o en lechos donde habitan otros animales domésticos se ha encontrado chinches que transmiten la enfermedad “Mal de Chagas”, siendo este problema uno de mayor importancia a erradicar. El *Triatoma Dimidiata* (chinche picuda) es el principal vector causante de esta enfermedad mortal, aunque si se detecta a tiempo esto puede cambiar. El insecto tiene hábitos nocturnos, ya que es durante la noche cuando se alimenta de sus víctimas y les produce una lesión por la picazón que da el excremento que deposita en el lugar en donde come. Los estragos que ha causado este mal son conocidos en América desde hace mucho tiempo, se han gastado millones de dólares en la lucha contra este mal; y a pesar de ello esto sigue siendo una realidad que padece nuestro país.

Lamentablemente las tecnologías y materiales convencionales están lejos de ser la solución para los sectores más pobres de la sociedad. Modernizar el uso de materiales producto de la naturaleza se puede convertir en una verdadera alternativa a la proliferación de la construcción costosa a base de energías no renovables y de alto impacto ambiental, moldeando de esta manera una concientización ecológica.

Para la iniciación de la investigación se realizaron visitas de campo con motivo de hacer un análisis a los problemas que presentaban los muros de las viviendas de tierra en la aldea El Tule del departamento de Jutiapa, y para la obtención de los materiales que nos brinde la naturaleza del lugar para dar lugar a su estudio y experimentación.

Los materiales recolectados se dividieron en cinco grupos según su naturaleza: sustancias vegetales, sustancias animales, compuesto químicos, minerales y desechos. Dentro de cada grupo hubo una serie de sustancias que se utilizaron para dar lugar a la formación de combinación para la elaboración de las mezclas de los morteros.

Para su utilización a cada sustancia se le realizó un tratamiento previo a su implementación en las mezclas, debido a la escasa información sobre el uso y comportamiento de estos materiales se hicieron dos enfoques para evaluar de que forma tenían un mejor desempeño: sustancias aplicadas al mortero en estado fresco y sustancias aplicadas como pintura.

Teniendo las mezclas listas se sometieron a ensayos, fueron dos las características seleccionadas y evaluadas en los morteros: la absorción por capilaridad y la permeabilidad al agua. Estos ensayos se realizaron según los Certificados “Modalidades de ensayos de los revestimientos de impermeabilización de pared a base de argamasas hidráulicas (junio 1982 – cuaderno 1779)” del CSTB de Francia, en el Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

La implementación de ensayos dio lugar a una clasificación de las mezclas, encontrando un punto de equilibrio entre los parámetros obtenidos de los ensayos de absorción y permeabilidad se proyectará las aplicaciones de las mezclas.

Las aplicaciones de los morteros realizadas van desde muros exteriores, muros interiores, paredes de tierra, viviendas de adobe, bajareque, aplicaciones en pisos y pinturas impermeables o para tratamiento superficial.



# **1. CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DE UN MORTERO**

## **1.1 Descripción general**

Los morteros forman parte de los materiales de construcción que se han venido utilizando desde la más remota antigüedad, habiendo seguido la evolución de los conocimientos empíricos y, sobre todo, de los científicos y técnicos a lo largo del tiempo, tanto en lo que se refiere a sus componentes como a la tecnología de su fabricación y puesta en obra.

En trabajos de albañilería, el uso del mortero es muy común. Dependiendo de la actividad que se lleve a cabo, se utilizará un tipo de mortero determinado. Esta mezcla se emplea en el revestimiento de paredes, en el alicatado o en la confección de muros de ladrillo o adobe.

Sus características más importantes son su probada resistencia, su gran fuerza de cohesión, su adherencia al soporte, su capacidad impermeable, su rapidez al fraguar, su estabilidad con el paso del tiempo y su aspecto estético.

Se trata de un material indispensable para la construcción que siempre ha estado sujeto a cambios con el objeto de mejorar sus beneficios. Se define como la mezcla de uno o más conglomerantes inorgánicos, áridos, agua y, a veces, adiciones y/o aditivos.

El paso fundamental lo constituyó el cambio del mortero manual por el producido de forma industrial de cara a las edificaciones, que demandaba una serie de innovaciones en el producto para satisfacer necesidades nuevas que iban surgiendo con el paso del tiempo. Lamentablemente este cambio trae

consecuencias en el incremento del costo del material, por lo que el mortero artesanal ha ido perdiendo campo, pero no para todos los sectores debido a las posibilidades. Otro punto importante es que para fabricar mortero de manera industrial se realizan grandes consumos energéticos y perjudiciales para el ambiente por lo que un mortero a base de productos naturales puede encaminarnos a un mejor aprovechamiento de recursos energéticos, gestión de residuos y una implementación de métodos alternativos de construcción.

Gracias al diseño de mezclas de acuerdo con su aplicación, a los procesos de elaboración y manipulación, así como a los sistemas de puesta en obra, las propiedades de los morteros se pueden ver modificadas profundamente y responder a unas condiciones y características determinadas, y aun mejorándolas, por lo que los morteros se hacen imprescindibles en cualquier edificación.

## **1.2 Aplicación de los morteros**

Los morteros se usan en la edificación en una gran variedad de aplicaciones, requiriendo cada una de ellas unos niveles de comportamiento que se han de especificar. Unas aplicaciones son tradicionales y otras no lo son, dando lugar -ambas aplicaciones- a las tres clases de albañilería fundamentalmente conocidas como:

- Albañilería vista;
- Albañilería común, tanto en interiores, como en exteriores, y
- Albañilería estructural.

### **1.3 Propiedades generales de los morteros**

Ahora bien, sea cualquiera la aplicación de los morteros, éstos no deben experimentar segregación alguna y deben tener bien en estado fresco o bien en estado endurecido, entre otras, las siguientes propiedades:

- Una trabajabilidad determinada; es decir, una facilidad de puesta en obra para cada caso particular. Ya que los morteros deben ser suficientemente trabajables durante un cierto periodo de tiempo, sin necesidad de tener que añadirle agua.
- La cohesión del mortero, es decir, la capacidad de mantener sus partículas unidas entre si, está directamente ligada a la trabajabilidad del mortero, si el mortero tiene buena cohesión permite buena trabajabilidad.
- Una capacidad de retención de agua dada.
- Una adherencia óptima al soporte y resistencia a la fisuración.
- Una retracción mínima y, a veces, controlada; así como una absorción de agua especificada para cada caso.
- Unas resistencias mecánicas apropiadas.
- Una estabilidad adecuada capaz de resistir las condiciones del medio en donde se vayan a encontrar, de tal modo que mantenga su integridad estructural, su apariencia externa y que su duración persista teniendo en cuenta las condiciones de mantenimiento.

### **1.4 Clasificación de los morteros**

Existen diversidad de clasificación para los tipos de mortero, a continuación se presenta una muy explícita.

#### **1.4.1 Tipos de mortero, según el concepto**

**1.4.1.1 Morteros diseñados**, cuya composición y sistema de fabricación se han elegido por el fabricante, con el fin de obtener las propiedades especificadas (concepto de prestación). Estos morteros han sido objeto de los correspondientes ensayos de aptitud de empleo.

**1.4.1.2 Morteros de receta o prescritos**, que se fabrican a partir de los componentes primarios (conglomerantes y áridos) en unas proporciones predeterminadas (concepto de receta). Las propiedades de los morteros de receta dependen de las características de sus componentes y de su dosificación. En la fabricación de morteros de receta, solamente, se utilizarán adiciones y aditivos si forman parte de una receta que figure en el correspondiente anexo nacional o que, en su caso, haya sido fijada por el proyectista. Por otra parte, se ha de tener en cuenta que la diversidad de tradiciones regionales, así como la variedad de ciertos materiales disponibles para fabricar morteros tradicionales, no permiten establecer composiciones exactas de tipo general para los morteros de receta.

#### **1.4.2 Morteros según su aplicación**

Todas estas posibilidades dan origen a una diversa gama de productos designados bajo la acepción de morteros especiales. Podemos establecer una primera clasificación de acuerdo con su aplicación constructiva en la que diferenciamos:



- Morteros para formación de fábricas.
- Morteros de revestimiento.
- Morteros para solados.
- Morteros cola.
- Morteros de reparación.
- Morteros impermeabilizantes.

Esta clasificación puede diversificarse e incrementarse pero las clases de morteros señaladas cubren la mayor parte de las aplicaciones edificatorias.

### **1.4.3 Morteros según su método de fabricación**

La tecnología de fabricación de los morteros y su llegada a obra ha evolucionado y se ha diversificado considerablemente en los últimos años. Desde los tradicionales morteros in situ a los actuales morteros industriales suministrados desde fábrica, se establece otra clasificación según su forma de fabricación. En este sentido la Norma UNE-EN-998-2 distingue tres grandes grupos:

#### **1.4.3.1 Morteros hechos *in situ***

Estos morteros están compuestos por los componentes primarios, dosificados, mezclados y amasados con agua en la obra.

### **1.4.3.2 Morteros industriales semiterminados**

Dentro de este grupo existen los morteros predosificados y los morteros premezclados de cal y arena.

**1.4.3.2.1 Morteros predosificados**, son aquellos cuyos componentes básicos (conglomerante o conglomerantes y áridos) dosificados independientemente en una fábrica, se suministran al lugar de su utilización, donde se mezclan en las proporciones y condiciones especificadas por el fabricante y se amasan con el agua precisa hasta obtener una mezcla homogénea para su utilización. Estos morteros pueden tener aditivos y/o adiciones en sus correspondientes compartimentos.

Los componentes básicos de estos morteros se presentan -por regla general- en un silo que tiene un compartimento para cada material (conglomerante o conglomerantes, por una parte, y áridos, por otra); de aquí que estos morteros también se conozcan como «morteros de dos componentes».

**1.4.3.2.2 Morteros premezclados de cal y arena**, son aquellos cuyos componentes se han dosificado y mezclado en fábrica para su posterior suministro al lugar de construcción, donde se les puede añadir otro u otros componentes especificados o suministrados por el fabricante (por ejemplo, cemento). Se mezclan en las proporciones y condiciones especificadas por el fabricante y

se amasan con el agua precisa hasta obtener una mezcla homogénea para su utilización.

### **1.4.3.3 Morteros industriales**

Son aquellos que se han dosificado, mezclado y, en su caso, amasado con agua en una fábrica y suministrado al lugar de construcción. Estos morteros pueden ser «morteros secos » o «morteros húmedos».

**1.4.3.3.1 Morteros húmedos:** son mezclas ponderales de sus componentes primarios (conglomerante o conglomerantes, áridos y aditivos). Además pueden tener adiciones en proporciones adecuadas. Se amasan en una fábrica con el agua necesaria hasta conseguir una mezcla homogénea para su utilización. Los morteros húmedos precisan añadir retardadores para prolongar su trabajabilidad.

**1.4.3.3.2 Morteros secos:** son mezclas ponderales de sus componentes primarios (conglomerante o conglomerantes y áridos secos). Además pueden tener aditivos y/o adiciones en proporciones adecuadas preparadas en una fábrica. Se suministran en silos o en sacos y se amasan en la obra, con el agua precisa, hasta obtener una mezcla homogénea para su utilización.

Actualmente los morteros secos industriales han desarrollado una alta tecnología que permite satisfacer las exigencias del proyectista y constructor

tanto en puesta en obra como en sus requerimientos constructivos bajo una alta fiabilidad. Son los morteros con mayor carga tecnológica, enfocada a lograr la garantía de calidad que requiere su utilización.

## **1.5 Lógica de un mortero**

Para que un mortero cumpla con las características y propiedades necesarias estudios han demostrado que se necesitan de diferentes componentes. De este modo tendremos un componente que se encargará de ligar o juntar los fragmentos a manera de formar un cuerpo sólido (aglutinante), otro componente será el encargado de dar firmeza y solidez al mortero (consolidante); y esta el componente que le dará al mortero cierta flexibilidad conjuntamente con una propiedad adherente (elástico-aglutinante).

### **AGLUTINANTE+CONSOLIDANTE+ELÁSTICO-AGLUTINANTE**

Algunos ejemplos para poder tener una idea de cada uno de estos componentes enfocados desde el punto de vista natural, son:

#### **1.5.1 Aglutinantes**

Proteína como la clara de huevo o la sangre de toro o vaca, agua de nixtamal o agua de cal.

### 1.5.2 Consolidantes

Arena que se pone en un 40% máximo para revoques.<sup>i</sup> Aunque otros autores recomiendan una mezcla que contenga un porcentaje del 65 al 80% de arena y pequeños guijarros.<sup>ii</sup>

### 1.5.3 Elástico aglutinantes

Arcilla o barro en un 60%, puede usarse también cal.<sup>iii</sup> Existen recetas en que recomiendan que para un revestimiento bastante liso se coloque de un 20 a 35% de material puro, del cual aproximadamente la mitad deberá ser arcilla. Hay que recordar que en caso de tener composición de arcillas expansivas (mormorillonitas) el grado de elasticidad está en correlación con el grado de humedad atmosférica por lo que se deberán estabilizar con cal. Excretas de animal sobre todo de herbívoro (vacas, toros, caballos) las cuales entran en este rubro por la cantidad de fibras que contienen.<sup>iv</sup>

---

<sup>i</sup> STULZ, Rolando; "Construyendo con materiales de bajo costo, guía de soluciones potenciales" CETAL Ediciones, Valparaíso Chile 1993.

<sup>ii</sup> Stephen MacDonald; Matts Myhrman, Diana Mindlin. Edifique con fardos. Una guía paso a paso para la construcción con fardos de paja. p 134.

<sup>iii</sup> STULZ, Rolando; "Construyendo con materiales de bajo costo, guía de soluciones potenciales" CETAL Ediciones, Valparaíso Chile 1993.

<sup>iv</sup> Stephen MacDonald; Matts Myhrman, Diana Mindlin. Edifique con fardos. Una guía paso a paso para la construcción con fardos de paja. p 135.



## **2. SUELO Y ESTABILIZACIÓN**

### **2.1 Descripción general**

El suelo natural es producto de los agentes geológicos, cuyo origen primero son las rocas que forman la corteza terrestre. Estas rocas sufrieron inicialmente procesos de contracción y expansión causados por las variaciones de temperatura ambiente y entraron en una fase de evolución que produjo su descomposición.

Primero es una transformación solamente mecánica o disgregación y luego prosigue el proceso de alteración química por efecto de las aguas aciduladas hasta llegar a los distintos componentes del suelo. Coexistirán por lo tanto las rocas y los suelos en diferente estado de avance de estos procesos, los cuales pueden estar en sus ubicaciones de origen, o haber sido transportados por innumerables agentes, llegándose a la compleja conformación y a los estratos que actualmente presenta la corteza terrestre.

Es importante agregar que además generalmente el suelo mismo se encuentra cubierto por una capa vegetal o más bien orgánica, acumulada por los organismos vivientes durante los años que ellos existen como tales en el planeta. Llamaremos suelo corriente por lo tanto a aquél que no constituye ni rocas ni yacimientos claramente específicos o diferenciados ni capa vegetal.

## **2.2 Componentes de un suelo corriente**

### **2.2.1 Partículas gruesas inertes o áridos**

Reciben diferentes nombres según su tamaño por norma o convención: ripio o grava, gravilla, arenas finas, medianas, gruesas. Generalmente son granos de cuarzo que no han experimentado transformaciones químicas.

### **2.2.2 Arcillas**

Son partículas de carácter más fino, con propiedades aglomerantes. Químicamente pura es un conjunto de silicatos hidratados de aluminio ( $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{H}_4\text{O}_9$ ), lo cual también se puede describir como un cristal de forma alargada constituido por: sílice ( $\text{SiO}_2$ ), alúmina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) y agua, con los átomos enlazados por una fuerza molecular. Se da el nombre de arcilla a las partículas sólidas con diámetro menor de 0.005 mm.

#### **2.2.2.1 Propiedades de la arcilla**

Los cristales están provistos de una gran fuerza de cohesión entre ellos. En estado natural es dura y tenaz, pero al agregársele agua, y debido a que también posee gran afinidad con ella, acepta que se intercale entre los cristales, alejándolos y resintiendo su coherencia al transformándose en una masa plástica moldeable. La forma adquirida en este estado, la mantiene al eliminarse



o evaporarse el agua (con el consecuente acercamiento entre los cristales y nuevo endurecimiento), asociado todo esto a una contracción de secado que frecuentemente tiende a agrietarla si se produce en forma muy rápida. Se trata por lo tanto de un proceso exclusivamente físico reversible (técnica del adobe y de la tierra apisonada). En general los suelos arcillosos pueden contener hasta un 20% de agua sin pasar al estado plástico, y sobre un 70% pierden toda coherencia. A pesar de que entre 60° y 110° es posible eliminar la totalidad de esta agua libre, ésta tiende a recuperarse por equilibrio con la contenida en la atmósfera circundante, permaneciendo generalmente como mínimo entre un 10% y un 16%. Para que el proceso sea irreversible es necesario producir transformaciones químicas, o sea eliminar agua de la componente de los cristales. Esto se logra a altas temperaturas. La transformación química comienza a los 400°, pero sólo entrega un producto estable e inerte químicamente sobre valores del orden de los 1000° o más. Este proceso trae consigo una nueva contracción de volumen por pérdida del agua componente (técnica de la arcilla cocida). Si la temperatura sigue aumentando, el producto se cristaliza (fusión sin pérdida de forma).

#### **2.2.2.2 Clasificación de las arcillas**

De acuerdo a su arreglo reticular, los minerales de arcilla se pueden clasificar en tres grupos básicos, que son:

##### **2.2.2.2.1 Arcillas caoliníticas**

Están formadas por una lámina silícica y una lámina alumínica superpuestas de manera indefinida y con una unión tal entre retículas que no

permiten la penetración de moléculas de agua entre ellas, pues producen una capa electrónicamente neutral, lo que induce a que estas arcillas sean bastante estables en presencia de agua.

#### **2.2.2.2 Arcillas Montmoriloníticas**

Se forman por la superposición indefinida de una lámina alumínica entre dos láminas silícicas, pero con una unión débil entre sus retículas, lo que hace que el agua pueda penetrar en su estructura con facilidad. Estas arcillas sufren fuerte expansión en contacto con el agua, lo que provoca inestabilidad en ellas.

#### **2.2.2.3 Arcillas ilíticas**

Son producto de la hidratación de las micas y que presentan un arreglo reticular similar al de las montmoriloníticas, pero con la tendencia a formar grumos por la presencia de iones de potasio, lo que reduce el área expuesta al agua, razón por la cual no son tan expansivas como las montmoriloníticas.

En general, las arcillas, cualquiera que sea el tipo son plásticas, se contraen al secarse, presentan marcada cohesión según su humedad, son compresibles y al aplicárseles una carga en su superficie se comprimen lentamente. Otra característica interesante, desde el punto de vista de la construcción es que la resistencia perdida por el remoldeo se recupera parcialmente con el tiempo. Este fenómeno se conoce con el nombre de tixotropía y es de naturaleza físico-química.

#### **2.2.2.2.4 Técnicas constructivas en base a las arcillas crudas<sup>v</sup>**

Los ya citados suelos arcillosos corrientes sin cocción han sido tradicionalmente aplicados como material de construcción mezclados generalmente con fibras vegetales bajo diversas modalidades y agua, constituyendo una masa moldeable. En todos estos casos la arcilla engloba dentro de su proceso aglomerante a las partículas gruesas inertes, y las fibras vegetales (paja de trigo o de arroz en nuestro medio) tienen como finalidad controlar los efectos de agrietamiento a los que tiende la contracción de secado.

Anomalías frecuentes en materiales conglomerados, y que deben considerarse en los arcillosos

**Eflorescencias:** Son producidas por sales solubles (sulfatos, carbonatos, cloruros) y consisten en partículas que afloran por los poros del material, trasladadas por la humedad absorbida a través de la porosidad, y que quedan depositadas visiblemente en la superficie. Su existencia revela fallas en la dosificación previa con que se fabricó el material (sales contenidas en los suelos), lo que obviamente repercute en su compacidad, y como consecuencia directa en propiedades como la resistencia a la compresión y la absorción de agua.

**Heladicidad:** Según el tipo de porosidad que posea el material, y en zonas climáticas en que confluye la pluviosidad y las bajas temperaturas, sucede que el agua contenida en los poros tiende a dilatarse al convertirse en hielo, y esto trae como consecuencia una destrucción del material por descascaramiento y

---

<sup>v</sup> Chiappero, Rubén Osvaldo. Supisiche, María Clara. "Arquitectura en tierra cruda: breves consideraciones sobre la conservación y restauración". Nobuko. 2003. p. 25.

trizaduras. Existen métodos para determinar el comportamiento de los materiales conglomerados frente a este fenómeno. Estos métodos están basados en la siguiente deducción: Si dentro de la estructura interna del material, la lluvia a presión normal producto de la temperatura ambiente, ha logrado llenar la totalidad de los poros disponibles, se deberá a que las características de dicha porosidad y su grado de comunicación son homogéneos y lo favorecen, siendo por lo tanto un material heladizo, o vulnerable a este fenómeno. Si por el contrario, dentro de la estructura interna del material, la lluvia a presión normal producto de la temperatura ambiente, no ha logrado llenar la totalidad de los poros disponibles. Se deberá a la existencia de poros a los que debido a su diámetro o a características de accesibilidad, dicha agua encuentra dificultades para entrar, y ellos sólo acusarán su existencia frente a mayores presiones, o sea serán una reserva de seguridad para la expansión del agua al convertirse en hielo. Por lo tanto, si la dilatación del agua se produce además de al convertirse en hielo, también como resultado de su expansión al hervir y convertirse en vapor, es factible detectar la existencia de estos poros aplicando esta última opción. La condición de heladizo o no heladizo para un material poroso la acusa por lo tanto la diferencia de absorción para el agua a temperatura normal respecto del agua en ebullición (o saturación), y el ensayo consiste precisamente en comparar los pesos de un ladrillo que ha sido sometido a ambas situaciones. Si el peso resulta igual, el material tiene riesgo, este riesgo se ve disminuido en la medida que se acuse mayor diferencia entre el peso adquirido luego de ser sumergido por un determinado tiempo en agua a temperatura normal respecto del peso adquirido luego de sumergirse en agua hirviendo (diferencia entre absorción y saturación).

### **2.2.3 Limo**

Son partículas finas o gruesas, que no se constituyen ni en fragmentos puros de roca primitiva, ni que en su evolución hayan derivado hacia la composición arcillosa. Tienen otras composiciones más específicas y cuando no están constituyendo por su masividad un yacimiento mismo, se les llama “impurezas del suelo”. El limo 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.

### **2.2.4 Coloides**

Son partículas muy finas. A menudo se las considera como con un diámetro coincidiendo con dimensiones inferiores al micrón. Existen diferentes tipos de coloides como: arcillas cristalinas silicatadas, arcillas no cristalinas amorfas, óxidos de hierro y aluminio (sesquióxidos) y coloides orgánicos (humus).

## **2.3 Características y propiedades generales de un suelo**

### **2.3.1 Fricción interna**

Que impide el deslizamiento entre granos. La fricción interna de un suelo depende de dos factores físicos:

- La naturaleza de las superficies de las partículas. Generalmente las superficies rugosas generan una fricción más alta que las lisas.
- El grado de compactación del suelo, que afecta el grado de enlace entre las partículas. Con los suelos compactados las partículas al principio tienen que moverse en forma perpendicular a la dirección de cizalla, ocasionando dilatación del suelo. Este requiere que una fuerza de cizalla mayor que en los suelos sueltos, en los cuales las partículas se mueven generalmente en forma paralela al plano de cizalla.

### **2.3.2 Cohesión**

Depende fundamentalmente de la presencia de arcilla y sus propiedades de atracción molecular que producen una ligazón entre las superficies de contacto.

### **2.3.3 Compresibilidad**

Capacidad para disminuir su volumen al recibir una carga. Indica el porcentaje de reducción en el volumen del suelo, debido a pérdida de parte del agua entre sus granos, cuando esta sometido a una presión. Los materiales arcillosos tienen mayor compresibilidad que los granulares, por lo que al ser compactadas quedan con menor capilaridad, son por tanto menos adecuadas para construir bases.

### **2.3.4 Elasticidad**

Capacidad para recuperar el volumen primitivo al cesar la carga.

### **2.3.5 Capilaridad**

Propiedad para absorber humedad en los capilares o huecos producidos por la acomodación de los granos o partículas.

### **2.3.6 Textura**

Según el tipo de partículas componentes.

## **2.4 Estabilización de suelos**

Llamamos estabilización de un suelo al proceso mediante el cual se someten los suelos naturales a cierta manipulación o tratamiento de modo que podamos aprovechar sus mejores cualidades, obteniéndose un suelo firme y estable, capaz de soportar los efectos del tránsito y las condiciones de clima más severas. Se dice que es la corrección de una deficiencia para darle una mayor resistencia al terreno o bien, disminuir su plasticidad. Las tres formas de lograrlo son las siguientes:

### **2.4.1 Estabilización física**

Este se utiliza para mejorar el suelo produciendo cambios físicos en el mismo. Hay varios métodos como lo son:

#### **2.4.1.1 Mezclas de Suelos**

Este tipo de estabilización es de amplio uso pero por si sola no logra producir los efectos deseados, necesitándose siempre de por lo menos la compactación como complemento.

Por ejemplo, los suelos de grano grueso como las grava-arenas tienen una alta fricción interna, lo que lo hacen soportar grandes esfuerzos, pero esta cualidad no hace que sea estable como para ser firme de una carretera ya que al no tener cohesión sus partículas se mueven libremente y con el paso de los vehículos se pueden separar e incluso salirse del camino.



Las arcillas, por lo contrario, tienen una gran cohesión y muy poca fricción lo que provoca que pierdan estabilidad cuando hay mucha humedad. La mezcla adecuada de estos dos tipos de suelo puede dar como resultado un material estable en el que se puede aprovechar la gran fricción interna de uno y la cohesión del otro para que las partículas se mantengan unidas.

#### **2.4.1.2 Geotextiles**

El geotextil es una malla compuesta por fibras sintéticas cuyas funciones principales se basan en su resistencia mecánica a la perforación y tracción, y a su capacidad drenante.

Sirven en la construcción de sub-bases de carreteras y ferrocarriles, en presas, evitan posibles erosiones, realizan funciones de drenaje en canales, muros de contención, etc.

Los geotextiles sirven para separar tierras de diferente granulometría estabilizando el terreno, para protección de láminas impermeabilizantes. Los geotextiles cumplen diferentes funciones como la separación, la filtración, el drenaje, el refuerzo y la protección.

#### **2.4.1.3 Vibroflotación (Mecánica de Suelos)**

Es un método de compactación del terreno en profundidad, aplicable a terrenos granulares mediante vibradores profundos; se aplica cuando el contenido de finos (que pasan por el tamiz 200) no supera el 15 ó 20%. Un vibrador se introduce en el suelo hasta la profundidad deseada con la ayuda de

un chorro de agua a presión que sale de su punta; a continuación, se disminuye o corta totalmente el aporte de agua y se va extrayendo el vibrador, cuyas vibraciones se transmiten al terreno, compactándolo.

La compactación suele producir la formación de un embudo en la superficie del terreno, que se rellena con material procedente del propio terreno o de aportación externa. Como resultado, se forma una masa de terreno compactado, de forma sensiblemente cilíndrica.

El método se aplica en los vértices de una malla, habitualmente triangular, con una separación entre ellos que depende de las características iniciales del suelo y de la mejora que se pretende conseguir, para lo cual se fijan los criterios básicos:

- Asentamientos admisibles.
- Capacidad portante necesaria.

El método es aplicable hasta 70 m de profundidad, aunque habitualmente se compacta solamente la profundidad de suelo necesaria para que los bulbos de presiones produzcan tensiones admisibles.<sup>vi</sup> Efectos:

- Densificación de las partículas.
- Reducción de la permeabilidad de 2 a 50 veces.
- Incremento medio del ángulo de rozamiento en  $10^{\circ}$ .
- Incremento del módulo de rigidez de 2 a 5 veces.

---

<sup>vi</sup> Velásquez, Manuel. Cimentaciones y Túneles. Tratado de procedimientos generales de construcción. Reverte. 2008. p. 280.

#### **2.4.1.4 Consolidación previa**

Es un proceso de reducción de volumen de los suelos finos cohesivos (arcillas y limos plásticos), provocado por la actuación de solicitaciones (cargas) sobre su masa y que ocurre en el transcurso de un tiempo generalmente largo.

Al observar los depósitos de material muy suaves situados en el fondo de una masa de agua, por ejemplo un lago, se nota que el suelo reduce su volumen conforme pasa el tiempo y aumentan las cargas sobre el suelo, se les llama proceso de consolidación.

Frecuentemente ocurre que durante el proceso de consolidación permanece esencialmente igual la posición relativa de las partículas sólidas sobre un mismo plano horizontal. Así, el movimiento de las partículas de suelo puede ocurrir sólo en la dirección vertical, proceso denominado consolidación unidimensional.

La consolidación de un suelo es un proceso lento, puede durar meses y hasta años. Es un proceso asintótico, es decir, que al comienzo es más veloz, y se va haciendo cada vez más lento, hasta que el suelo llega a una nueva situación de equilibrio en la que ya no se mueve.

El no tomar en cuenta este posible movimiento del suelo al proyectar una estructura sobre él puede llevar a consecuencias catastróficas tales como la inclinación, fisuración e incluso el colapso de la misma. En muchos casos es necesario pre-consolidar el suelo antes de proceder a la construcción de una obra importante, como puede ser, por ejemplo, un edificio o una carretera. La preconsolidación se hace cargando el terreno con un peso semejante o mayor

que el que deberá soportar una vez construida la obra, para esto se deposita en la zona interesada una cantidad de tierra con el peso equivalente de la obra.

## **2.4.2 Estabilización química**

Se refiere principalmente a la utilización de ciertas sustancias químicas patentizadas y cuyo uso involucra la sustitución de iones metálicos y cambios en la constitución de los suelos involucrados en el proceso.

### **2.4.2.1 Cal**

Disminuye la plasticidad de los suelos arcillosos y es muy económica.

### **2.4.2.2 Cemento portland**

Aumenta la resistencia de los suelos y se usa principalmente para arenas o gravas finas.

### **2.4.2.3 Productos asfálticos**

Es una emulsión muy usada para material triturado sin cohesión.

#### **2.4.2.4 Cloruro de sodio**

Impermeabilizan y disminuyen los polvos en el suelo, principalmente para arcillas y limos.

#### **2.4.2.5 Cloruro de calcio**

Impermeabilizan y disminuyen los polvos en el suelo, principalmente para arcillas y limos.

#### **2.4.2.6 Escorias de fundición**

Estas se utilizan comúnmente en carpetas asfálticas para darle mayor resistencia, impermeabilizarla y prolongar su vida útil.

#### **2.4.2.7 Polímeros**

Estos se utilizan comúnmente en carpetas asfálticas para darle mayor resistencia, impermeabilizarla y prolongar su vida útil.

#### **2.4.2.8 Hule de neumáticos**

Este se utiliza comúnmente en carpetas asfálticas para darle mayor resistencia, impermeabilizarla y prolongar su vida útil.

### **2.4.3 Estabilización mecánica**

Es aquella con la que se logra mejorar considerablemente un suelo sin que se produzcan reacciones químicas de importancia.

#### **2.4.3.1 Compactación**

Este mejoramiento generalmente se hace en la sub-base, base y en las carpetas asfálticas. El objetivo, mejorar la resistencia y estabilidad volumétrica, afectando la permeabilidad, como consecuencia del proceso de densificación de la masa.

### **2.4.4 Funciones de los estabilizadores**

Algo muy importante que resaltar es que casi cualquier suelo se puede utilizar para construir si se le agregan sustancias llamadas estabilizadores. Lo importante es elegir el más adecuado.

Los estabilizadores cumplen tres funciones fundamentales:

- Unir las partículas del material para que los muros sean más resistentes.
- Impermeabilizar
- Hacer que muros y bloques soporten mejor la contracción y dilatación a la que se verán sometidos. Por lo general, los estabilizadores pueden cumplir con una o dos de estas funciones, por eso se suelen utilizar combinados.

Dado que hay una gran variedad de suelos y de materiales disponibles para usar como estabilizadores, depende del constructor ir haciendo ensayos hasta conseguir la combinación correcta. Hay una lista de materiales probados eficazmente durante siglos y otros que se emplean en algunas zonas pero cuyos resultados no están todavía bien documentados.





### **3. MATERIALES PARA IMPERMEABILIZAR**

#### **3.1 Permeabilidad**

La permeabilidad es la capacidad de un material para permitir que un fluido lo atraviese sin alterar su estructura interna. Se afirma que un material es permeable si deja pasar a través de él una cantidad apreciable de fluido en un tiempo dado, e impermeable si la cantidad de fluido es despreciable.

La velocidad con la que el fluido atraviesa el material depende de tres factores básicos:

- porosidad del material;
- densidad del fluido considerado, afectada por su temperatura;
- presión a que está sometido el fluido.

Para ser permeable, un material debe ser poroso, es decir, debe contener espacios vacíos o poros que le permitan absorber fluido. A su vez, tales espacios deben estar interconectados para que el fluido disponga de caminos para pasar a través del material.

También los factores químicos tienen una influencia directa en la permeabilidad. La estructura del suelo se ve influenciada por la naturaleza y la cantidad de iones presentes, es decir, de los elementos que participan directa o indirectamente en todas las actividades hidrodinámicas, químicas y biológicas del suelo.

## **3.2 Descripción de materiales**

Son varios los materiales que se mencionan para utilizar como impermeabilizante; aunque realmente la información es escasa ya que solamente mencionan que funciona, pero no existe nada en concreto en muchos materiales. Realmente no se tiene conocimiento de la influencia de cada uno de estos materiales, así como tampoco de un estudio más detallado con ensayos. A continuación se hace una descripción de los materiales más comunes que se encuentran en cualquier bibliografía, en la cual existe cierta documentación.

### **3.2.1 Baba de nopal**

Es una sustancia viscosa que se obtiene de la maceración de las hojas de la planta nopal, que es una planta muy rústica y ramificada, con ramas muy extendidas o inclinadas que puede llegar a medir 5 metros. Los segmentos (cladodios) son característicos del género, con apariencia de hoja carnosas, planos y generalmente ovales; poseen la capacidad de convertirse en tallos y a su vez emitir nuevos segmentos y flores.

### **3.2.2 Aceite de linaza**

El aceite de linaza ha sido utilizado desde tiempos inmemoriales para la producción de bases para pinturas y es en la actualidad todavía la base por excelencia en las pinturas de aceite.

Es un líquido viscoso y amarillento que se obtiene por prensado en frío y ocasionalmente tratado con disolventes de las semillas secas de la planta conocida por linaza (*Linum usitatissimum*, Linaceae) de la cual se utiliza también el tallo para obtener fibras que sirven de base para la tela conocida como lino.

Este aceite vegetal endurece al aire muy lentamente y en realidad nunca llega a ser completamente rígido y mantiene cierta plasticidad, por esta razón se ha usado extensamente para la preparación de masillas de relleno cuando se le agrega algún polvo para darle cuerpo. Esta misma propiedad es la que hace que sea una excelente base para las pinturas al mantener cierta flexibilidad por largo tiempo.

Ha sido utilizado para el tratamiento de las superficies de madera y el cuero, las que hace relucientes pero no vidriadas a la vez que rellena los pequeños poros pero sin encubrir las fibras. Es el tratamiento de lujo de las maderas y su terminación puede durar meses. Cuando el aceite de linaza se hierve, se polimeriza parcialmente y el secado posterior al aire se realiza mucho más rápido, es entonces cuando se convierte en base para pinturas y adquiere carácter de barniz por sí mismo.

### **3.2.3 Material bituminoso**

Son materiales aglomerantes, de naturaleza orgánica. Los betunes, junto con el barro, fueron los primeros materiales que utilizó el hombre. Estos materiales eran utilizados porque tenían buenas propiedades adhesivas, buenas características impermeables como en Siria. No llevaban tratamiento

superficial. Los recogían de las superficies de los lagos (de un material consolidado) y que ellos utilizaban como material aglomerante.

### **3.2.3.1 Betunes naturales**

Son aquellos que aparecen en la naturaleza. El origen de estos betunes está en los petróleos que han subido a la superficie a través de fisuras y se han depositado allí; con el tiempo los materiales mas ligeros que lo componían se evaporaron, quedando los componentes de mayor viscosidad. Si estos betunes, los unimos a betunes artificiales, pues les confieren mejoras en cuanto a resistencias y durabilidad. A veces estos betunes impregnan rocas porosas y se las conoce como rocas asfálticas; y fueron el primer material bituminoso utilizado en pavimentación.

### **3.2.3.2 Betún**

Mezcla de hidrocarburos naturales o pirogenados (aquellos que se han sometido a tratamientos de calor); y son esencialmente solubles en sulfuro de carbono o en tricloroetileno.

### **3.2.4 Jabón negro**

También conocido comúnmente como jabón de coche, es un material elaborado a partir del sebo de este animal mezclado con otros materiales

(ceniza y cal).<sup>vii</sup> Es utilizado para darle características impermeables a los revestimientos.

### 3.2.5 Cera de abeja

Es secretada por las abejas durante el proceso de construcción de sus panales. La cera de abeja cruda se obtiene fundiendo y filtrando los panales para obtener una cera limpia. Esta cera cruda tiene un color que varía entre café y amarillo, dependiendo del tipo de flores que existen en la región donde habitan las abejas.

La cera de abeja contiene ácidos libres, ésteres y otros componentes naturales que le dan características especiales, tales como propiedades emulsificantes, plasticidad, compatibilidad con otros productos naturales y olor agradable.<sup>viii</sup>

---

<sup>vii</sup> [http://www.verapaces.com/articulos/cultura/el\\_jabon\\_de\\_coche/](http://www.verapaces.com/articulos/cultura/el_jabon_de_coche/)

<sup>viii</sup> Doerner, Max. "Los materiales de pintura y su empleo en el arte". Sexta Edición. Reverte 2000. p. 103



## 4. ANÁLISIS DE CASAS AUTOCONSTRUIDAS

### 4.1 Antecedentes

Desde los inicios de la humanidad, ya los primeros hombres construían con tierra, formando con ella paredes protectoras para tapar las entradas de sus cavernas. La tierra ha sido material de construcción usado en todos los lugares y en todos los tiempos. Los hombres se familiarizaron con sus características y aprendieron a mejorarlas agregándole algunas fibras vegetales, o a intercalar algunas ramas como refuerzos para consolidar sus resistencias. Desde un punto de vista arquitectónico, o más bien ecológico, la vivienda popular debe ser autóctona; para ello:

- Deben usarse los materiales naturales que se tienen en el lugar.
- Debe ser construida con métodos sencillos fáciles de entender. La familia, niños mujeres, ancianos deben poder cooperar en su construcción. Nada de tecnicismos, ni herramientas, ni complejidades mecánicas
- Debe ser posible repararla por las mismas personas que la construyeron. Usando las mismas técnicas simples usadas en su construcción.
- El mantenimiento y reparación debe poder hacerse usando los mismos materiales
- Debe proteger eficazmente de la intemperie
- Ofrecer comodidad a sus habitantes de manera durable.
- Deben ser seguras, brindando protección a sus moradores de animales, clima, proliferación de insectos, microorganismos, entre otros.

Para no alargar esta lista no se mencionan características como conocimiento, bajo costo, economía de materiales, de mano de obra, incorporados como requisitos básicos en el haber social, lo mismo que su aceptación por la cultura local. Todas esas características las presentan con grado sumo las construcciones con tierra, de hecho las casas construidas de tierra se funden en el paisaje de manera armónica, no presentan discrepancia con el ambiente y tradicionalmente han sido bien aceptadas por las sociedades que las usan.

En los tiempos modernos se ha reemplazado la tierra por otros materiales como el vidrio, el hierro y el concreto, en especial para las construcciones urbanas, quedando las construcciones de tierra sobretodo para las viviendas rurales, principalmente en los países tercermundistas. En una economía altamente tecnificada como la que se vive hoy, es natural que así suceda con las construcciones urbanas en donde los edificios de altura son más numerosos y el espacio se usa más intensivamente.

Desde hace ya bastante tiempo, la tierra cruda fue, y sigue siendo, uno de los principales materiales de construcción. Es así que, hoy en día, más de un tercio de la población humana vive en hábitat de tierra.

El barro ha acompañado la aventura del cobijo humano desde su forma más antigua y humilde hasta llegar a nuestros días donde representa el papel de la alternativa respetuosa y de escala humana. Nos proponemos, con esta investigación, ayudar a legitimar la utilización de tierra en la construcción, atacada (y casi vencida) por la ideología del progreso y de esta manera formar una conciencia ecológica que tan necesaria es en nuestro país.



Cuando la humanidad empezó a edificar eligió la tierra cruda como material predilecto. Si no queda rastro de esas ciudades y construcciones es precisamente porque necesitan un cierto cuidado y mantenimiento: el día que los habitantes deciden abandonar el hogar y su lustral restauración, al cabo de unos (muchos) años la construcción tenderá a desaparecer. Volverá a formar parte de la madre tierra, reciclándose en pradera, huerta, vasija de terracota, o bien otra vez en una construcción.

#### **4.2 Ventajas ambientales del uso de tierra**

Desde el punto de vista ambientalista la tierra tiene muchas ventajas:

- No necesita ninguna transformación industrial de alto coste energético. Su inocuidad a la manipulación, sus componentes naturales y locales (arcillas, arenas, fibras como el pinillo u otras) y su facilidad para crear formas orgánicas, convierten al barro en un material de preferencia en la bioconstrucción.
- Suele ser un material local, muy barato, vendido al precio del escombro, si es que por poca suerte no se encontró en el mismo sitio de la edificación. Su facilidad para extraerlo, prepararlo y utilizarlo favorece los proyectos de auto-construcción.

Sin embargo, hay que reconocer que este sistema de construcción es hambrienta de mano de obra. Una tradición que nos ha acompañado desde todos los tiempos, donde estaba integrado el concepto de la participación voluntaria.

Aunque la puesta en obra pida ciertos requisitos, a veces muy diferentes de la construcción convencional, es en sí mismo un sistema de edificación sencillo. Es muy fiable como barrera térmica y acústica, igual que en su resistencia al fuego, resistente a los cambios bruscos de temperatura, al pasaje del tiempo. Es más débil frente a los golpes mecánicos, los roces de animales, a problemas graves de fontanería ocultos en los muros o a una concepción inadecuada del techo y de las aguas de lluvia.

Otra ventaja, es sin duda, el ambiente cálido que crea, además de su color natural de acabado, aunque más difícil de medir científicamente, se nota apenas pasar la puerta.

### **4.3 Ventajas constructivas del uso de tierra**

A continuación exponemos las ventajas de la tierra como material constructivo.

- La tierra es un material inocuo. No contiene ninguna sustancia tóxica, siempre que provenga de un suelo que no haya padecido contaminación.
- Es totalmente reciclable. Si en la construcción no se mezcla la tierra con algún producto fabricado por los humanos (por ejemplo, cemento), sería posible integrar totalmente el material en la naturaleza una vez se decidiera derribar el edificio.
- Fácil de obtener localmente. Prácticamente cualquier tipo de tierra es útil para construir, o bien se puede escoger una técnica u otra en función de la tierra disponible. También se pueden hacer mezclas con otro material cercano o con algún aditivo que mejore la mezcla (cal, yeso, paja).
- La construcción con tierra cruda es sencilla y con poco gasto energético. No requiere un gran transporte de materiales o una cocción a alta

temperatura. Es por ello que se considera un material de muy baja energía incorporada. Sin embargo, quizá sí es necesario un mayor esfuerzo e implicación de los constructores.

- Su obtención es respetuosa. Si se extrae del propio emplazamiento, provoca un impacto poco mayor que el que ya supone realizar la propia construcción. No lleva asociados problemas como la deforestación o la minería extractiva que implican otros materiales constructivos.
- Excelentes propiedades térmicas. La tierra tiene una gran capacidad de almacenar el calor y cederlo posteriormente (cualidad conocida como inercia térmica). Así, permite atenuar los cambios de temperatura externos, creando un ambiente interior agradable. Sobretodo resulta adecuada en climas áridos con oscilaciones extremas de temperatura entre el día y la noche pero, si se incluye un aislamiento adecuado, también es idónea en climas más suaves.
- Propiedades de aislamiento acústico. Los muros de tierra transmiten mal las vibraciones sonoras, de modo que se convierten en una eficaz barrera contra los ruidos indeseados.
- La tierra es un material inerte que no se incendia, pudre, o recibe ataques de insectos. Esto es así porque se evita el uso de las capas superiores de suelo, con gran cantidad de material orgánico.
- Es un material por naturaleza transpirable. Los muros de tierra permiten la regulación natural de la humedad del interior de la casa, de modo que se evitan las condensaciones.
- Económicamente asequible. Es un recurso barato (o prácticamente gratuito) que a menudo ya se encuentra en el lugar donde se levantará la casa.

## **4.4 Técnicas de construcción con tierra**

En la tradición de construcción utilizando tierra existen numerosas técnicas con una infinidad de variantes; que se traducen en la identidad y cultura del lugar. Entre ellas, cuatro resurgen como técnicas de mayor uso.

### **4.4.1 Tapial**

La técnica consiste en rellenar un encofrado con capas de tierra de 10 a 15 cm compactando cada una de ellas con un pisón, formando los muros en bloques grandes, según el tamaño del encofrado. El encofrado está compuesto por dos tablonces paralelos separados, unidos por un travesaño, aunque en realidad la idea del encofrado puede variara según las condiciones de cada caso en particular.<sup>ix</sup>

### **4.4.2 Adobe**

Los bloques de barro producidos a mano rellenando barro en moldes y secados al aire libre se denominan adobes. Se puede utilizar diferentes tipos de moldes. La forma de ir formando los muros con esta técnica consisten en ir colocando los adobes uno sobre de otro alternando las sisas que provocan entre sí.

---

<sup>ix</sup> Chiappero, Rubén Osvaldo. Supisiche, María Clara. "Arquitectura en tierra cruda: breves consideraciones sobre la conservación y restauración". Nobuko. 2003. p. 34.

#### **4.4.3 Bajareque**

Sistema y técnica de construcción de viviendas hechas fundamentalmente con un entramado de cañas u otro tipo de madera que constituya la base de los muros y divisiones de la construcción; el entramado es cubierto por barro generalmente bastante plástico, a manera de cubrir el entramado base. Es característico de América, dentro de los tipos está el embutido, esterilla y el tejido.

#### **4.4.4 Cob**

Es un material de construcción cuyos componentes son arcilla, arena, paja y barro común de tierra. En tal sentido el cob es muy semejante al adobe y al tapial, teniendo aproximadamente las mismas proporciones de materiales constituyentes. El proceso de fabricación del cob permite que las construcciones realizadas no requieran ser transformadas previamente en ladrillos, sino que, al igual que en el tapial, el conjunto se construye a partir de los cimientos, en muros de un solo bloque.

### **4.5 Componentes de una vivienda de tierra**

Dentro de los principales sistemas constructivos a base de tierra cruda podemos mencionar ciertos componentes que son comunes:

- Ubicación de la vivienda: Factor importantísimo que varía según las condiciones del terreno donde se edificará la vivienda.

- Cimientos: Generalmente son de piedra o de las mismas características de los muros hundidos dentro del suelo.
- Pisos: Generalmente son apisonados o fundidos.
- Techos: Pueden ser de lámina de zinc, de teja o techo vegetal, según las condiciones climáticas, así como las condiciones económicas de los habitantes.
- Revestimientos: Utilizados como protección a los muros o como elementos decorativos en fachadas principales, aunque en algunos lugares ya se utiliza como factor de salubridad.

#### **4.6 Aspectos generales de los revestimientos**

Cuando el hombre inicia el proceso constructivo, con fines de refugiarse de los fenómenos climáticos como también de los agentes biológicos, utilizó para ello diversos tipos de materiales que se encuentran en la naturaleza: además se vio en la necesidad de buscar opciones que de cierta forma le brindaran mayor protección a las edificaciones y le garantizarán un ambiente; confortable, seguro y salubre.

Esto generó lo que actualmente conocemos como revestimientos, enlucidos o revoques. Estos son elaborados de diversos materiales de acuerdo a los recursos disponibles, con la finalidad de prestar una condición adecuada a las edificaciones contra ciertos factores adversos como la intemperie, humedad ambiental, insectos, hongos, bacterias y demás; así como también se involucran una serie de factores determinantes como lo son la resistencia a la erosión, abrasión, impacto, adherencia mecánicas y química, permeabilidad, absorción entre otros.

En general los revestimientos deben ser capaces de proteger una edificación, contra la acción conjunta de diversos factores antes mencionados. Esta condición conlleva que los revestimientos deben tener un comportamiento adecuado durante los distintos fenómenos ya que estos tendrán que soportar fuerzas de tensión, compresión, desgaste entre otras.

Por ello en las construcciones de tierra, la protección que prestan los acabados es determinante ya que aquí se propicia una acción erosiva producida por las lluvias, así como también un fenómeno de humedad debido al suelo y a su vez una disminución progresiva del muro por la presencia de los agentes de agentes biológicos.

La elección del tipo de revestimiento a utilizar en estos casos deben ser sumamente cuidadosa y tener como fundamento los resultados combinados de la experimentación empírica y de laboratorio.

Un buen revestimiento protector debe adherirse bien al soporte sin provocar la pérdida del material del muro, ser lo más plástico posible para permitir la deformación del soporte sin quebrarse, ser estable ante el agua, ser permeable al vapor de agua en el muro mismo, ser trabajable, ser resistente a la helada, tener un color y textura compatible con el entorno local. Paralelamente a esto se deben cumplir otros parámetros, el revestimiento debe ser ecológico, económico y culturalmente posible y/o aceptado.

Los revestimientos juegan un papel arquitectónico decorativo, la decoración es el vehículo de un sistema de valores culturales, y constituye el devenir histórico de la comunidad.

En general, los revestimientos son elementos constructivos que recubren la estructura portante o los cerramientos de una edificación. Dentro de sus principales funciones están la de conservar, proteger los cerramientos, la ornamentación de fachadas o interiores, la de aislamiento (térmico y acústico) entre otras. Los revestimientos tienen tres aplicaciones principales: los muros, los pisos y los techos.

Los revestimientos cumplen un papel importantísimo a la hora de salvaguardar los principales elementos constructivos de una vivienda de tierra, los muros pueden sufrir una gran variedad de deterioros por los cuales muchas de las veces llegan a su colapso o a una mínima parte de su totalidad.

#### **4.7 Principales causas de deterior en muros de tierra**

Las causas de deterioro de los muros de tierra son a menudo producto final de más de uno de los factores que se mencionan a continuación:

##### **4.7.1 Causas humanas**

Las causas de alteraciones espaciales y funcionales de una vivienda de tierra son producidas por cambio de material y elementos agregados al inmueble en diferentes etapas de construcción.



### **4.7.2 Causas biológicas**

Son tres los más importantes de mencionar:

- Agentes biológicos autotróficos: Organismos vivos que toman su alimento de sustancias simples, entre los que se mencionan las plantas superiores y líquenes.
- Agentes biológicos heterotróficos: Organismos vivos que no pueden tomar su alimento de sustancias simples, como pueden ser los insectos y animales superiores. Entre estos organismos se encuentra el transmisor del “Mal de Chagas”, que tiene como agente causal al parásito *Tripanosoma*.
- Agentes biológicos saprofitos: Organismos que no pueden elaborar su alimento y lo absorben de la materia orgánica donde se desarrollan. Son pertenecientes a este grupo los hongos y las bacterias.

### **4.7.3 Causas climáticas**

#### **4.7.3.1 Lluvia**

Es una de las principales causas de alteración y deterioro, ya que provoca infiltraciones de agua y presencia de humedad.

#### **4.7.3.2 Asoleamiento**

Las causas de asoleamiento están relacionadas con la orientación de la vivienda. Las fachadas oriente y poniente tienen asoleamiento

profundo difícil de controlar mediante aleros, la fachada sur tiene asoleamiento durante todo el día en invierno.

#### **4.7.3.3 Viento**

El viento junto con la lluvia impacta en las viviendas dependiendo de su velocidad y dirección. Provoca infiltraciones y debilita los materiales de construcción, además de provocar desgaste al material componente del muro.

#### **4.7.3.4 Humedad**

Puede presentarse por capilaridad, infiltración y por condensación; y se debe a otros factores climáticos.

#### **4.7.3.5 Temperatura**

Dos son los factores básicos que influyen en nuestra temperatura; la latitud y la altura sobre el nivel del mar.

#### **4.7.4 Causas sísmicas**

Son estas una de las principales razones por las cuales la tierra ha sido atacada, debido a la mala construcción o al mal uso de este material; por lo que algunos consideran una debilidad utilizar tierra para

construcciones a la hora de estar expuestas a un movimiento sísmico. Los sismos pueden ser de origen tectónico y volcánico.

#### **4.8 Principales efectos de deterioro en muros de tierra**

Los efectos pueden ser de dos tipos según su naturaleza: intrínsecos o extrínsecos.

Los efectos intrínsecos son los que sufre el muro en sus elementos constructivos con el paso del tiempo. Entre estos se pueden mencionar la disgregación del material, falla del muro y del revestimiento.

Los efectos extrínsecos son los producidos por agentes externos. Entre estos se pueden mencionar la humedad, modificaciones, sismos, asentamientos entre otros.

##### **4.8.1 Efectos de deterioro intrínseco**

- Disgregación del material: Producto de la carencia de un revestimiento adecuado.
- Topología de fallas: 1) Fallas del muro, clasificándose dentro de algunas de las siguientes categorías: efectos de configuración estructural, debilidad del terreno de cimentación, debilidad en muros y marcos, carencia de interconexiones adecuadas entre elementos, calidad de construcción, aunque es razonable mencionar la deficiencia en lo que a calidad se refiere de la mano de obra y pobreza de construcción. 2) Fallas del revestimiento, clasificándose entre otras en cuarteaduras,

grietas y fisuras, causadas por la diferencia de los coeficientes de expansión y/o contracción inherentes a dos materiales distintos. Otras causas de agrietamiento en los revestimientos pueden ser: la acción erosiva del agua de lluvia y de la sequedad subsiguiente, debido a las aberturas constantes de puertas y ventanas; así como la incompatibilidad con los revestimientos utilizados en el muro de tierra.

#### **4.8.2 Efectos de deterioro extrínseco**

- Daños estructurales: Los daños estructurales en el revestimiento de los muros hecho de abobe o tierra apisonada dependen de la adherencia existente entre los adobes y la resistencia a los revestimientos ante esfuerzos de tracción. Estos efectos son originadas por aplicaciones incorrectas, materiales débiles e inadecuados o de los efectos de fuerzas externas tales como el viento, agua o movimientos sísmicos. Estos efectos pueden solucionarse realineando las paredes que se inclinan y que se bombean, reforzando y/o sustituyendo los causantes del deterioro.
- Relación agua (humedad): El agua será retenida con mayor avidez por suelos secos y tendrán más afinidad por el agua los suelos más plásticos. Dentro de los hechos con mayor resultado se encuentran: 1) Capilaridad: en elementos de revestimientos en los muros sobre todo en la parte inferior, 2) Infiltración de agua de lluvia: se da por la acción de la precipitación pluvial en muros y revestimientos, unidas a la velocidad del viento y a la capacidad de absorción de los materiales empleados en la construcción de una vivienda, c) Condensación: se da por falta de ventilación y asoleamiento, por lo que se produce concentración de humedad en el interior del revestimiento.

- Erosión: de la textura del revestimiento provocada por el viento en los muros de tierra. El mantenimiento es la clave para atenuar los efectos destructivos de la erosión del viento.
- Capacidad, conductividad e inercia térmica: Indica la cantidad de calor que pasa por una superficie en cierta unidad de tiempo que tarda en fluir el calor almacenado en un muro o techo.
- Asoleamiento: El efecto producido por el asoleamiento se manifiesta por cambios dimensionales (dilatación), que son mayores cuando los cambios de temperatura y humedad relativa son violentos. Los asoleamientos producen efectos mecánicos y degradan los materiales de construcción, presentándose en el exterior de los muros.
- Efectos causados por sismos: Depende de la intensidad de cada uno de los movimientos sísmicos, esta varía desde un sismo de grado I que son los que nadie siente, excepto los sismógrafos; hasta uno de grado XII que produce cambios totales del paisaje y de la topografía. Se pueden medir los efectos en el interior de la vivienda de tierra según vanas características: agrietamiento y caída del repello, agrietamiento de paredes, caída de tejas, desplomes de muros, derrumbamiento parcial de paredes y/o derrumbamiento total de la construcción.
- Efectos causados por Tripanosoma Cruzi: El parásito Tripanosoma Cruzi, es el transmisor del “Mal de Chagas” y habita en los muros de construcciones de tierra que no cuentan con un revestimiento. Realmente el hábitat natural de este insecto no son los muros, pero debido al gran crecimiento de tala de árboles los muros se han convertido en su nueva casa. El insecto se alimenta de sangre, al mismo tiempo que este insecto pica a las personas también deyecta; a la hora de rascarse se produce la infección en la sangre de las personas y muchas veces es fatal si no es detectado a tiempo. Se puede tener el

control de esta enfermedad a través de construcciones de las viviendas por medio de un buen revestimiento y acabado de los muros.

#### **4.9 Problemas que presentan los revestimientos en Guatemala**

Los revestimientos en Guatemala presentan deficiencias de diferentes tipos, siendo ellas los materiales que los constituyen, la mezcla de los materiales utilizados, el muro sobre el cual se colocan, la durabilidad de los revestimientos, la adherencia de los revestimientos, la fisuración de los revestimientos, la erosión de los revestimientos: provocados por el clima, la pobreza, la ignorancia, la falta de voluntad de los habitantes, negligencia política, la dificultad al acceso de materiales convencionales, el peso propio de los materiales entre otras. Todo esto nos lleva a la conclusión de que es necesario dar un aporte técnico para solucionar este gran problema.

##### **4.9.1 Defectos de los revestimientos**

Los principales defectos que se detectan en los revestimientos son los siguientes:

- Erosión de la superficie: este se debe principalmente a efectos del viento, lluvia, sol, ataque de insectos y/o humanos.
- Derrumbes parciales: estos se producen por la falta de adherencia, exceso de rigidez, impacto entre otros.

- Condiciones insalubres: estos son de mucha importancia y se presentan debido a la humedad, insectos, alimañas, hongos y otros.

**Figura 1. Ausencia de revestimiento en viviendas autoconstruidas de Guatemala, 2009.**



**Figura 2. Defectos en los revestimientos en viviendas de Guatemala, 2009.**



#### **4.10 Importancia de los revestimientos en la preservación de los muros de tierra**

Los revestimientos son el modo más directo de defenderse de las agresiones del mundo exterior, luchando contra el calor, el frío, el ruido, la humedad, los insectos entre otros. Los materiales electos para un buen revestimiento deben contar generalmente con las siguientes condiciones:

- Proteger de la humedad de condensación.
- Ser poco combustible.
- Ser fáciles de aplicar.
- No deteriorarse, resistiéndose a los efectos y reacciones químicas.
- No deteriorar a los materiales sobre los que hayan sido colocados en contacto directo, ni ser afectados por ellos.
- Tener duración apreciable.
- Requerir poco gasto de mantenimiento.
- Permitir las reparaciones, facilitando la reposición de una pieza o material, en caso de ser necesario.
- Ofrecer confort a sus habitantes de manera durable.

Dentro del papel de un buen revestimiento se encuentran los siguientes fenómenos:

- Protección térmico-acústica: Creando discontinuidad en las ondas que generan el ruido y el calor.
- Protección contra la humedad: Creando discontinuidad en el paso de la humedad o creando una capa impermeable.
- Protección contra radiaciones solares: Principalmente en el agregado de color en las superficies ya que afectan desde tres puntos de vista: 1)



térmico, reduciendo o aumentando las ganancias del calor producido por el sol; 2) psicológico, deprimiendo o motivando; 3) de reflexión, ocasionando deslumbramiento.

- Protección contra los insectos y alimañas: Uno podría pensar que los muros de tierra va a ser siempre la casa de este tipo de habitantes, los problemas con insectos y alimañas se solucionan con el revoque, es demasiado duro y por el grado de sobra se vuelve una habitación inhóspita para estos bichos.

#### **4.11 Aspectos generales de los materiales utilizados en revestimientos en construcciones de tierra**

Existe una infinidad de materiales que se utilizan en todas las regiones del país, ellos difieren en sus características físicas y reacciones químicas entre ellos. A continuación se presenta una lista con algunos de estos materiales:

##### **4.11.1 Agua**

Es quizá el más importante para llevar a cabo cualquier tipo de revestimiento, ya que sin ella no se adquieren las propiedades plásticas de cualquier material. Está compuesta por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno, y puede ser alterada por varios productos, entre ellos: los sulfatos, la acidez, el cloro, sustancias disueltas, hidratos de carbono, materias orgánicas y alguna sustancia perjudicial.

#### **4.11.2 Cal**

Es óxido de calcio, conocido químicamente como calcia, se presenta en gran abundancia en la naturaleza, principalmente en combinaciones con dióxido de carbono en forma de carbonato de calcio, piedra caliza, mármol, tiza, coral y conchillas. El residuo se llama cal viva o cal cáustica. La cal hidratada se hace moliendo la cal viva, apagando el polvo con agua y transformándolo luego en un polvo fino. Este material se puede utilizar en combinación con arenas, limos, arcillas, puzolanas, yeso y otros, para forma de esta manera algún tipo de revestimiento.

#### **4.11.3 Clara de huevo (Proteína)**

La clara aporta las dos terceras partes del peso total del huevo, se puede decir que es una textura casi-transparente que en su composición casi el 90% se trata de agua, el resto es proteína, trazas de minerales, materiales grasos, vitaminas y glucosa.

#### **4.11.4 Suero (Caseína)**

Es una derivación de la leche de los mamíferos, el cual se logra desnatando la leche, luego calentándola provocando la floculación.

#### **4.11.5 Cola animal**

Es una sustancia que se produce a partir del colágeno presente en las pieles, tejidos y huesos animales.

#### **4.11.6 Linaza (Aceite)**

Es la semilla de la planta *Linum usitatissimum* (lino). El aceite de linaza es un líquido viscoso y amarillento que se obtiene por prensado en frío y ocasionalmente tratado con disolventes de las semillas secas de la planta.

#### **4.11.7 Nopal (mucílago)**

Es un cactus de 3 a 8 metros de alto, con ramas aplastadas compuestas de piezas articuladas, espinosas, impropiedades llamadas hojas. En la construcción el mucílago de tuna (liga de las hojas) mejora bastante la calidad de los revestimientos, haciéndolos más resistentes contra los daños causados por la lluvia y la humedad.

#### **4.11.8 Fibras**

Existen una gran cantidad de fibras que son utilizados para los revestimientos. Las más comunes son fibras naturales (paja, pino), excretas de animales (principalmente de herbívoros), pelos de animales o humanos y artificiales. Las fibras le brindan elasticidad al revestimiento y disminuyen en gran porcentaje la fisuración.

#### **4.11.9 Tierra (suelo)**

La tierra o suelo esta compuesto generalmente por arenas, limos y arcillas, que en un sin número de mezclas, pueden dar de igual manera un sin número de resultados y tipos de revestimiento. En la mayoría de revestimientos, se utiliza la tierra mezclada con alguno de los materiales anteriormente expuestos, aunque también es posible realizar revestimientos solamente al conjugar los tres tipos de granos de ésta (limos, arcillas y arena).

#### **4.12 Revestimientos a base de tierra**

Los revestimientos a base de tierra están compuestos principalmente por arenas y limo, con solo la cantidad de arcilla que sea necesaria (usualmente entre 5 a 12%) para activar la cohesividad y la adherencia.<sup>x</sup> Es difícil establecer cuales deberían de ser las proporciones ideales para un revestimiento de tierra, ya que no solo influyen en las propiedades las proporciones de arena, limo y la arcilla, sino principalmente la granulometría de la arena, el contenido de agua, el tipo de arcilla, la forma de preparación, el tipo y la cantidad de aditivos. Por ese motivo, es necesario hacer revestimientos de prueba con mezclas variadas para poder determinar cual es la más adecuada.

##### **4.12.1 Revestimientos exteriores**

Los revestimientos exteriores expuestos a las inclemencias del tiempo deben ser resistentes a los cambios climáticos o deben proteger mediante la aplicación de pinturas impermeables. Es importante en climas fríos que el

---

<sup>x</sup> Proyecto FODECYT No. 05-03. "Evaluación experimental del comportamiento de revestimientos utilizados en paredes de construcciones de tierra y su aplicación en una vivienda rural". Quiñónez de la Cruz, Francisco Javier. 2005. p. 13

revestimiento exterior y la pintura tengan una buena resistencia a la difusión de vapor para que el agua condensada en el muro pueda ser fácilmente transportada hacia el exterior. El revestimiento exterior debe ser más elástico que la superficie donde se aplica para poder resistir influencias hídricas y térmicas sin que aparezcan fisuras. Por lo general en climas fríos no se recomiendan revestimientos exteriores de barro a menos que se cuente con un adecuado alero, protección de zócalo y una buena pintura impermeable. Debido a que los bordes de los muros revocados se dañan con facilidad estos deben redondearse o protegerse con un elemento rígido.

#### **4.12.2 Revestimientos interiores**

Los revestimientos interiores de tierra son menos problemáticos que los exteriores y usualmente no crean problemas si presentan pequeñas fisuras ya que pueden ser selladas con pintura. Las superficies para revestimientos pueden ser aisladas después del secado con una brocha previamente empapada con agua. Si la superficie requiere un revestimiento con un espesor mayor a 15 mm entonces se aconseja aplicar el mismo en dos capas, la primera capa debe contener más arcilla y agregados gruesos que la segunda. Si en la primera capa aparecen fisuras de retracción no son problemáticas debido a que estas proveen al revestimiento final una mejor adherencia.

#### **4.13 Protección de superficies de barro contra las inclemencias del tiempo**

No es siempre necesario que las superficies de barro tengan aditivos para hacerlas resistentes a las inclemencias del tiempo. Es a veces suficiente proteger o reforzar la superficie con un revoque o pintura.

El método más simple de reforzar una superficie especialmente contra la erosión por lluvia y viento es consolidándola. Esto se puede lograr aislando la superficie con un elemento de metal ejerciendo presión, cuando este húmeda y ligeramente plástica. El tratamiento es adecuado cuando la superficie se pone brillante y no quedan visibles poros o fisuras. Aunque esta acción no altera la composición del material se crea una sorprendente resistencia a las inclemencias del tiempo.

##### **4.13.1 Pinturas**

Las pinturas en las superficies expuestas deben ser periódicamente renovadas. La pintura puede ser erosionada físicamente por el viento, el congelamiento o la lluvia, así como también químicamente erosionada por la radiación ultravioleta y la lluvia ácida. Las pinturas exteriores deben ser hidrófobas (repelentes al agua) y al mismo tiempo especialmente para climas fríos ser porosas con una red continua de micro poros con el objetivo de permitir la difusión del vapor hacia el exterior.

### **4.13.2 Protección contra la lluvia**

Un método para prevenir que la lluvia llegue a tener contacto con el muro de barro es hacer un alero. Un método para prevenir el salpicado de lluvia es hacer un zócalo suficientemente alto (30 a 50 cm).<sup>xi</sup> La junta entre el muro y el zócalo debe ser cuidadosamente diseñada de tal manera que el agua de lluvia puede escurrirse sin problemas y no penetre en la junta.

### **4.13.3 Protección contra la humedad ascendente**

Los muros exteriores de barro deben protegerse de la humedad ascendente de la misma manera que los muros de ladrillo cocido o los de piedra. Para esto se emplea una capa impermeable, usualmente cartón asfáltico y otras veces planchas metálicas o plásticas. Debido a que estos tienen un costo elevado en los países en vías de desarrollo se emplea como alternativa una capa de 3 a 4 cm de espesor de hormigón rico en cemento. Este debe impregnarse con asfalto o aceite de automóvil usado.

### **4.13.4 Protección contra la inundación**

En baños y cocinas el zócalo debe tener revestimientos impermeables que puede ser de tejas, de piezas para zócalos, o un revoque rico en cemento. El diseño del revestimiento debe ser tal que el agua de roturas en tuberías e inundaciones de piso no llegue a tener contacto el muro de barro.

---

<sup>xi</sup> Erich Schild, Rainer Oswald. Estanquidad e impermeabilización en la edificación. Reverte. 1983. p. 83

#### **4.14 Consideraciones sobre los muros**

Es necesario que los muros exteriores protejan al ocupante contra agentes exteriores perjudiciales, que sean estéticos, que brinden confort y que armonicen con el exterior. Al lado de estas consideraciones técnicas hay que tener en cuenta las condiciones económicas.

Para revestimientos de paramentos exteriores se prefieren materiales resistentes a los choques, los lisos, los que rechazan el agua y el polvo, a los materiales blandos y porosos.

Paredes exteriores simples: Con los sistemas tradicionales adaptados a las condiciones locales, proporcionan suficiente resistencia a la atmósfera. Las paredes simples son empleadas en la mayoría de las construcciones, debe, sin embargo, disponerse revestimientos exteriores para conseguir suficiente protección contra los agentes atmosféricos.

Paredes combinadas: En estas el revestimientos exterior está en contacto con el grueso del muro o bien existente una cámara de aire entre ellas. La superficie exterior debe proteger la pared contra los agentes atmosféricos, cuando la pared por sí sola no pueda resistirlos. Además, los acabados pueden dar un carácter propio a una edificación, hacerla destacar o hacer que armonice con su exterior.

Los revestimientos de paredes y acabados de superficies usuales en la construcción de edificaciones pueden clasificarse según la siguiente forma:

- Simples protecciones: pintura, recubrimiento con plásticos y masas endurecidas, revoques.



- Fábrica de albañilería: piedra natural, revestimiento de piedra, ladrillo.
- Hormigón (impermeabilizado o sin impermeabilizar)
- Placas: cerámicas, fibrocemento, piedra artificial, metálicas, acero, metal ligero, plásticas, vidrio, madera.

En el caso del adobe, el cual se usa como material para muros siempre debe ir repellido para protegerlo de la humedad. Puede ir enlucido sobre el repello, o bien pintado.

Las paredes exteriores con acabado blanco pueden ayudar a mantener el interior a temperatura agradable, reflejando el calor del sol; sin embargo, en conjunto de construcción puede llegar a molestar a las personas que estén a los alrededores, por mucha reflexión de la luz.

En acabados puede ser aplicado para proveer una superficie completamente lisa o una textura característica, puede lograrse esto rayando, adulterando o peinando. En muros interiores también se aplican acabados de yeso para darles apariencia uniforme, además permiten pintar los muros con mayor facilidad.

La pintura da colorido y aumenta la duración de ciertas partes de la construcción. Vienen en una amplia gama de colores y costos diversos.

A causa de las variaciones que experimenta la temperatura durante el día pueden producirse notables tensiones en los revestimientos, lo que causa muchas veces dilataciones y contracciones de los materiales, que pueden producir desperfectos de costosa reparación. Los efectos térmicos se manifiestan especialmente en verano en las superficies orientadas a poniente. Influye desfavorablemente al haber hecho las capas exteriores de las paredes con materiales aislantes, de baja conductibilidad térmica.

Guatemala se caracteriza por ser un país lleno de colorido y de contrastes. La mayor influencia, en lo que a construcción se refiere, por siglos, ha provenido de nuestra cultura ancestral, los mayas, y de la cultura española. La misma naturaleza ha servido de inspiración para la elección de colores. La cultura española trajo colores como rosado encendido, celestre, amarillo ocre, blanco.

Existen diferentes comunidades del país en donde casualmente pintan las casa del mismo color o bastante análogos, siendo los más usados los siguientes: celeste, rosado, blanco, amarillo con una ligera mezcla de rojo, colores encendidos sin tomar en cuenta la integración del paisaje urbano, verde turquesa, naranja, rojo, beige, colores claros.

#### **4.15 Utilización de color en los revestimientos**

El color es parte de nuestra vida cotidiana, existen diferentes teorías psicológicas de que si un color nos trasmite una emoción, un sentimiento. Lo cierto es que inconscientemente asociamos lo que vemos con los recuerdos que tenemos, producto de nuestra carga cultural, nuestra identidad y nuestras experiencias. De ahí que los gustos son tan diversos como cada individuo lo es.

Son innumerables la gama de colores que son aplicables sobre las superficies lisas o porosas, siendo en este caso la aplicación sobre los revestimientos de tierra principalmente.

Teniendo en consideración la gran gama de colores existentes se debe tener mucha prudencia a la hora de aplicar el color o imponerlo dentro de una

comunidad. El color puede ser percibido de manera distinta de una persona a otra, algunos factores importantes que definen su correcto uso es la personalidad de la persona, su estado de ánimo, su cultura y la influencia de la luz que la superficie refleja.

Entonces como no se puede proponer una gama de colores debido a los diferentes factores que sobre este influyen, tampoco es correcto dejar la libertad de elección de color ya que podría llegar a convertirse como en muchos casos una contaminación visual.

La recomendación más ideal sería hacer una encuesta en la comunidad, y seguir ciertos parámetros como los socioculturales, el entorno ambiental, la economía y las técnicas. Esto con objeto de que se pueda crear un lugar bastante agradable y con un aspecto ordenado visualmente, higiénico y que refleja los sentimientos que una comunidad determinada pueda tener.

#### **4.16 Consideraciones generales**

- La importancia que tiene un revestimiento en las construcciones de tierra es vital, ya que ayudará a eliminar la problemática que sufren estas construcciones; como las inclemencias del clima, la proliferación de microorganismos, ataques de insectos y animales, entre otros.
- Más de un tercio de la población vive en construcciones de tierra, construir con tierra es una técnica que se conoce desde tiempos ancestrales y la revivificación de esta técnica hoy en día en nuestro país es más que necesaria.

- Cuando se sueña con la casa ideal todos pensamos en un lugar bello y agradable, luminoso, caliente en invierno y fresco en verano, que no ensucie el entorno y que sea capaz de producir la energía que consume; parece algo imposible pero la verdad es tan asequible y se le conoce con el nombre de casas ecológicas autoconstruidas.
- La utilización de materiales que nos brinda la naturaleza es una alternativa a la proliferación de construcciones costosas con materiales que son fabricados con recursos y energías no renovables, y que además causan un gran impacto ambiental.
- La técnica que involucra tierra para construir es predominante en países como el nuestro, con mayor necesidad de vivienda y menor cantidad de recursos; ya que sin duda la tierra es el material mas accesible y disponible que existe, y que mejor que utilizarlo para construir un lugar digno para vivir.
- A pesar de que las casas autoconstruidas son fiables como barrera térmica y acústica, resistente a los cambios bruscos de temperatura y al pasaje del tiempo, sufre de debilidades frente a los golpes mecánicos, los roces de animales, proliferación de microorganismo, hábitat de insectos, concepción inadecuada del techo y al agua de lluvia.
- Las casas autoconstruidas en áreas rurales regularmente no cuentan con ningún tipo de revestimiento, las razones de que esto suceda van desde la pobreza, la falta de voluntad de los habitantes, la ignorancia, dificultad de acceso de materiales convencionales hasta la negligencia política.

- En nuestro país los revestimientos presentan muchas deficiencias, siendo algunas de ellas los materiales que los constituyen, la mezcla de los materiales utilizados, el muro sobre el cual se colocará, la durabilidad, la adherencia, la fisuración y la erosión.
- El enemigo numero uno de los revestimientos en Guatemala es el agua, es verdaderamente un dolor de cabeza ya que causa serios daños en los revestimientos volviéndolos vulnerables para otros problemas más graves; tal es el caso de Jutiapa donde los muros se han vuelto hábitat de la chinche picuda que trasmite la enfermedad de Chagas.
- La revivificación de la tierra como material de construcción es importante en estos días, donde el hombre le ha causado tanto daño a la naturaleza que utilizar este material es una forma de contribuir a la preservación del ambiente.
- La enfermedad de Chagas en nuestro país es una triste realidad que se vive, son muchas las personas que sufren esta enfermedad y muchas mas que han fallecido debido a la enfermedad; un buen revestimiento en las viviendas contribuye en gran medida a la radicación de esta enfermedad.
- Un buen revestimiento debe ser fácil de colocar, tener bastante plasticidad y trabajabilidad, ser estable ante el agua, ser permeable al vapor de agua, tener un color y textura que armonice con el entorno local.



## **5. ANÁLISIS DE LABORATORIO DE LOS MATERIALES**

Cada material tiene características y propiedades diferentes, es por eso que es importante conocerlas para ver de qué manera influyen en la elaboración de los morteros. Para realizar el análisis de los materiales se inició con la obtención de muestras, para después poder darles su tratamiento respectivo. El tratamiento de algunas sustancias se puede encontrar en algunas bibliografías, pero existen otras sustancias las cuales no se conoce el método para tratarlas; en este caso se realizó de forma empírica. Luego de esto se procedió a evaluarlas, y reconocer si el efecto que tiene en el mortero es físico, químico o bien ambos.

### **5.1 Obtención de muestras**

Primeramente es importante mencionar que se eligieron diferentes tipos de materiales, los cuales están clasificados en cinco categorías (según su naturaleza) que son las siguientes:

- VEGETALES
- ANIMALES
- COMPUESTOS QUÍMICOS
- MINERALES
- DESECHOS

Y cada categoría presenta una serie de materiales a utilizar con los cuales pretendemos cumplir con el objetivo de esta investigación, el por que de la elección de estos materiales esta fundamentada en estudios bibliográficos y en

consideración de materiales que se disponen actualmente en el lugar. Los materiales de cada categoría se presentan a continuación:

### **5.1.1 Vegetales**

- OPUNTIA COCHENILLIFERA (NOPAL)
- EUPHORBIA CANARIENSIS (OLIVO)
- ACANTHOCEREUS TETRAGONUS (LENGUA DE VACA)
- LINAZA (ACEITE)
- CENIZA (MADERA)
- ASERRIN

### **5.1.2 Animales**

- SUERO (CASEINA)
- ESTIERCOL DE BESTIA
- SANGRE (TORO)
- CLARA DE HUEVO (PROTEINA)
- COLA DE CERDO
- SEBO
- CERA (ABEJA)

### **5.1.3 Compuestos Químicos**

- BORAX
- SILICATO DE SODIO



- CARBONATO DE SODIO

#### **5.1.4 Minerales**

- CAL
- ARCILLA
- ARENA

#### **5.1.5 Desechos**

- PAPEL PERIÓDICO

Para llevar a cabo el proceso de recolección de las muestras se realizó primero una visita al departamento de Jutiapa para obtener materiales disponibles en el lugar que coincidieran con el estudio bibliográfico y otros con los cuales se pudiera experimentar (nopal, lengua de vaca, olivo); que además no son fáciles de conseguir en cualquier lugar (clima cálido regularmente). Ahora en lo referente a la tierra fue obtenida de un lugar llamado Colinas en San Andrés Itzapa, Chimaltenango. Al igual que la sangre de toro se obtuvo del matadero del mismo municipio, como es conocido también el municipio cuenta con mucho ganado, lo cual facilitó la obtención de estiércol. Las muestras restantes por ser más conocidas y utilizadas facilitó la obtención de las mismas; como por ejemplo la cola de cerdo (Jocotenango, Sacatepéquez), la linaza (Antigua Guatemala, Sacatepéquez) y compuestos químicos (QUIMIPROVA, Zona 12 Ciudad Capital).

## **5.2 Tratamiento de los materiales**

### **5.2.1 Sustancias vegetales**

#### **5.2.1.1 Baba o mucílago de Opuntia Cochenillifera (Nopal)**

El método para extraer el mucílago fue el siguiente, se seleccionan las pencas de una edad aproximada de 0.6 a 3 años, cortándolas con un cuchillo bien afilado en el punto de unión entre ellas. Con la misma herramienta se eliminó la epidermis con las espinas para obtener el parénquima (carnosidad de la penca) y los haces vasculares; aunque también se puede realizar esta operación colocándolas en un azador. Los cladidos, limpios se cortarón en pedazos pequeños, sobre un tronco de madera y con el auxilio de un machete, para poner una cantidad determinada a macerar en agua en un recipiente con agitación y paleado manual constante con un palo de madera dura. Dejándolo reposar durante algunos días, luego de esto el macerado se filtra con un colador para obtener el mucílago translucido libre de tejido parenquimatoso.

#### **Avance de la muestra**

#### **Tratamiento inicial**

Se colocan 1.16 kg del vegetal cortado en trozos en una cubeta y se le agrega 1.25 litros de agua.

**Primer día**

La cantidad de agua contenida es casi la misma, aunque ya empieza a tener aspecto de liga con una consistencia pegajosa. Esta liga posee un color brillante amarillo con cierto tono blancuzco.

**Segundo día**

La cantidad de agua contenida sigue siendo aproximadamente la misma, aunque la liga se torna de un color verduzco claro y su consistencia ha aumentado. Comienza a presentar cierto olor muy desagradable.

**Cuarto día**

La cantidad de agua disminuye en poca cantidad, presenta una eflorescencia como de espuma. La liga aumenta su consistencia y presenta un tono amarillento. El desagradable olor empieza a disminuir.

**Noveno día**

La cantidad de agua disminuye gradualmente, la liga posee mucha consistencia. Comienza a presentar presencia de vectores.

**Veintidós días después**

La cantidad de agua disminuye gradualmente, la liga aumenta su consistencia. La presencia de vectores continua, aunque el olor es muy poco. El mucílago esta listo para ser utilizado, y se obtiene aproximadamente 550 centímetros cúbicos de liga en este tratamiento.

### **5.2.1.2 Mucílago de Acanthocereus Tetragonus (Lengua de Vaca)**

La forma de extraer el mucilago de esta planta fue eliminar las espinas de forma manual con un cuchillo y con mucho cuidado, ya que las espinas son bastante grandes y muy filosas. Teniendo esto se cortan en trozos la planta como si fuera a preparar una ensalada y se colocan en un bote; luego se le agrega agua y se deja reposar unos días hasta que se considere que tenga la viscosidad que se necesite. Luego se machacan los sobrantes y se cuelan en otro recipiente a manera de dejar solo el mucílago. Se deja reposar y esta lista para ser utilizada.

#### **Avance de la muestra**

#### **Tratamiento inicial**

Se colocan 1.36 kg del vegetal cortado en trozos en una cubeta y se le agrega 1.25 litros de agua.

#### **Primera día**

La cantidad de agua disminuye casi dos centímetros de la colocada, el agua se empieza a tornar en una especie de liga con baja consistencia de color café.

#### **Segundo día**

La cantidad de agua sigue siendo aproximadamente la misma, la liga aunque su consistencia no varía en mucho presenta un color café cristalino. Comienza a presentar cierto olor no tan desagradable.

#### **Cuarto día**

La cantidad de agua sigue siendo aproximadamente la misma, pero ya la liga ha aumentado su consistencia con un color amarillo con cierto tono verduzco. El olor persiste pero no es desagradable.

#### **Noveno día**

La cantidad de agua disminuye gradualmente, la liga aumenta su consistencia con un color amarillo-verduzco con cierto brillo. El olor presente es bastante desagradable, y hay presencia de vectores.

#### **Veintidós días después**

La cantidad de agua disminuye gradualmente, la liga sigue en aumento de su consistencia con un color verde oscuro brillante. El olor es insoportable al igual que la presencia de vectores. El resultado final de este tratamiento arroja aproximadamente 800 centímetros cúbicos de este mucílago ya listo para utilizar.

### **5.2.1.3 Látex de Euphorbia Canariensis (Olivo)**

La forma de extraer esta especie de látex de esta planta es eliminar las espinas de forma manual con un cuchillo, el proceso es un poco más sencillo debido al espaciamiento de las espinas y su reducido tamaño. Teniendo esto se cortan en trozos como si fuera a preparar una ensalada y se colocan en un bote; luego se le agrega agua y se deja reposar unos días hasta que se pueda observar la viscosidad. Después de esto machacamos los sobrantes y se cuelan en otro recipiente a manera de separar los restos de la planta del látex. Se deja reposar y esta lista para ser utilizada.

## **Avance de la muestra**

### **Tratamiento inicial**

Se colocan 2.07 kg del vegetal cortado en trozos en una cubeta y se le agrega 3.65 litros de agua.

### **Primer día**

La cantidad de agua se reducen aproximadamente medio centímetro, el agua tiene un color amarillo aunque no tiene consistencia. No posee mal olor.

### **Tercer día**

El agua permanece aproximadamente constante aunque no tiene ninguna consistencia, pero su color se torna café claro con cierto tono blancuzco. El olor existente no es desagradable.

### **Octavo día**

El agua disminuye muy lentamente, el color es ahora verde oscuro. Aunque el agua todavía no presenta consistencia posee una característica de goma (al secarse crea una superficie). Presencia de vectores y el olor no es tan desagradable.

### **Veintidós días después**

El agua es aproximadamente la misma aunque se torna de color verde con ciertos puntos blancos. La consistencia es la misma, la presencia de vectores es la misma y olor no es desagradable. Mantiene esa característica de goma, como resultado se obtiene 950 centímetros cúbicos de este látex listo para su utilización.

#### **5.2.1.4 Ceniza**

La ceniza es el resultado de haber quemado leña, y su recolección es bastante simple aunque se debe de tener mucho cuidado para no introducir restos de leña que puedan quedar; así que es muy recomendable tamizar la ceniza a manera de eliminar impurezas.

#### **5.2.1.5 Linaza**

El procedimiento de extracción del aceite de linaza que se obtiene de la semilla de la planta de lino (*lino usitatissimum*) y se puede hacer de dos formas, una es en caliente que es un proceso industrial y la otra es por prensado en frío de la semilla que no es muy tradicional. Con esto se obtiene el aceite de linaza crudo el cual se puede aplicar pero tiene desventajas como su lento endurecimiento al aire, ahora bien cuando el aceite de linaza se hierve se polimeriza y el secado al aire se hace más rápido.

#### **5.2.1.6 Aserrín**

El aserrín es el resultado de trabajar la madera de varias formas (lijado, corte, etc.) de ciertos árboles. Realmente no necesita ningún tratamiento, aunque debe tenerse cuidado de que debe de estar totalmente seco y libre de astillas de gran tamaño.

## **5.2.2 Sustancias animales**

### **5.2.2.1 Clara de huevo**

El procedimiento de obtener esta sustancia es bastante sencillo ya que teniendo los huevos, se rompen y se deja caer la clara del huevo en un recipiente sosteniendo la yema a manera que no se vaya a pasar de largo. Teniendo esto se cuartea con un poco de agua para su aplicación, la cual debe ser de forma rápida antes de que la sustancia se endurezca.

### **5.2.2.2 Suero (caseína)**

El procedimiento de obtener esta sustancia que es una derivación de la leche de los mamíferos es desnatando la leche, luego calentándola provocando la floculación. El resultado de este procedimiento no es soluble en agua, por lo que se debe transformar en una sustancia soluble llamada caseinato. Para lograr esto se hace reaccionar la caseína con álcalis (cal apagada) y obtenemos una sustancia lista para utilizar, aunque su aplicación debe ser de forma rápida antes de que se endurezca. El suero que se utilizó se divide en dos grupos: 1) el suero residuo de realizar el queso; 2) el suero residuo de realizar requesón.

### **5.2.2.3 Cola Animal**

El procedimiento de obtener esta sustancia es a partir del colágeno presente en las pieles, tejidos y huesos animales. Según se encuentre en el mercado que regularmente es en tiras y en nuestro caso específicamente de la



piel del cerdo, se deja remojar durante la noche para que se hidrate, luego se calienta a baño maría hasta que tenga la consistencia que se necesite. Su aplicación debe ser en caliente ya que tiene un secado bastante acelerado. Para este material se utilizaron 237 gramos de cola animal con 450 centímetros cúbicos de agua; con lo cual se obtiene aproximadamente la misma cantidad de agua de una cola con bastante consistencia y de color café oscuro.

#### **5.2.2.4 Sangre de toro**

La sangre de toro es posible conseguir en cualquier rastro, debido a que la sangre posee una rápida coagulación (30 min aprox.) hay que administrarle a la sangre un anticoagulante en este caso EDTA (ácido etilen-diamino-tetra-acético); en proporción de una gota por cada mililitro. Teniendo esto hace fácil su transportación y puede esperar hasta su utilización, ahora bien el problema de aplicar un anticoagulante es que ya no se dará el proceso de coagulación. El proceso de coagulación es uno de los motivos por los cuales se utiliza este material, para revertir el proceso necesitamos aplicar ephinefrina en proporción de una ampolla cada 100 mililitros aproximadamente.

#### **5.2.2.5 Estiércol**

Es el resultado de una necesidad natural de los animales, en este caso específico de los caballos. Para tratar el estiércol es necesario colocarlo bajo el sol a manera de que este totalmente seco. El estiércol no debe de estar húmedo ni mucho menos podrido ya que puede influir a la hora de ponerse en contacto con la mezcla. Teniéndolo seco se desmenuzan los grumos, esto se realiza a manera de hacer el material más trabajable.

#### **5.2.2.6 Sebo**

Este se obtiene de la grasa de animales (cerdo, vaca, etc.), es la grasa natural de la piel que ayuda a mantenerla suave y a hacerla algo impermeable. Para tratar esta sustancia solo es necesario separar bien la grasa de otras impurezas que generalmente vienen acompañadas de sangre; y luego derretirla en un recipiente hasta que tenga una consistencia viscosa. La aplicación del sebo se debe de realizar en caliente ya que tiene un secado bastante rápido.

#### **5.2.2.7 Cera de abeja**

Es el material que las abejas usan para construir sus nidos. Es producida por las abejas melíferas jóvenes que la segregan como líquido a través de sus glándulas cereras. Al contacto con el aire, la cera se endurece y forma pequeñas escamillas de cera en la parte inferior de la abeja. Un millón más o menos de estas escamillas significa un kilo de cera. La cera es producida por todas las especies de abejas melíferas, aunque las ceras producidas por diferentes especies de abejas tienen propiedades químicas y físicas levemente diferentes. La Cera de Abeja cruda se obtiene fundiendo y filtrando los panales para obtener una cera limpia. Esta cera cruda tiene un color que varía entre café y amarillo, dependiendo del tipo de flores que existen en la región donde habitan las abejas.

## **5.2.3 Compuestos químicos**

### **5.2.3.1 Silicato de sodio**

Hay dos métodos de producción usados en la manufactura de silicato de sodio, seco y húmedo. Las materias primas usadas en el proceso seco son cenizas de sosa y óxido de silicio, mientras que soda cáustica y sílice son los materiales esenciales usados en el proceso húmedo.

#### Proceso seco

El óxido de silicio es combinado en un contenedor de fusión el cual opera aproximadamente a 1,300°C. Luego, la combinación es mezclada con carbonato de sodio en un contenedor a presión de calentamiento. La apariencia externa de este producto es una forma semisólida similar a un vaso. En este punto, se añade una cantidad adecuada de agua al contenedor de calentamiento, el cual está a una presión de vapor por debajo de 6 Kg por cm<sup>2</sup>. hasta su disolución. Esta solución es enviada a una poza de sedimentación para precipitar la mayoría de las impurezas. Luego es transferido a un tanque filtrador para una filtración fina. Después experimenta un proceso de blanqueado o decolorado para clarificar la solución, transformándolo en la concentración estipulada lo cual concluye este proceso.

#### Proceso húmedo

El proceso húmedo es muy semejante al proceso seco excepto que en el primer paso donde las materias primas (sílice y soda cáustica) son colocadas directamente en un contenedor a presión el cual es calentado para impulsar una reacción química formando una solución llamada vaso de agua. Naturalmente,

el contenedor construido en el proceso húmedo no es precisamente el mismo que en el proceso seco, pero todo proceso posterior es similar al proceso seco.

Esta sustancia se encuentra comercialmente en forma líquida ya lista para su utilización.

### **5.2.3.2 Carbonato de sodio**

La obtención de esta sustancia puede hallarse en la naturaleza u obtenerse artificialmente utilizando como materias primas el cloruro sódico (sal común), el amoníaco y el carbonato cálcico (piedra caliza).

Esta sustancia se encuentra comercialmente en polvo ya lista para su utilización.

### **5.2.3.3 Bórax**

El bórax se origina de forma natural en los depósitos de evaporita producidos por la evaporación continua de los lagos estacionarios. El bórax comercial generalmente se deshidrata en parte.

Esta sustancia se encuentra comercialmente en polvo ya lista para su utilización.

## **5.2.4 Desechos**

### **5.2.4.1 Papel periódico**

El tratamiento del papel periódico es bastante simple, es necesario colocar trozos de papel periódico en un recipiente y luego se colocan en agua. Es muy importante rasgar las tiras de papel a mano nunca con tijeras (ya que los bordes del papel presentan una especie de fleco finísimo que por su capilaridad absorbe el agua). Es preferente utilizar hojas con mayor área impresa para hacer los trozos. Se dejan reposar durante un tiempo (48 horas) y se recolecta el agua.

### **5.3 Extracción-destilación de oleorresina**

Este proceso se realizó en la Sección de Química Industrial del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala como parte de una capacitación para conocer el proceso de la extracción de oleorresinas para el análisis químico. Los vegetales que se les sometió a este proceso son:

- *Acanthocereus tetragonus* (Lengua de Vaca)
- *Euphorbia canariensis* (Cardón, Tabaiba salvaje, Olivo)
- *Opuntia cochenillifera* (Cactus cochenillifer, Nopalea cochenillifera)

#### **5.3.1 Oleorresina**

Es una exudación resinosa natural procedente de las plantas, o una preparación líquida natural aromática, extraída de materia botánica usando solventes. Está formada casi en su totalidad por una mezcla de aceite esencial y resina. Se puede decir de igual manera que las oleorresinas son extractos de especias que se obtienen por tratamiento de la droga seca con solventes, tienen el aroma de las plantas en forma concentrada y son típicamente líquidos muy viscosos o sustancias semisólidas consistentes en aceites esenciales y materias resinosas. Las oleorresinas son de empleo más económico, de más fácil control de calidad y más limpias que las especias molidas equivalentes y además son más estables que los aceites esenciales al ser calentadas.

### **5.3.2 Características generales e importancia de las oleorresinas**

Entre las características de las oleorresinas está la uniformidad de sabor, facilidad de su dispersión en los alimentos; logrando uniformidad en el sabor y evitando la presencia de hot points que pueden ocurrir con las especies, fácil almacenamiento y libre de la contaminación característica en los vegetales.

Las ventajas que tienen son la facilidad de dosificación, la posibilidad de homogenizar la calidad, la carencia de problemas por contaminación microbiana, insectos y roedores le proporcionan una mayor estabilidad. Requieren menos espacio para su almacenamiento, manteniéndose estables por periodos largos. Su producción es económica pues no requieren especies de mejor calidad, no existe un valor agregado en la producción (al utilizar desechos o material de grado inferior).

### **5.3.3 Clasificación de las oleorresinas**

Las oleorresinas pueden dividirse en dos grandes grupos:

- Las que se preparan con especias y hierbas por extracción con disolventes volátiles: dentro de ésta categoría se encuentran las oleorresinas de especias, es importante distinguirlas de las acuarresinas, que típicamente se preparan por extracción con alcohol acuoso y no con disolventes. Se utilizan principalmente como agente saporífero en la industria de elaboración de alimentos.
- Las que se preparan a partir de cualquier parte odorífera de la planta, exceptuadas las flores, cuyo empleo principal es la perfumería.

### **5.3.4 Usos de las oleorresinas**

Las principales ramas de la industria que utilizan las oleorresinas son:

- Alimenticia
- Farmacéutica

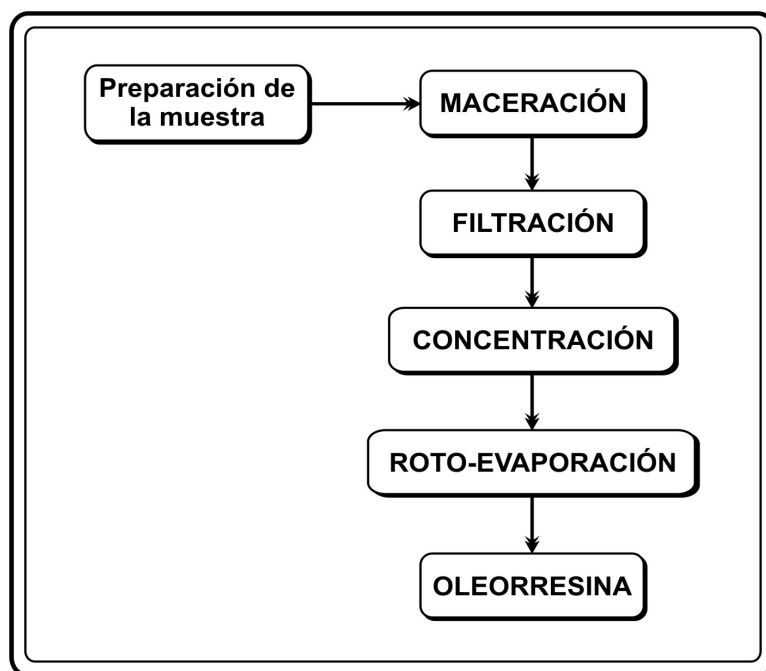
Ahora bien en esta investigación se le dará un enfoque diferente, utilizaremos las oleorresinas como una herramienta de gran ayuda. Para poder clasificar e identificar cada una de estas oleorresinas; como un aporte en la rama de la autoconstrucción ecologista.

### **5.3.5 Proceso de extracción de la oleorresina**

A continuación se presenta un diagrama del proceso que se realizó para llevar a cabo la extracción completa de cada una de las oleorresinas, este se realizó en la Planta Piloto de Extracción-Destilación de la Sección de Química Industrial del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.



**Figura 56.** Diagrama del proceso de extracción de oleorresinas realizado en la Planta Piloto de Extracción-Destilación de la Sección de Química Industrial del Centro de Investigaciones de Ingeniería.



*Fuente: Elaboración propia.*

### **5.3.5.1 Maceración**

Consiste en poner en contacto la materia vegetal y el solvente, durante varios días, con agitación ocasional, es un proceso lento que se conoce como proceso de maceración simple o estática. Cuando se requiere abreviar el tiempo de operación, se recurre a la agitación constante de la especie y el solvente denominándose proceso de maceración dinámica.

Este proceso tiene como resultado el equilibrio entre la especie y el solvente, dependiendo de factores relacionados con la especie como:

naturaleza, tamaño de partícula, contenido de humedad y cantidad. Y factores relacionados con el solvente como: selectividad y cantidad.

La velocidad con la que se obtiene el equilibrio esta en función del tamaño de partícula de la especie, del grado de hinchamiento de las células (proporcionando permeabilidad a la pared celular y la difusión del solvente) y de las propiedades del solvente. El rendimiento del extracto disminuye cuando la relación especie/solvente aumenta.

**Figura 3. Equipo para proceso de lixiviación dinámica (izquierda).**

**Figura 4. Aspas de equipo de lixiviación dinámica (derecha).**



En este equipo es donde se realiza la lixiviación con maceración dinámica. Se colocan 10 libras de materia prima cortada en trozos pequeños (aproximadamente de 3 a 5 cm) y se agregan 100 litros de agua; y se pone a funcionar el equipo durante dos horas.

### **5.3.5.2 Filtración**

Este proceso se realiza con motivo de eliminar pequeñas partículas que todavía quedan después del proceso de maceración; se realiza a través de un

equipo donde se coloca una guata y se enciende la bomba que crea un vacío para poder realizar la filtración. Con un recipiente pequeño se va colocando en el equipo la solución; cada diez recipientes pequeños se vacía el equipo debido a su capacidad.

**Figura 5. Inicio de la colocación de la solución en el equipo de filtración (izquierda).**

**Figura 6. Final de proceso de filtración (derecha).**



**Figura 7. Proceso de descarga del equipo de filtración (izquierda).**

**Figura 8. Bomba que produce el vacío en el equipo de filtración (derecha).**



### 5.3.5.3 Concentración

Este proceso se realiza con motivo de separar el solvente de la oleoresina, se coloca dentro de una marmita enchaqueta y se le inyecta vapor a manera de elevar la temperatura. Este proceso es largo, aunque no hay un tiempo exacto estimado ya que depende la muestra que se este concentrando y del solvente utilizado regularmente lleva de 4 a 5 horas. Para la inyección de calor se necesita la ayuda de una caldera, que tarda aproximadamente 30 minutos en alcanzar la presión de trabajo (120-80 PSI) para producir el vapor necesario. Todo el sistema que se utiliza para la concentración se puede describir de la siguiente forma: cuando la caldera está lista se abre una llave para dejar pasar el vapor; luego se abre la llave para encender la bomba de vacío; esto se realiza con para disminuir el punto de ebullición. El sistema separa el solvente de la sustancia vegetal, y lo transporta por unas tuberías donde es descargada directamente hacia los drenajes, en caso de que sea agua. Al transcurrir el tiempo necesario que es cuando uno de los dos vástagos que posee la marmita (el más corto) se logra ver, se descarga la sustancia vegetal colocándola en una bolsa y colocándole su identificación.

**Figura 9. Marmita con enchaquetado para el proceso de concentración (izquierda).  
Figura 10. Final de proceso de concentración (derecha).**



**Figura 11. Proceso final de concentración (izquierda).**

**Figura 12. Descarga de la solución de concentración (derecha).**



**Figura 13. Caldera Piro tubular utilizada para realizar la concentración.**



Para la realización del proceso de concentración, se emplea una caldera piro tubular para la producción de. Se denominan piro tubulares por ser los

gases calientes procedentes de la combustión de un combustible, los que circulan por el interior de tubos, cuyo exterior esta bañado por el agua de la caldera. Tiene un rendimiento de 3 litros de diesel por hora. Además, la caldera tiene un sistema de tratamiento del agua (tubería morada) donde se le coloca sulfato de aluminio para disminuir la dureza del agua ya que contiene magnesio y calcio.

**Figura 14. Tablero de Control de la Caldera (izquierda).**  
**Figura 15. Quemador de Diesel de la Caldera (derecha).**



#### **5.3.5.4 Roto-evaporación**

Este proceso se realiza a través de un equipo en el cual se coloca la concentración de la sustancia vegetal dentro de una probeta, se sumerge en una solución acuosa y se hace girar lentamente. El equipo esta constituido por un sistema de reciclaje de agua con el cual se puede llevar a cabo la evaporación, además de estar conectado a una bomba de vacío con motivo de disminuir el punto de ebullición. El equipo también cuenta con un condensador que hace posible la separación del solvente de la oleorresina. Este proceso es



bastante tardado aunque no hay un tiempo específico, sino que dependerá de la muestra pero en promedio es de 5 a 6 horas.

**Figura 16. Proceso de roto-evaporación.**



**Figura 17. Condensador (izquierda).**

**Figura 18. Bomba que produce el vacío del proceso de roto-evaporación (derecha).**



**Figura 19. Sistema de reciclaje del agua (izquierda).**

**Figura 20. El equipo marca la temperatura y la velocidad a la que rota; esta se puede manipular (derecha).**



El equipo que se muestra en las figuras 3-20 corresponde a la capacitación realizada para la extracción de oleorresinas, que se llevó a cabo en el Laboratorio Experimental de Extracción de Sustancias Vegetales del Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería.

#### **5.4 Proceso paso a paso de extracción manual o artesanal del mucílago de nopal (opuntia cochenillifera)**

##### **5.4.1 Obtención materia prima**

El primer paso es obtener la materia prima para poder trabajar, lo cual se debe de realizar con mucho cuidado, debido a la dificultad para manipular esta planta.



**Figura 21. Obtención de la materia prima**



#### **5.4.2 Eliminación de espinas**

El método utilizado para la extracción de la baba o mucilago de este nopal consiste en eliminar las espinas de forma manual con un chuchillo, aunque otra forma de hacer esto es colocar las hojas sobre un asador, ya que la llama elimina las espinas.

**Figura 22. Método para eliminación de espinas (izquierda).**

**Figura 23. Método alternativo para eliminación de espinas (derecha).**



### 5.4.3 Corte y colocación

Luego se pican las hojas de nopal como que se fuera a preparar una ensalada y se colocan en un recipiente; se le agrega agua y se deja reposar durante uno o dos días. Después de este tiempo se machacan dentro del recipiente y se cuelan hasta separar todos los sobrantes de las hojas de nopal. Se deja reposar durante un día y está lista para ser utilizada de forma bien concentrada o se puede rebajar con agua.

**Figura 24.** Corte de las hojas de la planta.



### 5.4.4 Resultado final

Al final este proceso luego de dejar reposar varios días la sustancia vegetal dentro de agua se obtiene un líquido viscoso de color amarillo verdoso. El olor que emana no es muy desagradable y la presencia de vectores es poca.

**Figura 25. Sustancia colocada en agua.**



En el anexo I se encuentra un diagrama en el cual se presenta el proceso de extracción del mucílago de Nopal (*Opuntia Cochenillifera*) de una forma más comprensible y detallada.



## **6. CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES**

### **6.1 Clasificación e identificación de los materiales**

La caracterización de las muestras no será de manera profunda, sin embargo, se tendrán aspectos importantes en consideración. Dependiendo de la categoría que se necesite caracterizar, abarcamos aspectos taxonómicos, químicos y propiedades físicas. Respecto a la manera de lograr la caracterización trabajamos conjuntamente con el Laboratorio de Química y el Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala; en lo referente a aspectos taxonómicos recurrimos a la Facultad de Agronomía. Teniendo reunida la información proveniente de las distintas fuentes procederemos a clasificar e identificar las muestras.

Debido a que este tipo de procesos lleva tiempo seguiremos utilizando los nombres comunes o propios del lugar para referirnos a las muestras.

### **6.2 Nomenclatura**

Para facilitar la identificación de las muestras y mezclas posteriormente, se creó una nomenclatura que se presenta a continuación:

**Tabla I. Nomenclatura utilizada para la identificación de las mezclas.**

<b>MATERIAL</b>	<b>NOMENCLATURA</b>
NOPAL	NPL
LENGUA DE VACA	LV
OLIVO	OLV
LINAZA	LNZ
CENIZA	CNZ
ASERRIN	ASR
CASEINA (1er. Proceso)	CSN(1)
CASEINA (2do. Proceso)	CSN(2)
ESTIERCOL	EST
SANGRE	SNG
CLARA DE HUEVO	CDH
COLA DE CERDO	CDC
CERA DE ABEJA	CA
SEBO	SB
BORAX	BRX
SILICATO DE SODIO	SDS
CARBONATO DE SODIO	CDS
CAL	CL
ARCILLA	ARC
ARENA	ARE
PAPEL PERIÓDICO	PP

*Fuente: Elaboración propia.*

### **6.3 Clasificación Taxonómica de tres sustancias vegetales, según Herbario de la Facultad de Agronomía**

#### **6.3.1 Acanthocereus tetragonus (Lengua de vaca)**

Es una especie botánica de plantas en la familia de las Cactaceae. Es una especie rara en las colecciones. Es un cactus rampante, de vez en cuando columnar y arbustos, los troncos mayores se redondean; hasta 6 metros de

largo o de altura, tiene de 3 a 5 ángulos, con areolas de alrededor de 2.5 cm; con espinas de color gris oscuro, una o más centrales y de 6 a 8 de radiales. Las flores son de color verde claro con lana de color marrón en el exterior y color púrpura crema por dentro. Florece en la noche en el final del verano. Las flores son seguidas de frutos comestibles de 2.5 cm de color rojo. Posee diferentes nombres: cardón, Pitahaya Anaranjada, Barbed-Wire Cactus. El hábitat natural de esta especie son los bosques secos, áreas rocosas, acantilados y ecosistemas costeros. Su floración se puede observar en época de abril a mayo y su fructificación de abril a junio. Algo muy interesante que mencionar de esta especie es que sus flores sólo se abren en la noche, generalmente al atardecer y son polinizadas por murciélagos.

**Figura 26.** Lengua de Vaca (*Acanthocereus tetragonus*). Aldea El Tule, Municipio de Quesada, Jutiapa, 2009.



### **6.3.2 Euphorbia canariensis (Olivo)**

Pertenece a la familia Euphorbiaceae (Euforbiáceas) y tiene su origen en las Islas Canarias (España). Es un arbusto suculento ramificado y cactiforme que puede alcanzar hasta 10 m de altura; con un crecimiento relativamente

lento. Forma grandes colonias que llegan a medir 3 a 4 m de altura y que están constituidas por incluso 400 o 500 tallos originarios de la ramificación basal de uno central. Sus tallos erectos de 5 a 6 cm de grosor, con 5 aristas, aunque pueden verse ejemplares con 4 ó 6. Los costados son planos y las aristas son agudas y poseen prominencias en toda su longitud, acabando cada una de estas prominencias en dos agujones de 4 a 5 mm de longitud. Espinas apareadas sobre una base dilatada, dispuestas a lo largo de las costillas. Flores pequeñas, rojo-marrón. Su látex es sumamente venenoso, puede provocar daños en los ojos y en la piel; además era usado por los aborígenes para facilitar la pesca en los charcos al envenenarlos con él. Es conocido por varios nombres como cardón, candelabro y tabaiba salvaje. Este tipo de vegetación es propia de zonas áridas y secas.

**Figura 27. Olivo (*Euphorbia Canariensis*). Aldea El Tule, Municipio de Quesada, Jutiapa, 2009.**





### **6.3.3 Opuntia cochenillifera (Nopal)**

Es una especie de planta de flores perteneciente a la familia Cactaceae. Es nativa de Norteamérica en México. Es un arbusto arbolado con hojas carnosas armadas de espinos, de color verde y flores de color rojo. Son plantas muy rústicas y ramificadas, con ramas muy extendidas o inclinadas. Los segmentos son característicos del género, con apariencia de hoja carnosa, planos y generalmente ovales; poseen la capacidad de convertirse en tallos y a su vez emitir nuevos segmentos y flores. Otra peculiaridad son los gloquidios alrededor de las areolas; cojincillos de diminutas y finas espinas (como cabellos) que dan a algunas especies aspecto afelpado. Es un cactus arborescente terrestre y muy ramificado, de 2 a 4 m de altura con tallos aplanados, de 12 a 33 por 6 a 11 cm. Posee flores con un tubo corto, de rojizas a verde-rojizas, de 4.5 a 6 cm de largo. Sus frutos son rojos al madurar, sin espinas, de 2.5 a 4 cm de largo, sin pelos en las areolas. El manejo de esta especie se debe hacer con mucho cuidado, ya que estas espinillas se desprenden al simple roce y cuando entran en contacto con la piel producen comezón y enrojecimiento. Posee diferentes nombres como Cactus Cochenillifer y Nopalea Cochenillifera. Su hábitat son los bosques secos y bosques húmedos. Su floración se puede observar de marzo a agosto, aunque en algunas zonas a través de todo el año.

Químicamente el mucílago de esta planta es conocido con los nombres de polisacáridos, carbohidratos, glúcidos, hidratos de carbono y sacáridos que por hidrólisis origina los monosacáridos de D-galactosa, L-araginoso, L-ramnosa y D-xilosa. Son solubles en agua, dando soluciones coloidales de gran viscosidad, incristalizable, que entre otras aplicaciones sirve para adherir o pegar las arcillas deleznable de los adobes, pequeños terrones, fragmentos de

cerámica, pigmentos de pintura mural, consolida estucos coloniales de cal y arena, pega fragmentos de concha, pergamino y papel.

**Figura 28.** Nopal (*Opuntia cochenillifera*). Aldea El Tule, Municipio de Quesada, Jutiapa, 2009.



## **6.4 Otras sustancias vegetales**

### **6.4.1 Linaza**

Es la semilla de la planta *Linum usitatissimum* (planta herbácea de la familia de las lináceas). Esta planta se cultiva casi en todos los climas. La semilla es usada para consumo humano. De la semilla se extrae el aceite de linaza, el cual es rico en ácidos grasos de las series Omega 3, Omega 6, y Omega 9. Este aceite es usado además en la industria cosmética, en la

fabricación del linóleo y en la dilución para pintura de telas. La calidad de este varía tanto con la calidad de la materia prima empleada como con los procesos de prensado empleados para su extracción. Se pueden diferenciar básicamente el aceite obtenido en frío, de mayor calidad, del obtenido con ayuda de temperatura. La calidad varía fundamentalmente en función del contenido de mucílagos. La linaza es una pequeña semilla proveniente de la planta de lino con propiedades nutricionales interesantes y efectos potencialmente beneficiosos para la salud. Un 30% de la semilla de linaza se compone de fibra dietética de la cual una tercera parte es fibra soluble y el resto fibra insoluble.

**Figura 29. Planta *Linum usitatissimum* (izquierda).  
Figura 30. Semilla Linaza (derecha).**



A continuación se muestra la composición química de las semillas de linaza, referida a 100 g de producto (AGS: ácidos grasos saturados; AGM: ácidos grasos monoinsaturados; AGP: ácidos grasos poliinsaturados).

**Tabla II. Composición química de las semillas de linaza**

Energía (kcal/cJ)	Grasas (g)	AGS (g)	AGM (g)	AGP (g)	Proteínas (g)	Carbohidratos (g)	Fibra (g)	Magnesio (g)
34.0	3.2	6.9	22.4	19.5	34.3	27.9	362	199

Fuente: Nutritional Aspects of Oilseeds. McKeivith B. 2005. Nutrition Bulletin 30.

#### **6.4.2 Aserrín**

Es un producto altamente estable, y aunque tiene ciertos usos (producción de tabique, combustible, cama para corrales y producción de papel), actualmente no hay alternativas para su uso a gran escala. Según algunas investigaciones concluyen que el aserrín de pino posee un 94% de materia seca y 0.62% de proteína cruda aproximadamente. Estos datos confirman que el aserrín es una fuente exclusiva de carbohidratos estructurales, con un aporte casi nulo de proteínas o minerales. Es posible obtenerlo en cualquier aserradero a un precio relativamente bajo o sin costo alguno.

#### **6.4.3 Ceniza**

La ceniza es el producto de la combustión de algún material, compuesto por sustancias inorgánicas no combustibles, como sales minerales. Parte queda como residuo en forma de polvo depositado en el lugar donde se ha quemado el combustible (madera, basura, etc.) y parte puede ser expulsada al aire como parte del humo. La ceniza de plantas (madera, rastrojos, etc.) tiene un alto contenido de potasio, calcio, magnesio y otros minerales esenciales para ellas. Como suele ser muy alcalina, se puede mezclar con agua y dejarla un tiempo al aire para que capture el CO<sub>2</sub> ambiental y se neutralice en parte.

## **6.5 Sustancias animales**

### **6.5.1 Clara de huevo**

La clara aporta las dos terceras partes del peso total del huevo, se puede decir que es una textura casi transparente que en su composición casi el 90% se trata de agua, el resto es proteína, trazas de minerales, materiales grasos, vitaminas (la riboflavina es la que proporciona ese color ligeramente amarillento) y glucosa. Las proteínas de la clara están presentes para defender al huevo de la infección de bacterias y otros microorganismos, su función biológica es la de detener agresiones bioquímicas del exterior.

Las proteínas incluidas en la clara del huevo son:

- La ovomucina que hace el 2% de la albúmina proteínica existente en el huevo, a pesar de ello son el ingrediente que mayores propiedades culinarias tiene debido a que es la responsable de cuajar el huevo frito y pochado. Su misión biológica es la de ralentizar la penetración de los microbios.
- La ovoalbúmina es la más abundante del huevo (y es la proteína que primero se cristalizó en laboratorio, en el año 1890) se desnaturaliza fácilmente con el calor.
- La conalbúmina que hace el 14% del total de las proteínas de la clara de huevo.
- El ovomucoide (glicoproteína termoestable) que alcanza una proporción del 2%

La clara de huevo, es una mezcla homogénea coloidal, En virtud de ser un coloide, presenta un fenómeno muy particular de dispersión de la luz, llamado efecto Tyndall

### **6.5.2 Sangre (de toro)**

La sangre es un líquido de color rojo escarlata, localizado en el sistema circulatorio del organismo animal. Es un producto que se obtiene después del sacrificio de estos animales, la cual se considera apta para consumo humano una vez se somete previamente a un tratamiento. Aproximadamente por cada 100 kg de peso vivo se obtienen 60 litros de sangre, de los que durante el desangrado, se recoge aproximadamente el 50%. La sangre esta formada por el plasma, que es un componente rico en proteínas, en el que están suspendidos los elementos celulares como eritrocitos, leucocitos y trombocitos. Los glóbulos rojos tienen forma de discos, no poseen núcleos y son elásticos. Estos glóbulos contienen el pigmento sanguíneo llamado hemoglobina. Los glóbulos blancos son células que poseen núcleo pero no tienen membrana ni color y son mucho menos abundantes que los eritrocitos. En el plasma se encuentran además de las sales sanguíneas (fosfato potásico, cloruro sódico y pocas sales de Ca, Mg y Fe), una gran cantidad de proteínas, entre las que se destaca la albúmina, diversas globulinas y el fibrinógeno. Los compuestos nitrogenados de bajo peso molecular de la sangre son principalmente urea y en menor concentración aminoácidos, ácido úrico, creatina, y creatinina.

A continuación se presenta una tabla con la composición química aproximada de sangre (g/100g porción):

**Tabla III. Composición química de la sangre de animales vacunos.**

	Agua	Proteína*	Grasa	Carbohidratos	Energía (kJ)
<b>Sangre (Vacuno)</b>	<b>80.5</b>	<b>17.3</b>	<b>0.13</b>	<b>0.065</b>	<b>335</b>

\* 1.2 g de globulinas, 2.3 g de albúminas y 13.8 g de hemoglobinas

*Fuente: BELITZ, H.D y GROSCH, W.. Química de los alimentos. Zaragoza (España): Acribia, 1997, p. 636*

### **6.5.3 Caseína (suero)**

La palabra caseína proviene del latín caseus que significa "queso". Es una fosfoproteína (un tipo de heteroproteína); que es una sustancia orgánica nitrogenada cuya molécula también posee el elemento fósforo. Esta presente en la leche y en algunos de sus derivados (productos fermentados como el yogur o el queso). En la leche, se encuentra en la fase soluble asociada al calcio (fosfato de calcio) en un complejo que se ha denominado caseinógeno. Las caseínas son un conjunto heterogéneo de proteínas por lo que es difícil fijar una definición; sin embargo, todas las proteínas englobadas en lo que se denomina caseína tienen una característica común: precipitan cuando se acidifica la leche a pH 4,6. Se obtiene coagulando leche descremada con ácido clorhídrico diluido, de esta forma se imita la acidificación espontánea. La secuencia aminoacídica de la caseína contiene un número inusual de residuos del aminoácido prolina. Como resultado, las caseínas son relativamente hidrofóbicas (poco soluble en agua) y carecen de estructura secundaria o terciaria bien definidas.

#### 6.5.4 Estiércol

Se le denomina así a los excrementos de los animales, en ocasiones el estiércol está constituido por excrementos de animales y restos de las camas, como sucede con la paja. El excremento son los restos de los alimentos no absorbidos por el tubo digestivo (como fibras y otros componentes que no son útiles para el ser en cuestión), y también células del epitelio intestinal que se descaman en el proceso de absorción de nutrientes, microorganismos, y otras sustancias que no logran atravesar el epitelio intestinal. La composición del estiércol estará en función de varios aspectos, como la dieta del animal, la procedencia, el establo, entre otras.

A continuación se presenta una tabla con una composición media porcentual del estiércol de caballo, están calculados sobre la base de materia seca:

**Tabla IV. Composición media porcentual de estiércol de caballo**

<b>COMPONENTE</b>	<b>EQUINO</b>
<b>Materia Orgánica</b>	<b>46.0</b>
<b>Nitrógeno</b>	<b>1.44</b>
<b>Fósforo</b>	<b>0.53</b>
<b>Potasio</b>	<b>1.75</b>

*Fuente: <http://www.donmanuel.s5.com/compostaje1.htm>*



### 6.5.5 Sebo

El sebo bovino se prepara mediante la fusión de las partes más ricas en grasas de reses vacunas sacrificadas, sobre todo de la grasa de mesenterio, de tela, de riñón y de intestinos. El producto es una masa de color blanco o ligeramente amarillento y algunas veces, si los animales estaban pastando tiene a causa del contenido en carotina, un color amarillo. La mejor clase que se ha obtenido mediante fusión a temperatura no demasiado alta de grasas selectas y frescas se denomina sebo comestible. Se distingue entre el sebo prensado, que es la parte sólida del sebo que se funde a temperaturas más altas, que se obtienen por prensado a 26 o 27°C de la grasa parcialmente solidificada, y oleomargarina, que es la fracción de bajo punto de fusión que se obtiene del sebo fino de bovino después de haber separado el sebo prensado. Aunque la mayor parte del sebo de bovino se utilice con fines técnicos (fabricación de jabón, estearina y velas), una parte considerable se emplea también como grasa para cocción y asado.

En la siguiente tabla se presenta una composición de los ácidos grasos del sebo bovino:

**Tabla V. Composición ácidos grasos del sebo bovino**

C número par de átomos de carbono	% ácidos grasos saturados			% ácidos grasos no saturados			
	C4 - C10	C12 - C14	C14 - C16	Oleico	Linólico	Linoleico	Superiores
Sebo de bovino	---	2-6	45-55	35-50	1-3	---	0.5

*Fuente: El empleo del frío en la industria de la alimentación. Escrito por R. Plank, Rafael*

### **6.5.6 Cola animal**

El termino cola animal, se aplica generalmente a colas preparadas a partir de colágeno de mamíferos, proteína principal del cuero, huesos y tendones. La composición química del colágeno obtenido a partir de una gran variedad de mamíferos terrestres varía muy poco. Esto es cierto igualmente tanto si se parte de huesos como de cuero. La mayor parte de colas animales se fabrican basándose en huesos o cueros de ganado. Se clasifican en dos tipos principales: cola de huesos y cola de cuero. La diferencia entre ambos tipos se debe principalmente a los diferentes métodos de tratamiento.

#### **6.5.6.1 Cola de huesos**

El colágeno de huesos solo puede convertirse en gelatina de alto peso molecular después de la limpieza y desmineralización con ácidos. Si los huesos se tratan sin desmineralización se obtiene un material de peor calidad: la cola de huesos.

Los huesos se desengrasan en primer lugar, bien exponiéndolos al vapor de disolventes en ebullición, tales como bencina, o en los procesos mas modernos, mediante impulsos mecánicos transmitidos a través del agua fría. El proceso de desengrase en frío perjudica menos al colágeno y hace posible la obtención de productos de mayor peso molecular. Después de la limpieza mecánica (pulido) los huesos desengrasados se trasladan a autoclaves y se trasladan alternativamente con vapor a presión y agua caliente, durante varios ciclos. El vapor convierte el colágeno en cola y el agua la extrae de los huesos. De esta forma se obtiene la cola como una sucesión de soluciones diluidas.

Estas pueden mezclarse o emplearse para extraer en contracorriente subsiguientes series. Las primeras soluciones, que se han expuesto al mínimo calor, dan las colas de más alta calidad.

#### **6.5.6.2 Cola de cuero**

La mayor parte del cuero usado en la fabricación de cola y gelatina es el desecho de las fábricas de curtidos, donde recibe un corto tratamiento con agua saturada de cal. Los trozos de cuero que pueden dar origen a gelatinas de alta calidad reciben un tratamiento posterior con cal. Después de la separación de la cal con agua y ácido, se hacen algunas extracciones con agua a temperaturas crecientes para obtener una serie de soluciones diluidas. Los últimos de estos proporcionan gelatina técnica o cola de cuero. Gran parte de la cola de cuero se obtiene directamente de los desechos de las fábricas de curtidos, sin tratamiento posterior con cal, en especial de las raspaduras de la parte interior del cuero, llamadas descarnaduras. Este material debe ser tratado con agua a temperatura relativamente alta para obtener soluciones de cola.

Las colas contienen normalmente alrededor de un 15% de agua y de 1 a 4% de sales inorgánicas. Pueden contener también una pequeña cantidad de grasa. La principal impureza de alto peso molecular se ha identificado como un complejo mucoproteico coagulable por el calor. La cola de huesos puede contener hasta un 6% de este material. Estas impurezas no tienen importancia o muy poca, para la mayoría de los usos de la cola. Las propiedades dependen del mayor constituyente proteínico derivado de la ruptura del colágeno.

**Figura 31. Cola del cuero del cerdo.**



### **6.5.7 Cera de Abeja**

La cera de abejas es un producto de la colmena que es secretado por las abejas de 12 a 18 días de edad, a partir de las glándulas cereras ubicadas entre el sexto y el noveno segmento abdominal. Para producir 1kg de cera las abejas deben consumir entre 6 y 7 kg de miel. Como toda sustancia natural, la composición de la cera de abejas es bastante variable y compleja. La cera pura de *Apis mellífera* está compuesta, al menos, por 284 compuestos diferentes. No todos han sido identificados pero cerca de 111 son volátiles. Alrededor de 48 compuestos contribuyen al aroma de la cera. Cuantitativamente, los compuestos mayoritarios son monoésteres saturados e insaturados, diésteres, hidrocarburos saturados e insaturados e hidroxipoliésteres.

La cera virgen, inmediatamente después de ser secretada, elaborada y formada es de color blanco. A lo largo del tiempo de utilizada en los panales va adquiriendo un color más oscuro debido a la incorporación de polen, propóleos, mudas y restos anatómicos. El punto de fusión no es constante ya que la

composición varía levemente según su origen. Varias farmacopeas establecen un rango de 61-66°C, o más comúnmente 62-65°C. El punto de fusión de las cera de tres especies de abejas Melipónidas están en un rango de 64.6 a 66.5°C. La densidad relativa a 15°C es 0.958-0.970 g/cm<sup>3</sup>. La cera es un material inerte con alta plasticidad a temperatura relativamente baja (alrededor de 32°C). La cera de abeja es también insoluble en agua y resistente a varios ácidos, pero es soluble en la mayoría de los solventes orgánicos tal como éter, bencina, benzol, cloroformo, etc. y después del calentamiento, en alcohol y ácidos grasos.

## **6.6 Compuestos químicos**

### **6.6.1 Bórax**

También conocido como Borato de sodio o Tetraborato de sodio es un compuesto importante del boro. La palabra bórax proviene del árabe “buraq” que significa: blanco. Es un cristal blanco y suave que se disuelve fácilmente en agua. Si se deja reposar al aire libre, pierde lentamente su hidratación y se convierte en tincalconita. El bórax comercial generalmente se deshidrata en parte. El bórax se origina de forma natural en los depósitos de evaporita producidos por la evaporación continua de los lagos estacionarios. El bórax tiene un comportamiento anfótero en solución, lo que permite regular el pH en disoluciones y productos químicos en base acuosa. La disolución de ambas sales en agua es lenta y además relativamente a baja concentración (apenas un 6%).

Se disuelve en agua para formar una solución antiséptica alcalina que se utiliza como desinfectante, detergente y suavizador de agua. También se utiliza en la fabricación de cerámica, pintura, vidrio y papel revestido.

### **6.6.2 Silicato de sodio**

También conocido como silicato sódico o vidrio soluble, es una sustancia inorgánica, que se encuentra en soluciones acuosas y también en forma sólida en muchos compuestos, entre ellos el cemento, impermeabilizadores, refractores, y procesos textiles. Se forma cuando el carbonato de sodio y el dióxido de silicio reaccionan formando silicato de sodio y dióxido de carbono.

### **6.6.3 Carbonato de sodio**

Es una sal blanca y translúcida, usada entre otras cosas en la fabricación de jabón, vidrio y tintes. Es conocido comúnmente como barrilla, natrón, soda Solvay, Ceniza de Soda y sosa (no confundir con la sosa cáustica). Es estable siempre y cuando no se lo junte con metales alcalinotérreos, aluminio, compuestos orgánicos nitrogenados, óxidos no metálicos, ácido sulfúrico concentrado, óxidos del fósforo.

Es usado para tostar (calentar bajo una ráfaga de aire) el cromo y otros extractos; disminuye el contenido de azufre y fósforo de la fundición y del acero. En la fabricación de detergentes, el carbonato de sodio es indispensable en las formulaciones al objeto de asegurar el correcto funcionamiento del resto de sustancias que lo componen, enzimas, tensioactivos, etc. durante las diferentes fases del lavado. No es de menos importancia el empleo del carbonato de sodio

en aquellos procesos en los que hay que regular el pH de diferentes soluciones, nos referimos al tratamiento de aguas de la industria, así como en los procesos de flotación. Cerámica, jabones, limpiadores, ablandador de aguas duras, refinación de petróleos, producción de aluminio, textiles, pulpa y papel.

## **6.7 Desechos**

### **6.7.1 Papel periódico**

El papel periódico se elabora en base a la pasta de celulosa obtenida del Pino Insigne o variedades similares. Para elaborar una tonelada de pasta se necesita talar 17 árboles, lo que obliga a los fabricantes a una permanente resiembra de pinos.

La impresión offset o litografía, comprende el desarrollo de cuatro etapas fundamentales. Estas etapas son: Procesamiento de imagen, desarrollo de placas, impresión y acabado.

Durante el procesamiento de imagen las placas son sumergidas en un revelador, el cual convierte los haluros de plata en plata metálica, en proporción a la cantidad recibida. Los reveladores comúnmente están constituidos por derivados de benceno: pirogalol, hidroquinona, catecol, p-aminofenol, metol, amidol, piramidol, los cuales contienen dos grupos hidroxilo, dos grupos amino o uno de ellos. Los dos agentes reveladores más usados son la hidroquinona y el metanol. En general, los reveladores contienen sustancias aceleradoras, preservantes e inhibidores. El acelerador es un material alcalino tal como el hidróxido de sodio, carbonato de sodio, bórax, los cuales aumentan la actividad

del revelador por neutralización del ácido formado durante el proceso de revelado. Los preservantes tales como el sulfito de sodio, reducen el daño causado por los reveladores. Los inhibidores utilizados, tales como bromuro de potasio, reducen la formación de nieblas en las imágenes. La acción de los reveladores es detenida con la inmersión de la película en un baño de fijación, en base a tiosulfato de sodio, tiosulfato de amonio o hiposulfito de sodio. Estos convierten los haluros de plata de la emulsión fotográfica a complejos solubles. El tiosulfato de sodio es el componente mayor de los baños de fijación, en donde además pueden estar presentes, ácido acético, sulfito de sodio y ácido bórico.

## **6.8 Minerales**

### **6.8.1 Arcilla**

Está constituida por agregados de silicatos de aluminio hidratados, procedentes de la descomposición de minerales de aluminio. Presenta diversas coloraciones según las impurezas que contiene, siendo blanca cuando es pura. Surge de la descomposición de rocas que contienen feldespato, originada en un proceso natural que dura decenas de miles de años. Físicamente se considera un coloide, de partículas extremadamente pequeñas y superficie lisa. El diámetro de las partículas de la arcilla es inferior a 0,002 mm. En la fracción textural arcilla puede haber partículas no minerales, los fitolitos. Químicamente es un silicato hidratado de alúmina.



### **6.8.2 Cal**

Es óxido de calcio, conocido químicamente como calcia, se presenta en gran abundancia en la naturaleza, principalmente en combinaciones con el dióxido de carbono en forma de carbonato de calcio, piedra caliza, mármol, tiza, coral y conchillas. Se obtiene calcinando piedra caliza en un horno común o rotatorio a 540°C, con lo cual se elimina el gas de dióxido de carbono. El residuo se llama cal viva o cal cáustica. La cal hidratada se hace moliendo la cal viva, apagando el polvo en agua y transformándolo luego en un polvo fino. Este material, al igual que el cemento, se combina con arenas, limos, arcillas, puzolanas y demás para formar algún tipo de revestimiento.

### **6.8.3 Arena**

Es un conjunto de partículas de rocas disgregadas. En geología se denomina arena al material compuesto de partículas cuyo tamaño varía entre 0,063 y 2 mm. Una partícula individual dentro de este rango es llamada grano de arena. Se le encuentra en ríos, puede ser extraída de canteras a base de trituración y existen también bancos ubicados en posiciones geológicas determinadas. La arena de río contiene muy a menudo proporciones relativamente grandes de grava o arcilla. Las arenas estando limpias no se contraen al secarse, no son plásticas, son menos compresibles que la arcilla y si se aplica una carga en su superficie se comprimen casi de manera instantánea.

## 6.9 Caracterización del suelo

### 6.9.1 Gravedad Específica

Este ensayo consiste en el peso relativo de un material respecto a otro tomado como base, en este caso el agua. El procedimiento utilizado de acuerdo con la norma ASTM C-127-01 “Método de ensayo estándar para densidad, gravedad específica y absorción del agregado grueso” se describe a continuación:

- Se utilizan dos matraces de capacidad de 500 ml
- 70 gramos de material
- Se pesan los matraces vacíos. ( $W_m$ )
- Se pesa el matraz mas suelo seco. ( $W_{ms}$ )
- Se agrega agua al matraz con el suelo seco hasta un límite que permite agitar la mezcla y expulsar los vacíos que puede tener el material agitando el matraz por 5 minutos.
- Se llena el matraz con material y agua hasta la capacidad nominal y se toma el peso. ( $W_{msw}$ )
- Se pesa el matraz agregándole agua a la capacidad nominal del matraz, en este caso 500 ml. ( $W_w$ )
- Se hace una relación de todas las variables antes mencionadas de la siguiente forma:

$$GS = W_s / (W_s + W_{mw} - W_{msw})$$

En donde:

GS = Gravedad específica del material

$W_s$  = Peso del suelo seco

$W_{mw}$  =      Peso del matraz mas agua

$W_{msw}$  =      Peso del matraz mas suelo mas agua

### **6.9.2 Análisis granulométrico por Método del Hidrómetro**

Este ensayo tiene la finalidad de clasificar el suelo por los diferentes porcentajes que contenga de los diferentes diámetros de suelo existentes dentro del mismo. El ensayo genera porcentajes de arenas, limos y arcillas que el suelo contiene. El análisis se realizó según la norma ASTM C-33-67 “Especificaciones estándar para agregados de concreto”.

El ensayo del hidrómetro se realiza de la siguiente manera:

- Se toman exactamente 70 gramos de suelo secado al horno y pulverizado, y se mezclan con 125 ml de solución al 4% de  $\text{NaPO}_3$ . Una solución de 4% de meta fosfato de sodio puede hacerse mezclando 40 g de material seco con suficiente agua hasta completar 1000 ml. La solución debe ser siempre fresca y en ningún caso haber sido preparada con un mes de anterioridad.
- Dejar asentar la muestra de suelo cerca de una hora (la ASTM sugiere 16 horas para suelos arcillosos, pero esto generalmente es innecesario). Transferir la mezcla al vaso de una máquina batidora y mezclarlo durante un minuto.
- Transferir el contenido del vaso a una probeta graduada de 1000 ml.
- Se toma un tapón de gaucho, inmediatamente insertar el hidrómetro y tomar lecturas con los siguientes intervalos de tiempo: 3, 5, 15, 30, 60, 300 y 1440 minutos.

- Las lecturas que deben tomarse serán dadas por el hidrómetro y la temperatura correspondiente.
- Con los datos obtenidos en las lecturas se procede a los cálculos que no se describen por ser muy extensos.

Aproximadamente el ensayo dura 24 horas, luego de obtenidas las lecturas del hidrómetro, se procede a lavar el material utilizado en el ensayo; este lavado se hacen en un tamiz No. 200. El material retenido en el tamiz se deja secar en un horno a una temperatura adecuada. El material lavado ya seco, se tamiza por cinco minutos por los tamices 10, 40, 80 y 200 para luego utilizar los resultados de peso obtenido en el material retenido en cada tamiz para elaborar la tabla, según la norma.

### **6.9.3 Límites de Atterberg**

El procedimiento para la realización del ensayo para determinar los límites de Atterberg en suelos plásticos, se presenta a continuación:

Primero se calcula el límite líquido, según la norma ASTM 423-66 donde describe el procedimiento estándar para el cálculo del Límite Líquido:

Se toman unos 100 g de material que pasa por la malla No. 40, se colocan en una cápsula de porcelana y con una espátula se hace la mezcla pastosa, homogénea y de consistencia suave agregándole una pequeña cantidad de agua durante el mezclado. Esta mezcla se deja húmeda por aproximadamente 24 horas para luego seguir con el ensayo, esto se hace con la finalidad que todas las partículas de suelo queden completamente húmedas y saturadas para que no haya ninguna irregularidad en el ensayo.

- Un poco de esta mezcla se coloca, con una espátula, en la copa de Casagrande, formando una torta alisada de un espesor de 1 centímetro en la parte de máxima profundidad. Una altura mayor de 1 centímetro disminuye el valor del límite líquido, y una altura menor aumenta dicho valor.
- El suelo colocado en la copa de Casagrande se divide en la parte media en dos proporciones, utilizando para ello un ranurador. El ranurador deberá mantenerse, en todo el recorrido, normal a la superficie de la copa. El movimiento del ranurador debe ser de arriba hacia abajo. Con cierta práctica se adquiere soltura para que, en un suelo arcilloso bien mezclado, se pueda hacer la ranura con una pasada del ranurador trapecial. En los suelos arenosos, es preferible hacer uso del ranurador laminar en vez del trapecial, ya que este último al ranurar no rebana al suelo sino que lo desplaza, lo que provoca que se rompa la adherencia entre el suelo y la copa y que los resultados sean correctos. En los suelos arenosos la profundidad del surco debe incrementarse en cada pasada del ranurador laminar, y solo en la última pasada debe rascarse en el fondo de la copa. Cuando no se pueda hacer la ranura ni siquiera con el ranurador laminar, es necesario entonces hacer la ranura con una espátula y comprobar las dimensiones con el ranurador.
- Hecha la ranura sobre el suelo, se acciona la copa a razón de dos golpes por segundo, contando el número de golpes necesarios para que la parte inferior del talud de la ranura hecha se cierre precisamente a 1.27 centímetros (1/2"). Si la ranura no se cierra a los 1.27 centímetros entre los 6 y 35 golpes, se recoge el material de la copa, se añade agua y se vuelve a mezclar, o sea seca la muestra hasta que alcance una consistencia dentro de este intervalo.

- Cuando se ha obtenido un valor consistente del número de golpes, comprendido entre 6 y 35 golpes, se toman unos 10 g aproximadamente del suelo de la zona próxima a la ranura cerrada y se determina el contenido de agua de inmediato. Se repite el ensaye y si se obtiene el mismo numero de golpes que en el primero o no hay diferencias en más de un golpe, se anotarán ambos números en la hoja de datos. Si la diferencia es mayor de un golpe, se repite el ensayo hasta tres veces, consecutivos den una conveniente serie de número, tales como 10-12-10, 30-28-30.
- Se repiten los pasos del 2 a este, teniendo el suelo otros contenidos de humedad. Para humedecer el suelo se hace uso de un gotero, remoldeando la mezcla hasta que el agua añadida quede uniformemente incorporada. Para secar el suelo se usa la espátula remezclando el suelo para producir evaporación. De ninguna manera debe secarse el suelo añadiendo suelo seco a la mezcla sometiéndola a algún proceso de evaporación violenta. De este modo deberá tenerse, por lo menos, dos grupos de dos a tres contenidos de humedad, uno entre los 25 y 35 golpes y otro entre los 6 y los 20 golpes, con el fin de que la curva de fluidez no se salga del intervalo en que pueda considerar recta, según lo indica Casagrande.
- Se unen los dos o tres puntos marcado para el intervalo entre 6 y 20 golpes con una línea recta y se señala el punto medio. Se repite para los dos o tres puntos dentro del intervalo de 25 a 35 golpes.
- Se colocan los dos puntos medios con una línea recta que se llama curva de fluidez. El contenido de humedad indicado por la intersección de esta línea con la de los 25 golpes es el límite líquido del suelo.

Partiendo de la hipótesis de que la pendiente de la relación número de golpes a contenido de agua representada a escala semilogarítmica es una línea recta, en la cual el límite líquido puede ser obtenido a partir de cualquier punto de la curva, Lambe ha sugerido el empleo de la siguiente expresión:

$$L.L. = w(N/25)^{0.121}$$

En donde:

L.L. = Límite líquido calculado del suelo

w = Porcentaje de humedad arbitraria del suelo con respecto al peso seco

N = Número de golpes necesarios para cerrar la ranura en la copa de Casagrande correspondiente a w.

Como puede observarse, la ecuación de Lambe permite calcular el límite líquido de un suelo con base en un solo punto del método mecánico. Esto elimina tiempo y además, la variable operador.

La fórmula de Lambe puede ser usada con suficiente grado de precisión en el cálculo de límite líquido de un suelo, siempre y cuando se amase la pasta de un suelo con un contenido de humedad tal que se cumpla la condición, imprescindible, de que N este comprendido entre 20 y 30.

Para facilitar el empleo de la fórmula, esta se puede simplificar así:

$$L.L. = w.F$$

Donde: F = factor de corrección

Para la realización de este ensayo, se utilizo la siguiente tabla:

**Tabla VI. Factor de corrección para calcular el límite líquido.**

<b>N</b>	<b>F</b>
20	0.9734
21	0.9792
22	0.9847
23	0.9900
24	0.9951
25	1
26	1.0048
27	1.0094
28	1.0138
29	1.0182
30	1.0223

*Fuente: Crespo Villalaz, Mecánica de Suelos y Cimentaciones. Pag. 76*

Para fines de práctica, el procedimiento usado para determinar el límite líquido en el laboratorio consisten en que, estando el material en la copa de Casagrande con la ranura hecha como ya se ha indicado con el procedimiento normalizado, de dar 25 golpes y ver si la ranura se cierra los 12.7 milímetros. En caso contrario, se recoge el material de la copa, se agrega agua a la pasta o se seca, según sea el caso, y se repite el proceso hasta conseguir que con los 25 golpes la ranura se cierre en su base los 12.7 milímetros especificados. Cuando esto suceda se extrae de la muestra una determinada cantidad, se coloca en un recipiente adecuado, se pesa, se seca en un horno a temperatura constante y se vuelve a pesar una vez sea. El límite líquido se calcula así:



$$\text{L.L.} = ((\text{Ph} - \text{Ps})/\text{Ps}) * 100 = (\text{Pw}/\text{Ps}) * 100$$

En donde:

L.L. = Límite Líquido en %

Ph = Peso de la muestra húmeda en gramos

Ps = Peso de la muestra seca en gramos

Pw = Contenido de agua en la muestra en gramos

Después de calcular el Límite Líquido de la muestra se procede a calcular el límite plástico y de acuerdo a la norma ASTM D424-59 donde se describe el procedimiento estándar para el cálculo del Límite Plástico; se hace de la siguiente manera:

El Límite Plástico (L.P.) se define como el contenido de humedad, expresado en porcentaje con respecto al peso seco de la muestra secada al horno, por el cual los suelos cohesivos pasan de un estado semisólido a un estado plástico. Para determinar el límite plástico, generalmente se hace uso del material que, mezclando con agua, ha sobrado de la prueba del límite líquido y la cual se le evapora humedad por mezclado hasta tener una mezcla plástica que sea fácilmente moldeable. Se forma luego una pequeña bola que deberá rodillarse en seguida en la palma de la mano o en una placa de vidrio aplicando la suficiente presión a efecto de formar filamentos.

Cuando el diámetro del filamento resultante sea de 3.17 mm (1/8") sin romperse, deberá juntarse la muestra de nuevo, mezclarse en forma de bola y volver a rodillarse. El proceso debe continuarse hasta que se produzca un

rompimiento de los filamentos al momento de alcanzar 3.17 mm de diámetro. Los suelos que no pueden rodillarse con ningún contenido de humedad se consideran como no plásticos. Cuando al rodillar la bola del suelo se rompa el filamento al diámetro de 3.17 mm, se toma todos los pedacitos, se pesan, se secan al horno en un vidrio, vuelven a pesarse ya secos y se determina la humedad correspondiente al límite plástico así:

$$\text{L.P.} = ((P_h - P_s)/P_s)*100 = (P_w/P_s)*100$$

En donde:

L.P. = humedad correspondiente al límite plástico en %

$P_h$  = Peso de la muestra húmeda en gramos

$P_s$  = Peso de la muestra seca en gramos

$P_w$  = Contenido de agua en la muestra en gramos

El Límite Plástico es muy afectado por el contenido orgánico del suelo, ya que eleva su valor sin aumentar simultáneamente al límite líquido. Por tal razón los suelos con contenido orgánico tienen bajo índice plástico y límites líquidos altos.

La determinación de los límites anteriores se hace con el fin de encontrar el índice de plasticidad de los materiales analizados por lo que se describe su concepto general y sus cálculos:

Se denomina índice de Plasticidad o índice Plástico (I.P.) a la diferencia numérica entre los límites líquidos y plásticos, e indica el margen de humedades dentro del cual se encuentra en estado plástico tal y como se definen los ensayos. Tanto el límite líquido como el límite plástico dependen de

la cantidad y tipo de arcilla del suelo; sin embargo, el índice plástico depende generalmente de la cantidad de arcilla del suelo.

Comparando el índice de plasticidad con el que marcan las especificaciones respectivas se puede decir si un determinada suelo presenta las características adecuadas para cierto uso.



## **7. EXPERIMENTACIÓN CON LOS MATERIALES PROPUESTOS**

### **7.1 Elección de combinaciones**

Debido a los pocos estudios sobre el comportamiento de mezclas con estos tipos de materiales, el rango de posibilidades de combinar los materiales es bastante amplio; ya que contamos con veinte distintos materiales. A manera de reducir el número de combinaciones a un número lógico se tomó como ayuda la lógica de todo mortero (aglutinante+consolidante+elástico-aglutinante).

### **7.2 Combinaciones a utilizar**

#### **7.2.1 Sustancias mezcladas al mortero fresco**

A continuación se presenta una tabla con las combinaciones que se utilizaron en la investigación, se separaron dependiendo la naturaleza del material o materiales a utilizar.

**Tabla VII. Combinaciones de mezclas con materiales agregados al mortero fresco.**

MUESTRA BASE	COMBINACION
COMBINACION SUSTANCIAS VEGETALES	ARE+ARC+CL+H2O
	ARE+ARC+LV+H2O
	ARE+ARC+LV+CL+H2O
	ARE+ARC+NPL+H2O
	ARE+ARC+NPL+CL+H2O
	ARE+ARC+LNZ+H2O
	ARE+ARC+LNZ+CL+H2O
	ARE+ARC+OLV+H2O
	ARE+ARC+OLV+CL+H2O
	ARE+ARC+ASR+H2O
	ARE+ARC+ASR+CL+H2O
	ARE+ARC+ASR+NPL+CL+H2O
	ARE+ARC+ASR+LNZ+CL+H2O
	ARE+ARC+ASR+OLV+CL+H2O
	ARE+ARC+ASR+LV+CL+H2O
COMBINACION SUSTANCIAS ANIMALES	ARE+ARC+CNZ+H2O
	ARE+ARC+CNZ+CL+H2O
	ARE+ARC+CSN(1)+H2O
	ARE+ARC+CSN(1)+CL+H2O
	ARE+ARC+CSN(2)+H2O
	ARE+ARC+CSN(2)+CL+H2O
	ARE+ARC+SB+H2O
	ARE+ARC+SB+CL+H2O
	ARE+ARC+EST+H2O
	ARE+ARC+EST+CL+H2O
	ARE+ARC+SNG+H2O
	ARE+ARC+SNG+CL+H2O
	ARE+ARC+CDH+H2O
	ARE+ARC+CDH+CL+H2O
	ARE+ARC+CDC+H2O
ARE+ARC+CDC+CL+H2O	
COMBINACION COMPUESTOS QUIMICOS	ARE+ARC+BRX+H2O
	ARE+ARC+BRX+CL+H2O
	ARE+ARC+SDS+H2O
	ARE+ARC+SDS+CL+H2O
	ARE+ARC+CDS+H2O
ARE+ARC+CDS+CL+H2O	
DESECHOS	ARE+ARC+PP+H2O
	ARE+ARC+PP+CL+H2O
COMBINACION SUST. VEGETAL & ANIMAL	ARE+ARC+NPL+CSN(1)+H2O
	ARE+ARC+NPL+CSN(1)+CL+H2O
	ARE+ARC+NPL+CSN(2)+H2O
	ARE+ARC+NPL+CSN(2)+CL+H2O
	ARE+ARC+NPL+CDH+CL+H2O
	ARE+ARC+LNZ+CDH+CL+H2O
	ARE+ARC+OLV+CDH+CL+H2O
	ARE+ARC+LV+CDH+CL+H2O
	ARE+ARC+NPL+EST+CL+H2O
	ARE+ARC+LNZ+EST+CL+H2O
	ARE+ARC+OLV+EST+CL+H2O
	ARE+ARC+LV+EST+CL+H2O
	COMBINACION SUST. ANIMAL & COMPUESTO QUIMICO
ARE+ARC+CSN(2)+BRX+H2O	

Fuente: Elaboración propia.

### 7.3 Sustancias aplicadas como pintura

Para la elección de sustancias que se utilizarían como pintura con la finalidad de impermeabilizar la superficie del revestimiento, fue un poco menos complicado que las sustancias aplicadas al mortero fresco ya que existen materiales que son imposibles de aplicar como pintura. Se utilizaron todos los materiales los cuales se pudieran obtener en estado líquido para dar lugar a su aplicación. A continuación se presenta la lista de las combinaciones junto con la pintura aplicada utilizadas durante la experimentación.

**Tabla VIII. Combinaciones de mezclas con aplicación de sustancias como pintura**

COMBINACION	PINTURA APLICACIÓN
ARE+ARC+EST+CL+H2O	NPL
ARE+ARC+EST+CL+H2O	OLV
ARE+ARC+EST+CL+H2O	LV
ARE+ARC+EST+CL+H2O	LNZ
ARE+ARC+SNG+CL+H2O	LV
ARE+ARC+SNG+CL+H2O	OLV
ARE+ARC+SNG+CL+H2O	NPL
ARE+ARC+CSN(1)+H2O	NPL
ARE+ARC+CSN(1)+CL+H2O	NPL
ARE+ARC+CSN(2)+H2O	NPL
ARE+ARC+CSN(2)+CL+H2O	NPL
ARE+ARC+OLV+CL+H2O	SNG
ARE+ARC+LV+CL+H2O	SNG
ARE+ARC+LNZ+CL+H2O	SNG
ARE+ARC+NPL+CL+H2O	SNG
ARE+ARC+CDH+CL+H2O	LNZ
ARE+ARC+CDH+CL+H2O	OLV
ARE+ARC+CDH+CL+H2O	LV
ARE+ARC+CDH+CL+H2O	NPL
ARE+ARC+ASR+CL+H2O	LNZ
ARE+ARC+ASR+CL+H2O	LV
ARE+ARC+ASR+CL+H2O	OLV
ARE+ARC+ASR+CL+H2O	NPL
ARE+ARC+H2O	CDC
ARE+ARC+CL+H2O	CDC
ARE+ARC+CL+H2O	CA

*Fuente: Elaboración propia.*

## **7.4 Enfoques**

Los enfoques para cada una de las combinaciones se dividieron en dos grupos: Sustancias aplicadas al mortero fresco y sustancias aplicadas como pintura.

### **7.4.1 Sustancias mezcladas con la tierra (aplicadas al mortero fresco)**

Debido a la escasez de información sobre la mayoría de las sustancias, se trató de abarcar el mayor número de combinaciones para poder evaluar las mezclas y ver de qué manera influyen los materiales dentro de las mismas.

**Figura 32. Aplicación de sustancias al mortero fresco.**



### **7.4.2 Pintura impermeable para revestimiento o tratamiento superficial**

El motivo de utilizar los materiales como pintura se debe a que no se sabe con certeza cuál función es la que desempeña mejor el material, si aplicado al mortero en fresco o como pintura. Por otro lado, no se debe olvidar



que se utilizaron con otro fin muy importante, el cual es que se pueda conseguir una superficie impermeable sobre el revestimiento o para el tratamiento del mismo a lo largo del tiempo.

**Figura 33. Aplicación de sustancias como pinturas (izquierda).**

**Figura 34. Aplicación alternativa (derecha).**



## 7.5 Aplicaciones

### 7.5.1 Paredes de piedra

Es muy común encontrar construcciones precarias en nuestro país que por facilidad de obtención y bajos recursos utilicen piedras del lugar para levantar muros para protegerse de todos los factores que les rodean (inclemencias del clima, insectos, animales, etc.). Regularmente las piedras son colocadas una sobre otra sin ningún tipo de mortero (aunque en algunos casos si se utiliza, aunque de igual forma queda con grandes deficiencias como agujeros o grietas, lugar preferido de la “chinche picuda”) hasta lograr la pared. Es este problema el que se quiere resolver utilizando un mortero con el cual poder cubrir las grietas o agujeros en las paredes o bien para poder unir las piedras para el levantado.

### **7.5.2 Revestimientos de casas de adobe o bajareque**

La gran mayoría de viviendas que se encuentran en áreas rurales del país como las casas de adobe o bajareque, no poseen ningún tipo de revestimiento. Este problema hace que las viviendas se vuelvan un lugar inseguro, insalubre y no confortable para vivir; ya que las casas sin revestimiento tienden a ser más vulnerables a los factores del entorno (inclemencias del clima, insectos, animales, etc.). La utilización de un mortero aplicado con la finalidad de proteger este tipo de viviendas reducirá en gran porcentaje la vulnerabilidad de las mismas, volviéndolas un lugar digno para vivir.

### **7.5.3 Aplicación en pisos**

En áreas rurales de nuestro país difícilmente se observa piso o algún tipo de superficie similar, regularmente sus habitantes dejan el suelo natural como piso debido a sus condiciones sociales y económicas. Los problemas que esta situación conlleva a que la casa se vuelve insalubre y no confortable, ya que el polvo está por todos lados y el aspecto que le da a la vivienda no es muy estético. De esta manera la aplicación de un mortero en los pisos resolverá en gran medida este problema, volviendo las viviendas un lugar digno de toda persona.

**Figura 35. Estructura de bajareque (izquierda).**

**Figura 36. Problemas en los pisos (derecha). Aldea El Tule, Municipio de Quezada, Jutipa. 2009**



**Figura 37. Muro de piedra (izquierda).**

**Figura 38. Vivienda de adobe (derecha). Guatemala. 2009**





## 8. SUGERENCIA DE MEZCLAS

### 8.1 Proporciones de las mezclas

Como hemos venido recalcando, la escasa información acerca de la utilización de estos materiales dificulta tener parámetros a los cuales adherirse. Es por esta razón que las proporciones utilizadas fueron basadas en parámetros de trabajabilidad, plasticidad y colocación a la hora de realizar las mezclas; es decir de una forma bastante empírica. Todas las proporciones que se muestran en la Tabla IX están en función del volumen de la mezcla.

**Tabla IX. Combinaciones de las mezclas con su respectiva proporción en función del volumen.**

MUESTRA BASE	COMBINACION	PROPORCION	
COMBINACION SUSTANCIAS VEGETALES	ARE+ARC+CL+H2O	3:1:1.34:1.67	
	ARE+ARC+LV+H2O	3:1:1:0.18	
	ARE+ARC+LV+CL+H2O	3:1:1:1.26:0.8	
	ARE+ARC+NPL+H2O	3:1:0.44:1.44	
	ARE+ARC+NPL+CL+H2O	3:1:0.44:0.76:3	
	ARE+ARC+LNZ+H2O	3:1:0.86:0.72	
	ARE+ARC+LNZ+CL+H2O	3:1:0.86:1.26:1.22	
	ARE+ARC+OLV+H2O	3:1:1:0.72	
	ARE+ARC+OLV+CL+H2O	3:1:1:0.76:1.76	
	ARE+ARC+ASR+H2O	3:1:1.26:1.50	
	ARE+ARC+ASR+CL+H2O	3:1:1.26:0.5:2.14	
	ARE+ARC+ASR+NPL+CL+H2O	3:1:1.26:1:0.5:0.76	
	ARE+ARC+ASR+LNZ+CL+H2O	3:1:1.26:0.25:0.5:1.76	
	ARE+ARC+ASR+OLV+CL+H2O	3:1:1.26:1:0.5:1.26	
	ARE+ARC+ASR+LV+CL+H2O	3:1:1.26:1:0.5	
	ARE+ARC+CNZ+H2O	3:1:0.14:1.14	
	ARE+ARC+CNZ+CL+H2O	3:1:0.14:0.5:1.64	
	COMBINACION SUSTANCIAS ANIMALES	ARE+ARC+CSN(1)+H2O	3:1:1.5
		ARE+ARC+CSN(1)+CL+H2O	3:1:1.2:0.5
ARE+ARC+CSN(2)+H2O		3:1:1.1	
ARE+ARC+CSN(2)+CL+H2O		3:1:1.2:0.5	
ARE+ARC+SB+H2O		3:1:1:2	
ARE+ARC+SB+CL+H2O		3:1:1:0.5:3	
ARE+ARC+EST+H2O		3:1:1.44:2	
ARE+ARC+EST+CL+H2O		3:1:1.44:1.26:2.26	
ARE+ARC+SNG+H2O		3:1:0.86:0.64	
ARE+ARC+SNG+CL+H2O		3:1:0.86:0.8:0.64	
ARE+ARC+CDH+H2O		3:1:0.94:0.58	
ARE+ARC+CDH+CL+H2O		3:1:0.94:1.26:1.34	
ARE+ARC+CDC+H2O		3:1:1:1	
ARE+ARC+CDC+CL+H2O		3:1:1:0.5:1	

COMBINACION COMPUESTOS QUIMICOS	ARE+ARC+BRX+H2O	3:1:1.3:1.72
	ARE+ARC+BRX+CL+H2O	3:1:1.3:1.26:1.76
	ARE+ARC+SDS+H2O	3:1:1:0.72
	ARE+ARC+SDS+CL+H2O	3:1:1:1:1.72
	ARE+ARC+CDS+H2O	3:1:0.58:1
	ARE+ARC+CDS+CL+H2O	3:1:0.58:1:1.76
DESECHOS	ARE+ARC+PP+H2O	3:1:0.64:0.38
	ARE+ARC+PP+CL+H2O	3:1:0.64:0.5:2.38
COMBINACION SUST. VEGETAL & ANIMAL	ARE+ARC+NPL+CSN(1)+H2O	3:1:0.6:0.4
	ARE+ARC+NPL+CSN(1)+CL+H2O	3:1:0.6:0.4:0.6
	ARE+ARC+NPL+CSN(2)+H2O	3:1:0.3:0.4
	ARE+ARC+NPL+CSN(2)+CL+H2O	3:1:0.4:0.4:0.6:0.4
	ARE+ARC+NPL+CDH+CL+H2O	3:1:1:0.25:0.6:0.76
	ARE+ARC+LNZ+CDH+CL+H2O	3:1:0.44:0.25:0.6:1
	ARE+ARC+OLV+CDH+CL+H2O	3:1:1:0.25:0.6:1
	ARE+ARC+LV+CDH+CL+H2O	3:1:1:0.25:0.6:0.5
	ARE+ARC+NPL+EST+CL+H2O	3:1:1:1.5:0.5:1.25
	ARE+ARC+LNZ+EST+CL+H2O	3:1:0.5:1.5:0.5:1.63
	ARE+ARC+OLV+EST+CL+H2O	3:1:1:1.5:0.5:1.5
	ARE+ARC+LV+EST+CL+H2O	3:1:1:1.5:0.5:2
COMBINACION SUST. ANIMAL & COMPUESTO QUIMICO	ARE+ARC+CSN(1)+BRX+H2O	3:1:0.8:0.2
	ARE+ARC+CSN(2)+BRX+H2O	3:1:0.8:0.2:0.4

Fuente: Elaboración propia.

Se puede observar en la tabla que la proporción arena-arcilla se mantuvo constante en todas las combinaciones, esto se hizo con motivo de poder ver los efectos que tenían los materiales agregados en la mezcla y poder compararlos con la muestra base.

## 8.2 Mezclas que presentan mejor comportamiento

Al cabo de cumplir 28 días de edad las probetas fueron sometidas a los ensayos de absorción por capilaridad y permeabilidad al agua, características que son consideradas muy importantes ya que son las principales causas de la deficiencia de los revestimientos.

Según la norma francesa “Nota de información sobre las características y el comportamiento de los revestimientos (baños exteriores) de impermeabilización de pared a base de argamasas hidráulicas (junio 1982 –

cuaderno No. 1778)” del CSTB de Francia existen tres rangos de clasificación, según el coeficiente de capilaridad (1.2).

$1.5 \leq C \leq 4$  Capilaridad fuerte

$1.5 \leq C < 4$  Capilaridad débil

$1.5 \leq C < 1.5$  Capilaridad muy débil

Debido a que la norma contempla el uso de materiales como el cemento se hace evidente que los coeficientes sean muy pequeños, y sería demasiado estricto clasificar revestimientos a base de materiales naturales dentro de estos rangos.

Otro de las características importantes que definieron que mezclas presentaron mejor comportamiento, es la permeabilidad al agua. En este ensayo mientras mas alto es el tiempo promedio de filtración, mejor desempeño tendrá la mezcla frente a los ataque del agua.

La permeabilidad es una característica que se refiere al flujo de agua a través de las mezclas, este flujo mientras más bajo sea más impermeable se vuelve la mezcla. Aunque esta característica fue difícil de reducir, se tuvo resultados muy prometedores; se logro con la aplicación de pinturas impermeables sobre las mezclas.

Por otro lado, la escasa información existente para evaluar revestimientos a base de materiales naturales se tiene que buscar otra manera de poder clasificar las mezclas que tienen mejor comportamiento. Se realizaron mezclas base que estaban compuestas por arena, arcilla y cal; y luego a estas se le iban colocando aditivos (materiales utilizados). Esto hizo posible tener un

parámetro para poder evaluar la influencia de los aditivos en la mezcla, y poder ver claramente cuales tienen una repercusión positiva y quienes no la tienen.

Las mezclas con materiales aplicados al mortero fresco que presentaron mejor comportamiento y que se pueden utilizar como revestimientos exteriores, aplicaciones en viviendas de bajareque y adobe, aplicaciones en pisos y muros de piedra; se disponen en la siguiente tabla.

**Tabla X. Mezclas con materiales aplicados al mortero fresco con mejor comportamiento.**

<b>COMBINACION</b>	<b>PROPORCION</b>
ARE+ARC+CL+H2O	3:1:1.34:1.67
ARE+ARC+LNZ+H2O	3:1:0.86:0.72
ARE+ARC+OLV+CL+H2O	3:1:1:0.76:1.76
ARE+ARC+CNZ+CL+H2O	3:1:0.14:0.5:1.64
ARE+ARC+CSN(1)+CL+H2O	3:1:1.2:0.5
ARE+ARC+SNG+CL+H2O	3:1:0.86:0.8:0.64
ARE+ARC+CDS+H2O	3:1:0.58:1
ARE+ARC+NPL+CSN(1)+CL+H2O	3:1:0.6:0.4:0.6
ARE+ARC+NPL+CSN(2)+CL+H2O	3:1:0.4:0.4:0.6:0.4
ARE+ARC+LNZ+CDH+CL+H2O	3:1:0.44:0.25:0.6:1

*Fuente: Elaboración propia.*

Por otro lado, tenemos las mezclas con materiales aplicados al mortero fresco que tuvieron un comportamiento medio que se presentan en la Tabla XI, pero no por eso se deben descartar mientras que bien se pueden utilizar como revestimientos interiores; aunque se debe experimentar un poco más con estas mezclas.



**Tabla XI. Mezclas con materiales aplicados al mortero fresco con comportamiento medio.**

<b>COMBINACION</b>	<b>PROPORCION</b>
ARE+ARC+LV+CL+H2O	3:1:1:1.26:0.8
ARE+ARC+LNZ+H2O	3:1:0.86:0.72
ARE+ARC+ASR+LNZ+CL+H2O	3:1:1.26:0.25:0.5:1.76
ARE+ARC+CSN(1)+H2O	3:1:1.5
ARE+ARC+CSN(2)+H2O	3:1:1.1
ARE+ARC+CSN(2)+CL+H2O	3:1:1.2:0.5
ARE+ARC+SB+CL+H2O	3:1:1:0.5:3
ARE+ARC+EST+CL+H2O	3:1:1.44:1.26:2.26
ARE+ARC+CDH+CL+H2O	3:1:0.94:1.26:1.34
ARE+ARC+CDC+CL+H2O	3:1:1:0.5:1
ARE+ARC+BRX+CL+H2O	3:1:1.3:1.26:1.76
ARE+ARC+SDS+CL+H2O	3:1:1:1:1.72
ARE+ARC+LV+CDH+CL+H2O	3:1:1:0.25:0.6:0.5
ARE+ARC+LNZ+EST+CL+H2O	3:1:0.5:1.5:0.5:1.63
ARE+ARC+OLV+EST+CL+H2O	3:1:1:1.5:0.5:1.5
ARE+ARC+LV+EST+CL+H2O	3:1:1:1.5:0.5:2

*Fuente: Elaboración propia.*

También presentamos en la Tabla XII una lista de mezclas con materiales agregados al mortero fresco que se debe profundizar en su estudio y experimentación, para abrir camino hacia su optimización.

**Tabla XII. Mezclas con materiales aplicados al mortero fresco que se deben optimizar.**

<b>COMBINACION</b>	<b>PROPORCION</b>
ARE+ARC+NPL+H2O	3:1:0.44:1.44
ARE+ARC+ASR+CL+H2O	3:1:1.26:0.5:2.14
ARE+ARC+ASR+NPL+CL+H2O	3:1:1.26:1:0.5:0.76
ARE+ARC+ASR+OLV+CL+H2O	3:1:1.26:1:0.5:1.26
ARE+ARC+ASR+LV+CL+H2O	3:1:1.26:1:0.5
ARE+ARC+PP+CL+H2O	3:1:0.64:0.5:2.38
ARE+ARC+NPL+CDH+CL+H2O	3:1:1:0.25:0.6:0.76
ARE+ARC+NPL+EST+CL+H2O	3:1:1:1.5:0.5:1.25

*Fuente: Elaboración propia.*

Las mezclas con sustancias aplicadas como pintura impermeable que presentaron mejor comportamiento y que se pueden utilizar como revestimientos exteriores o para tratamiento superficial de los muros, se disponen en la siguiente tabla.

**Tabla XIII. Mezclas con sustancias aplicadas como pintura impermeable que tuvieron mejor comportamiento.**

<b>COMBINACION</b>	<b>APLICACIÓN</b>
ARE+ARC+EST+CL+H2O	NPL
ARE+ARC+EST+CL+H2O	OLV
ARE+ARC+EST+CL+H2O	LV
ARE+ARC+EST+CL+H2O	LNZ
ARE+ARC+SNG+CL+H2O	LV
ARE+ARC+SNG+CL+H2O	OLV
ARE+ARC+SNG+CL+H2O	NPL
ARE+ARC+CSN(1)+CL+H2O	NPL
ARE+ARC+CSN(2)+H2O	NPL
ARE+ARC+OLV+CL+H2O	SNG
ARE+ARC+LV+CL+H2O	SNG
ARE+ARC+LNZ+CL+H2O	SNG
ARE+ARC+NPL+CL+H2O	SNG
ARE+ARC+CDH+CL+H2O	OLV
ARE+ARC+CDH+CL+H2O	LV
ARE+ARC+CDH+CL+H2O	NPL
ARE+ARC+ASR+CL+H2O	LNZ
ARE+ARC+CL+H2O	CDC
ARE+ARC+CL+H2O	CA

*Fuente: Elaboración propia.*

Las mezclas con sustancias aplicadas como pintura impermeable que tuvieron un comportamiento medio, no por eso se descartaron sino al contrario se pueden utilizar como revestimientos interiores; aunque se debe experimentar un poco más con estas mezclas y aplicaciones de pinturas.

**Tabla XIV. Mezclas con sustancias aplicadas como pintura impermeable que tuvieron un comportamiento medio.**

<b>COMBINACION</b>	<b>APLICACIÓN</b>
ARE+ARC+ASR+CL+H2O	LNZ
ARE+ARC+ASR+CL+H2O	LV
ARE+ARC+ASR+CL+H2O	OLV
ARE+ARC+ASR+CL+H2O	NPL

*Fuente: Elaboración propia.*

Las proporciones de las combinaciones utilizadas para las mezclas a las cuales se les aplicó sustancias como pinturas impermeables son las mismas proporciones utilizadas en el mortero en estado fresco.

Las mezclas con sustancias aplicadas como pintura impermeable que no aparecen fueron descartas por sus resultados deficientes en los ensayos, ya que es preferible prestar mayor atención a las demás; y profundizar en su estudio y experimentación para poderlas optimizar.



## **9. ELABORACIÓN DE LOS MORTEROS Y APLICACIÓN DE PINTURAS EN LABORATORIO**

La elaboración de los morteros y la aplicación de pinturas se realizaron en el Centro de Investigaciones de Ingeniería. Se tuvo todas las precauciones de realizar estos procedimientos de manera ideal, donde se tomó en cuenta la temperatura, el lugar, el tratamiento de las sustancias y el conocimiento. Debido a que se hizo la implementación de ensayos, las probetas debían estar en las mejores condiciones posibles.

### **9.1 Proceso de elaboración de los morteros**

Se obtuvieron tres muestras por combinación, esto con motivo de poder realizar los ensayos de permeabilidad y absorción según establece la normativa. Las dimensiones de la probeta serán de 10x10 cm y con un espesor de 2 cm. Debido a la gran cantidad de probetas que se tuvieron que realizar, se fabricó un molde de madera con espacio para 24 probetas.

**Figura 39. Molde de madera utilizado para la fabricación de mezclas.**



La base de todas las combinaciones utilizada fue tres partes de arena por una parte de arcilla (en función del volumen), para luego experimentar con la adición de los diferentes materiales. Esto se hizo con objeto de tener un patrón con el cual comparar, así podremos identificar y analizar la influencia de los aditivos en la mezcla a la hora de realizar los ensayos respectivos.

Para la disposición de la cantidad del aditivo a agregar a cada muestra, se realizó tomando en consideración comportamientos de trabajabilidad y plasticidad; dos aspectos de mucha importancia en cada una de las mezclas.

Teniendo ya listas todas las sustancias se empezó la elaboración de las muestras, se colocaron y se dejaron en el molde por lo menos 24 horas para poder retirarlas sin mayor problema. El molde está debidamente numerado por casilla para no tener confusiones; una vez afuera las probetas se identificaron correctamente para poder dejar que secan durante 28 días. Es muy importante que a la hora de secar las muestras, no se dejen directamente bajo el sol, sino se deben mantener en un lugar con sombra debido a los problemas de contracción.

**Figura 40. Elaboración de los morteros en laboratorio. Centro de Investigaciones de Ingeniería.**

**Figura 41. Elaboración de los morteros en laboratorio. Centro de Investigaciones de Ingeniería.**



**Figura 42. Colocación de la mezcla dentro del molde. Centro de Investigaciones de Ingeniería.**



En el proceso de llenado del molde con las diferentes mezclas, se tuvo siempre cuidado de compactarlas bien para evitar la presencia de agujeros en las muestras; esto con objeto de disminuir la porosidad que aumenta la absorción capilar. Luego de colocada la mezcla en el molde se le pasó una regla para afinar la superficie.

**Figura 43. Molde completo con ocho diferentes mezcla. Centro de Investigaciones de Ingeniería.**



**Figura 44. Extracción de las mezclas del molde. Centro de Investigaciones de Ingeniería.**  
**Figura 45. Extracción de las mezclas del molde. Centro de Investigaciones de Ingeniería.**



Una vez completo el molde y luego de haber transcurrido las 24 horas se procedía a retirar cada una de las muestras con la ayuda de una cuchilla y una cuchara, este paso se realizaba con mucho cuidado para sacar la probeta en las mejores condiciones posibles.

**Figura 46. Muestras debidamente identificadas listas para secar durante 28 días.**





Una vez retiradas del molde se procedió a identificarlas para dejarlas secar durante 28 días.

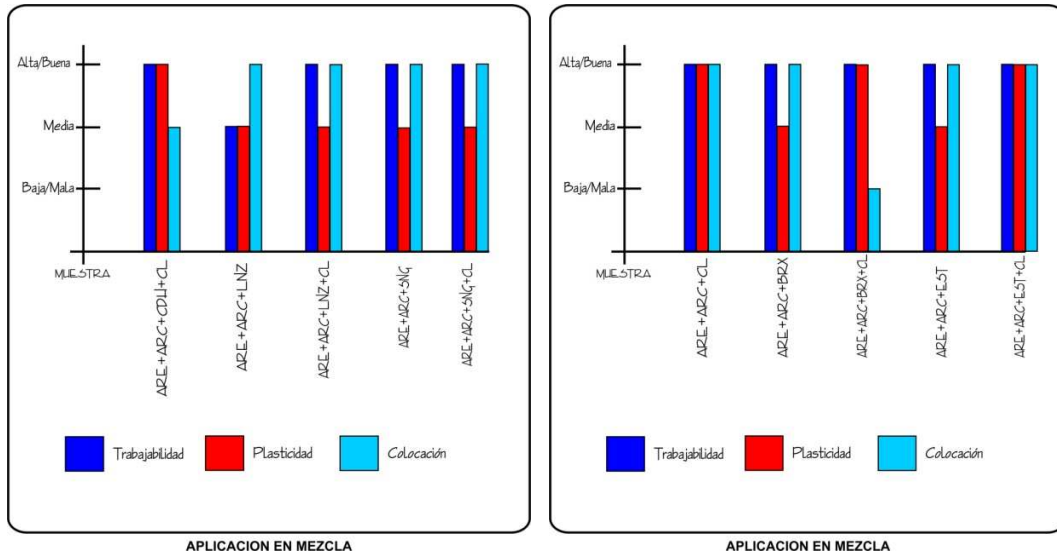
Es importante decir que se elaboró un formato para tomar datos importantes a la hora de colocar cada una de las muestras; como la trabajabilidad, plasticidad y colocación. Así como también se anotaban ciertos aspectos interesantes que presentaba cada una de las mezclas.

## **9.2 Resultados preliminares**

### **9.2.1 Sustancias mezcladas con el mortero fresco**

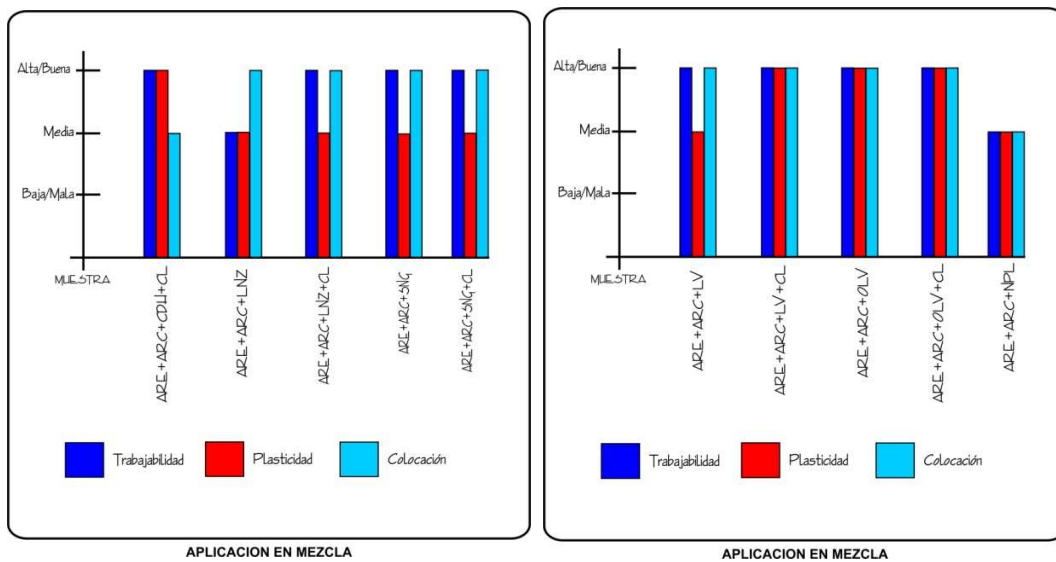
Durante la experimentación en la elaboración de las mezclas se observaron ciertas características importantes; como lo es la trabajabilidad, plasticidad y la colocación. Aunque durante este proceso es difícil asegurar con certeza cual es la mejor proporción de mezcla, se presentan a continuación algunas gráficas que evidencian el comportamiento de las mezclas, desde un punto de vista muy subjetivo. Cabe resaltar que las gráficas son únicamente del enfoque de las sustancias mezcladas con el mortero en estado fresco.

**Figura 57. Características de las mezclas con sustancias aplicadas al mortero fresco.**  
**Figura 58. Características de las mezclas con sustancias aplicadas al mortero fresco.**



*Fuente: Elaboración propia.*

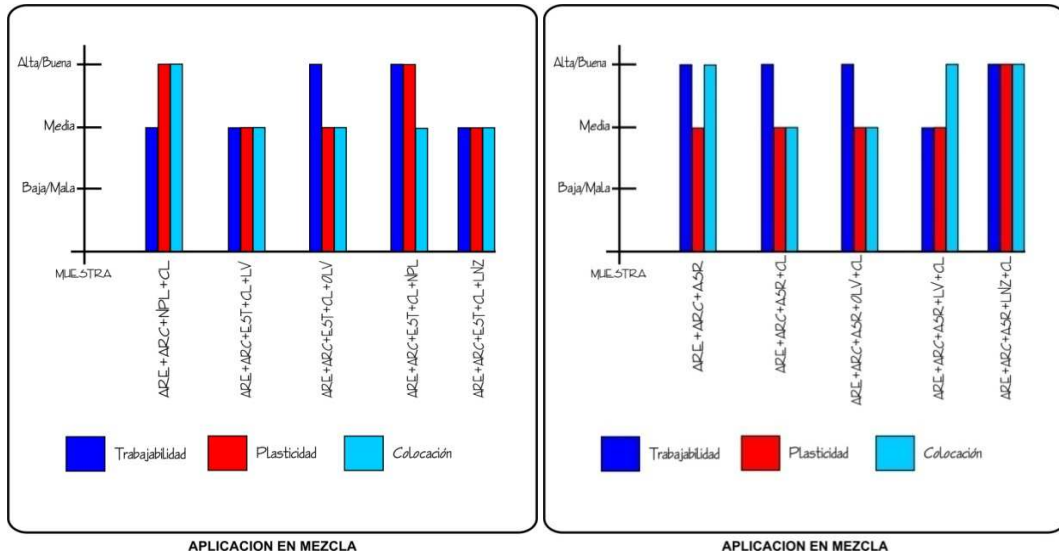
**Figura 59. Características de las mezclas con sustancias aplicadas al mortero fresco.**  
**Figura 59. Características de las mezclas con sustancias aplicadas al mortero fresco.**



*Fuente: Elaboración propia.*

**Figura 61. Características de las mezclas con sustancias aplicadas al mortero fresco.**

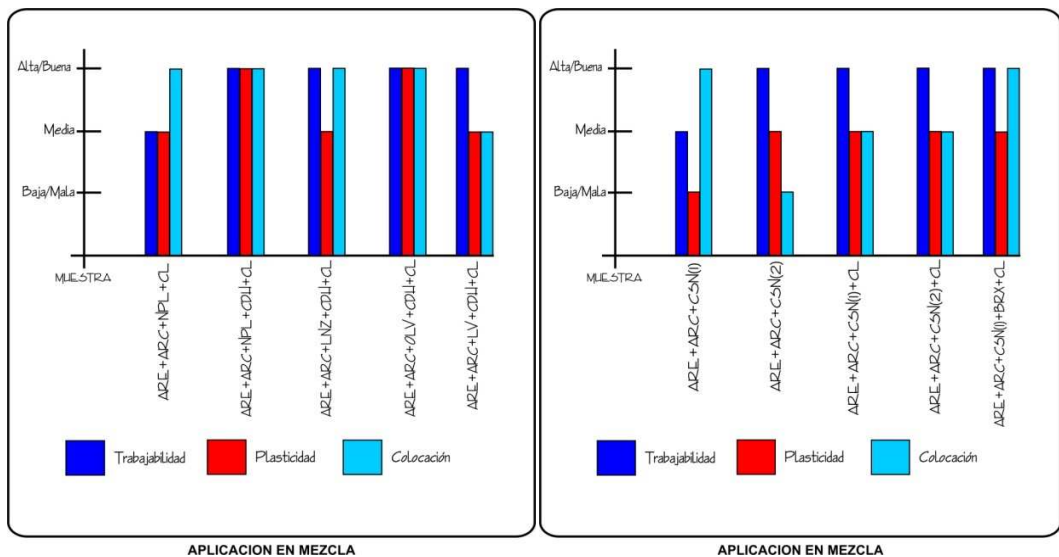
**Figura 62. Características de las mezclas con sustancias aplicadas al mortero fresco.**



Fuente: Elaboración propia.

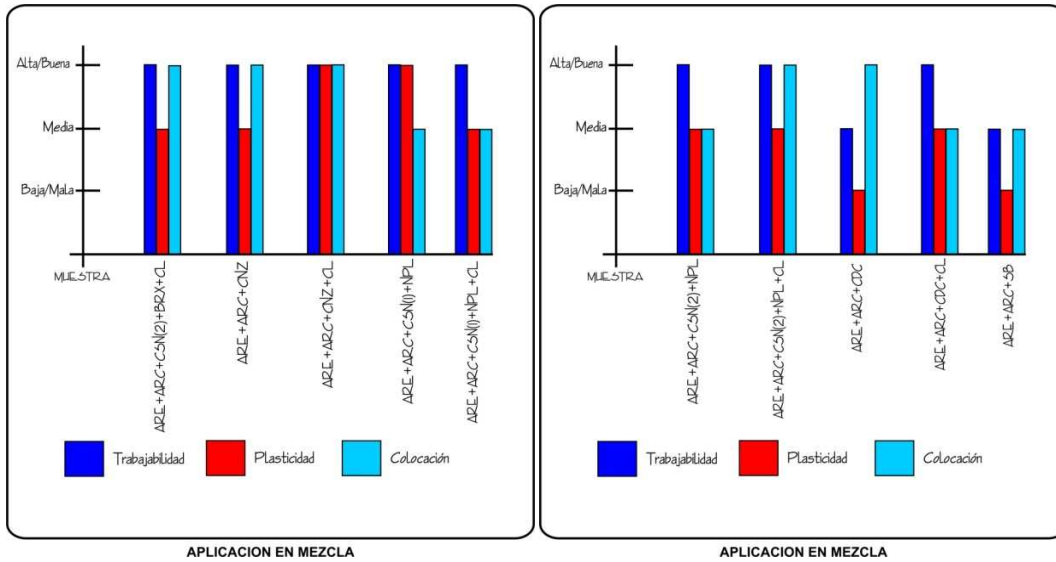
**Figura 63. Características de las mezclas con sustancias aplicadas al mortero fresco.**

**Figura 64. Características de las mezclas con sustancias aplicadas al mortero fresco.**



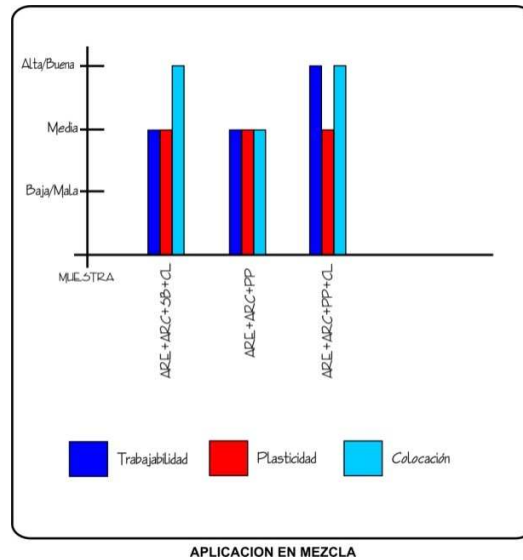
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 65. Características de las mezclas con sustancias aplicadas al mortero fresco.**  
**Figura 66. Características de las mezclas con sustancias aplicadas al mortero fresco.**



Fuente: Elaboración propia.

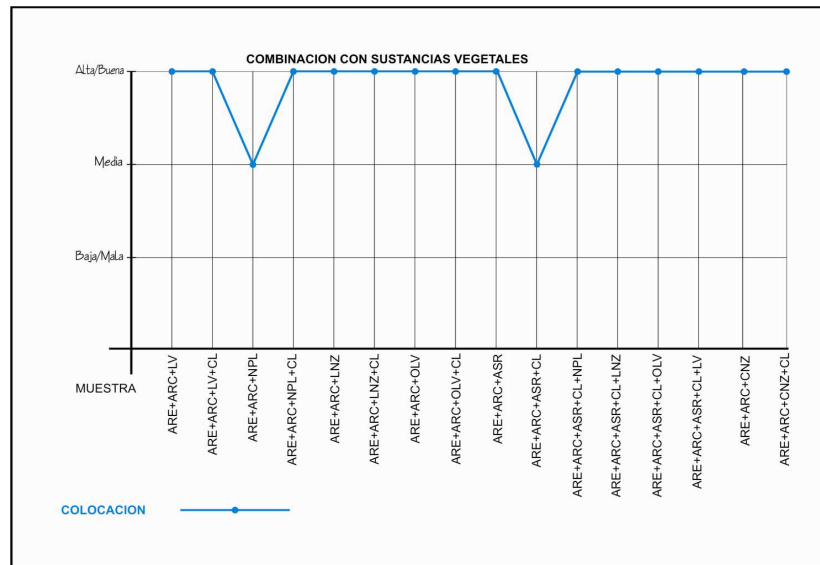
**Figura 67. Características de las mezclas con sustancias aplicadas al mortero fresco.**



Fuente: Elaboración propia.

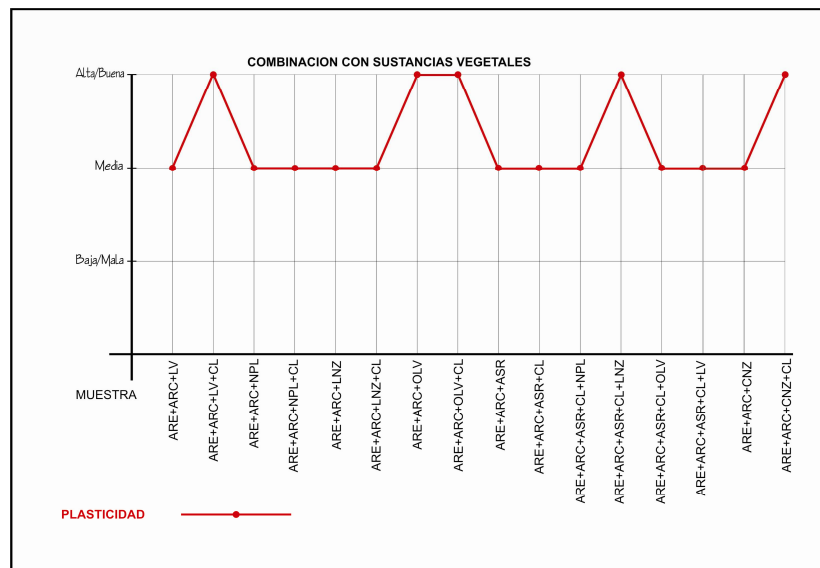
Para poder hacer un análisis preliminar de que sustancias tuvieron una mejor influencia en las mezclas se presentan las siguientes gráficas.

**Figura 68. Trabajabilidad observada en las mezclas con sustancias vegetales aplicadas al mortero fresco.**



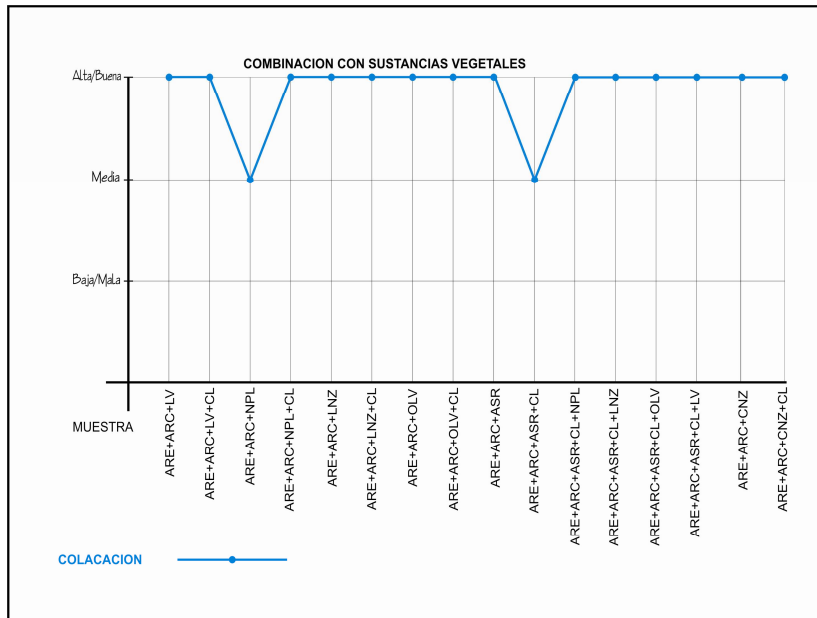
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 69. Plasticidad observada en las mezclas con sustancias vegetales aplicadas al mortero fresco.**



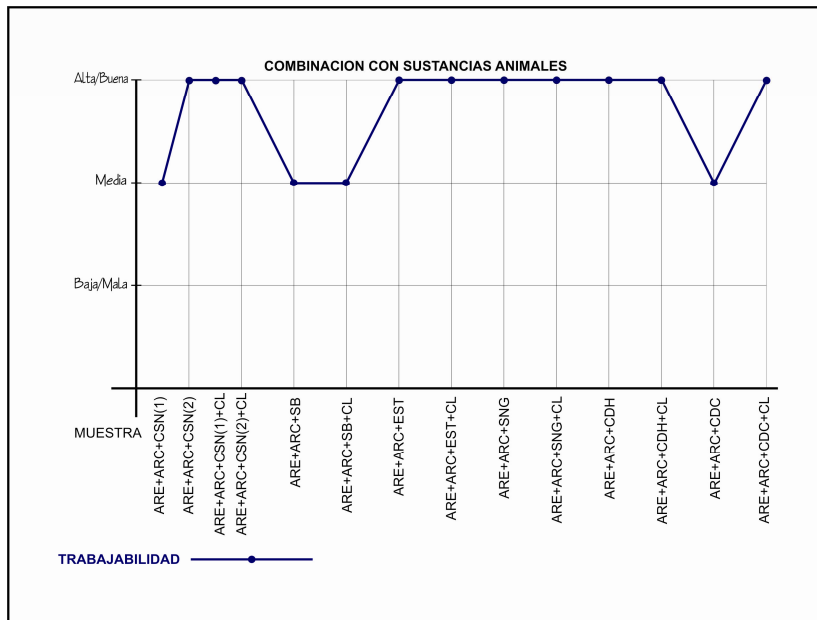
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 70. Observación del parámetro de colocación en las mezclas con sustancias vegetales aplicadas al mortero fresco.**



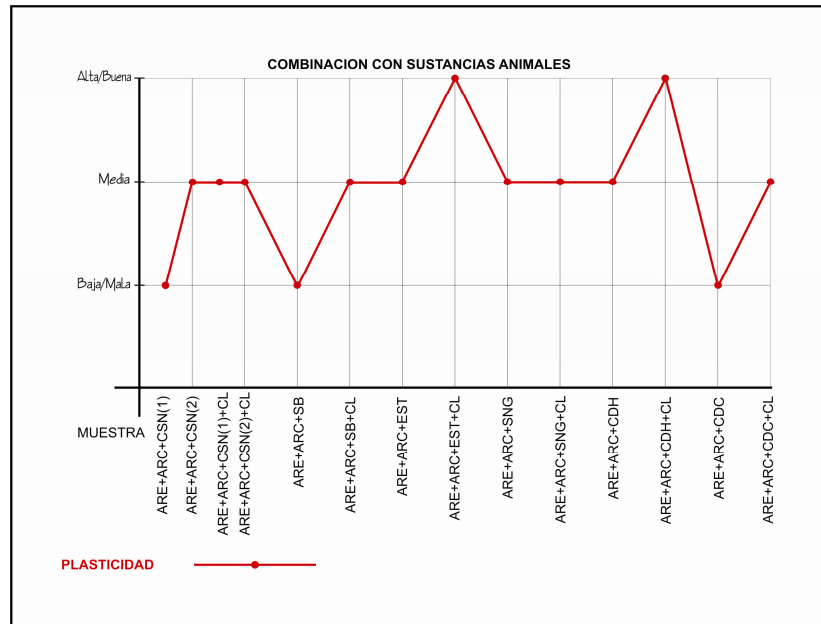
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 71. Trabajabilidad observada en las mezclas con sustancias animales aplicadas al mortero fresco.**



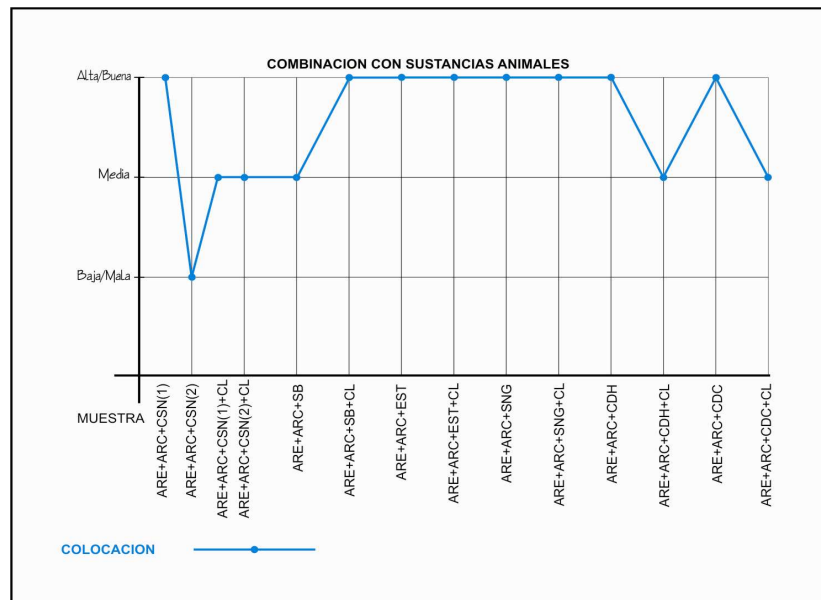
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 72. Plasticidad observada en las mezclas con sustancias animales aplicadas al mortero fresco.**



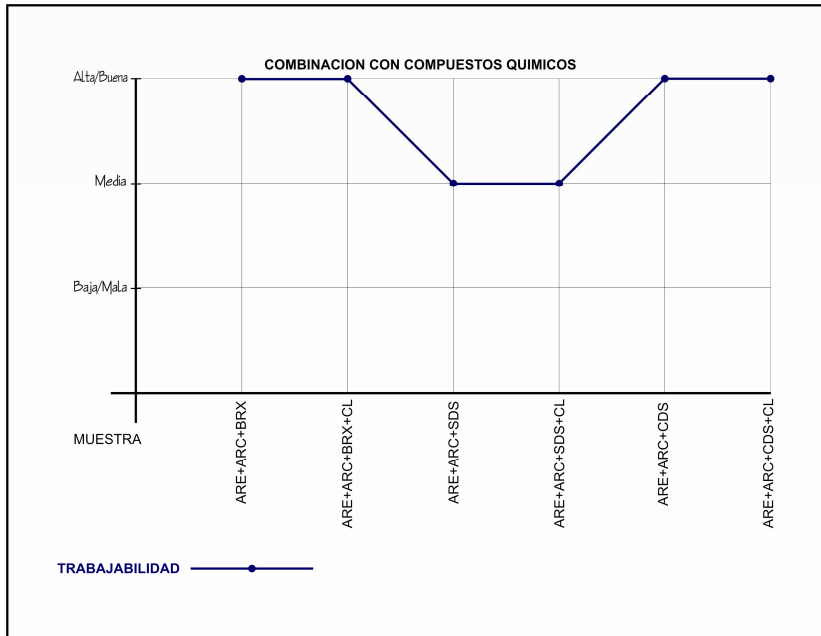
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 73. Observación del parámetro de colocación en mezclas con sustancias animales aplicadas al mortero fresco.**



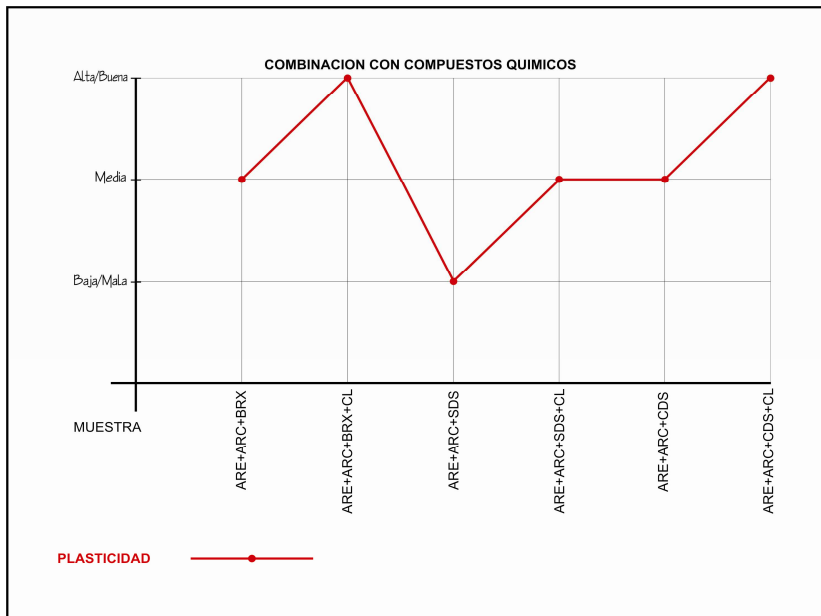
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 74. Trabajabilidad observada en las mezclas con compuestos químicos aplicados al mortero fresco.**



*Fuente: Elaboración propia.*

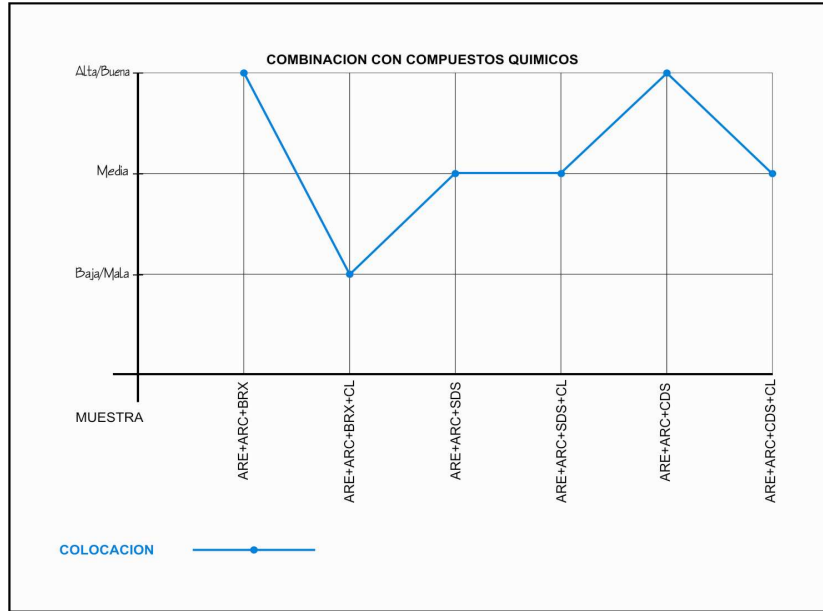
**Figura 75. Plasticidad observada en las mezclas con compuestos químicos aplicados al mortero fresco.**



*Fuente: Elaboración propia.*

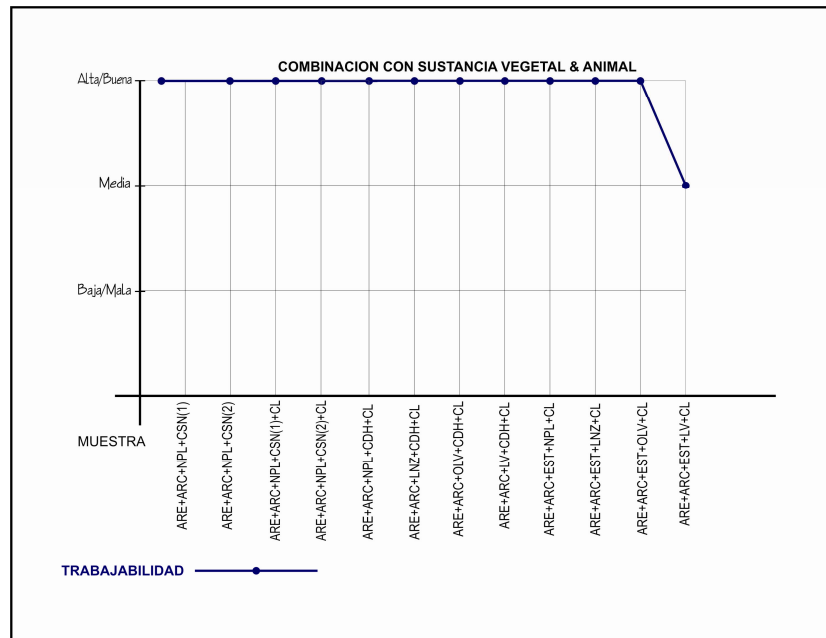


**Figura 76. Observación del parámetro de colocación en mezclas con compuestos químicos aplicados al mortero fresco.**



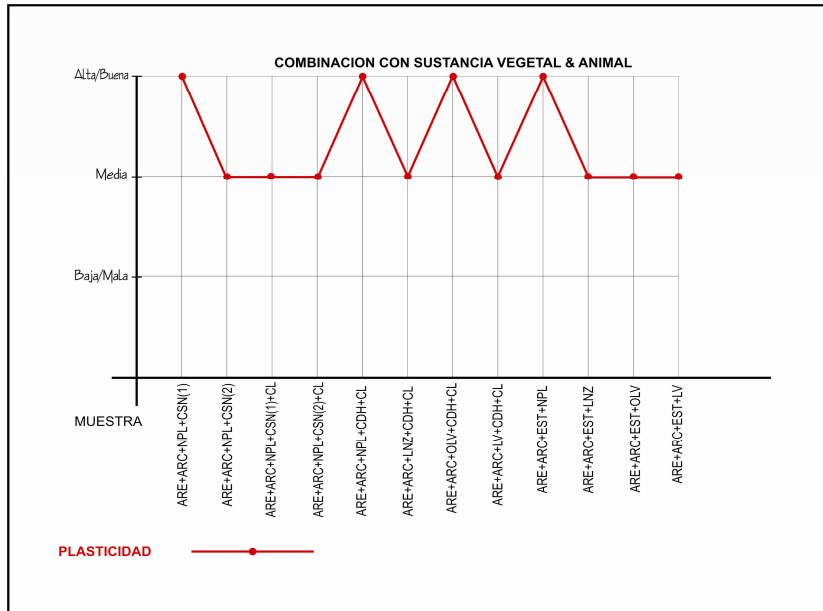
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 77. Trabajabilidad observada en las mezclas con sustancias vegetales y animales aplicadas al mortero fresco.**



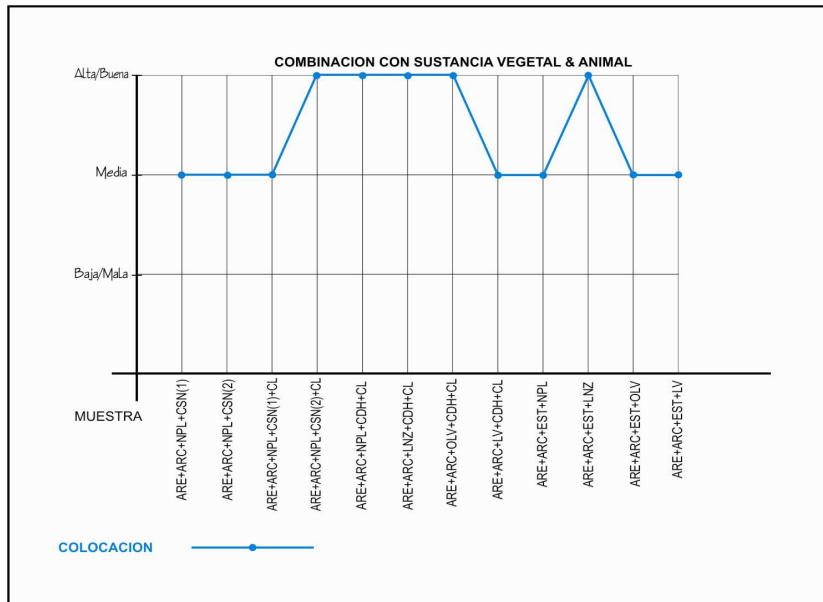
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 78. Plasticidad observada en las mezclas con sustancias vegetales y animales aplicadas al mortero fresco.**



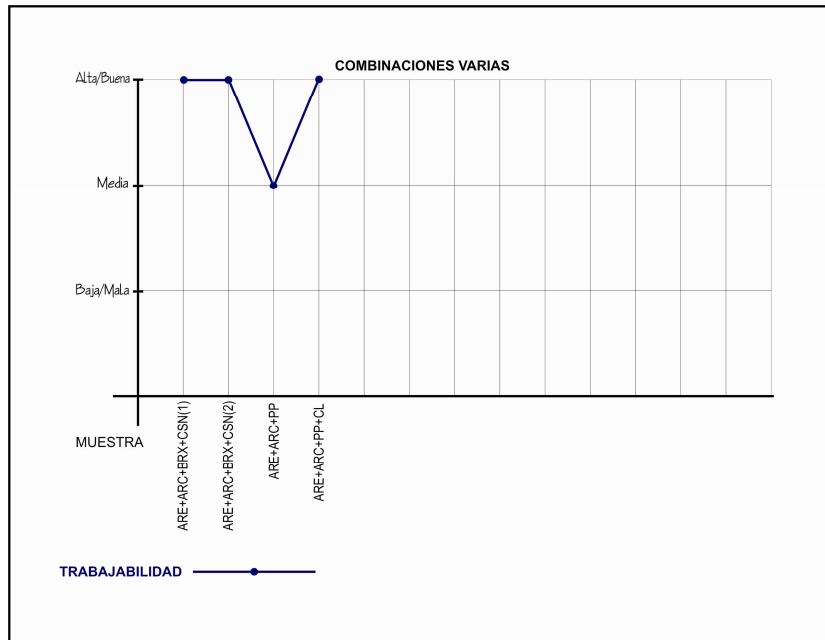
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 79. Observación del parámetro de colocación en las mezclas con sustancias vegetales y animales aplicadas al mortero fresco.**



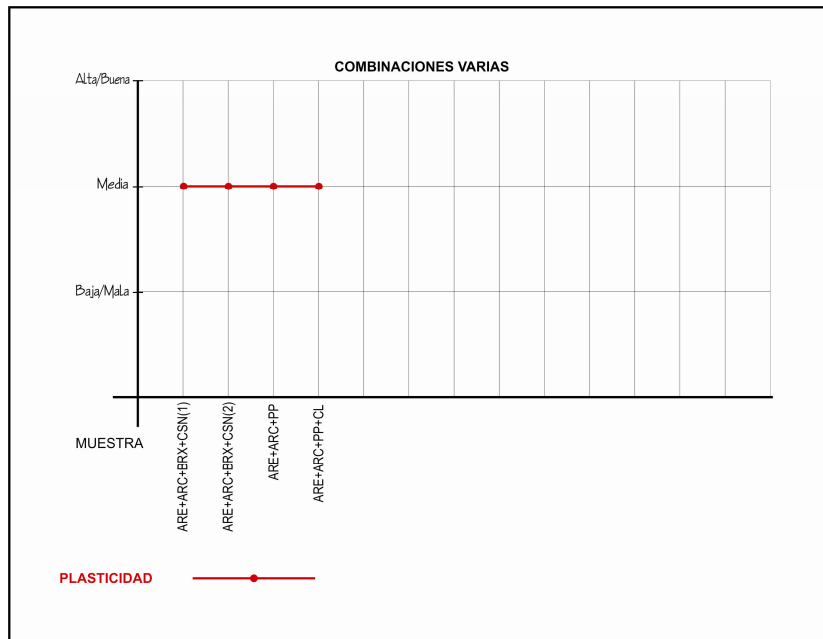
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 80. Trabajabilidad observada en las mezclas con sustancias varias aplicadas al mortero fresco.**



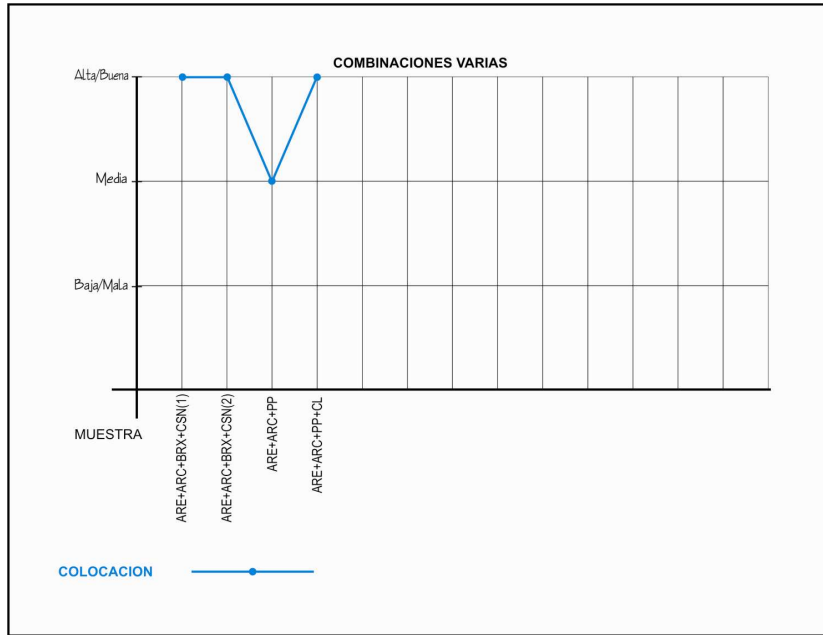
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 81. Plasticidad observada en las mezclas con sustancias varias aplicadas al mortero fresco.**



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 82. Observación del parámetro de colocación en mezclas con sustancias varias aplicadas al mortero fresco.**



*Fuente: Elaboración propia.*

### 9.3 Aplicaciones como pintura

Son varios los materiales que se utilizaron como pintura, con la finalidad de volver la superficie impermeable, que bien se puede aplicar al mortero después de su colocación o simplemente para tratamiento superficial de un mortero existente en buenas condiciones. La forma de preparar la fórmula varía de un material a otro, aunque cuentan con algunas similitudes. Otra intención de probar los materiales como pintura es para saber si tiene un mejor desempeño de esta forma, o bien aplicado al mortero fresco. A continuación se presenta la lista de materiales utilizados y la forma de preparación de la pintura.

### **9.3.1 *Opuntia cochenillifera* (Nopal)**

Una vez extraído el mucílago de esta planta se inicia la preparación de la pintura, la forma de preparación no es tan compleja. Primero se hace pasar por un colador no muy fino, luego se le agrega un 10% de agua; después se le adiciona un 4% de cal del total de mucílago que se obtenga. Esta pintura se puede aplicar con aspersor o con brocha, dependiendo de las posibilidades que se tenga o la situación en que se encuentre.

### **9.3.2 *Acanthocereus tetragonus* (Lengua de Vaca)**

Una vez extraído el mucílago de esta planta se procede a la preparación de la pintura, la forma de preparación no es compleja. Primero se hace pasar el mucílago por un colador no muy fino, luego se le agrega un 7% de agua para aumentar su rendimiento y lograr disminuir su consistencia; después se agrega un 4% de cal del total de mucílago que se obtenga. Esta pintura por preferencia se aplica con brocha, ya que causa problemas en el aspersor.

### **9.3.3 *Euphorbia canariensis* (Olivo)**

Una vez extraído el látex de esta planta se procede a la preparación de la pintura, la forma de preparación no es compleja. Primero se hace pasar el látex por un colador bastante fino y luego se agrega un 4% de cal del total de látex que se tenga. Esta pintura se puede aplicar con aspersor o bien con brocha ya que su consistencia es muy baja.

#### **9.3.4 Linaza (Aceite)**

Teniendo el aceite crudo que se extrae de la semilla de la planta, para la elaboración de la pintura es necesario cocer doblemente el aceite para que se polimerice y adquiera su carácter de barniz. La aplicación de este se realiza con brocha, para su limpieza se debe utilizar agua de trementina o similares.

#### **9.3.5 Sangre (Toro)**

Por motivo del transporte la sangre se encontraba mezclada con un anticoagulante, para la elaboración de la pintura se debe de aplicar una sustancia que revierta este proceso (ephinefrina). Teniendo esto se procede a colocarle un 3% de cal a la cantidad de sangre que se obtenga. La aplicación de esta se realizó con brocha y de manera bastante rápida debido a su rapidez de secado.

#### **9.3.6 Cola animal (Cerdo)**

La cola animal se encuentra en tiras irregulares con medidas de aproximadamente 3X1 centímetros de sección por 18 centímetros de largo. Para preparar la pintura es necesario cortar las tiras en trozos pequeños y se dejan remojar en agua una noche antes de su preparación. Listo esto se coloca los trozos de cola y se le agrega agua, se coloca a hervir a baño maría y conforme se va deshaciendo se le sigue agregando agua hasta conseguir la consistencia deseada. La aplicación de esta pintura se realiza con brocha y en caliente, debido a su rápido secado.

### **9.3.7 Cera de abeja**

La cera de abeja se encuentra en trozos irregulares, la preparación de esta pintura no es muy compleja. Se debe de colocar a derretir hasta que se vuelva totalmente líquida y color miel, su aplicación se realiza con brocha y en caliente debido a su rápido secado. Para limpiar la brocha es necesario éter o alguna sustancia similar, ya que no es soluble en agua.

## **9.4 Aplicación**

Para la correcta aplicación del mortero utilizado para cualquier revoco-enlucido es necesario tener en cuenta varias características para obtener un resultado positivo. La forma de aplicación del revestimiento será de vital importancia, ya que sin importar que tan buenas características presente el revestimiento deberá ser colocado correctamente.

### **9.4.1 Compatibilidad**

Las dos formas en que se presenta la compatibilidad son químico (no deberá reaccionar con ningún componente del mortero); y mecánico (la resistencia del mortero y su coeficiente de dilatación no deben ser nunca superiores a los del soporte, especialmente si éste es antiguo, para evitar fenómenos de fisuración).

#### **9.4.2 Estabilidad**

Para evitar que se degraden o deformen. Un suficiente curado garantizará que hayan experimentado la mayor parte de las retracciones, se debe esperar el tiempo necesario para conseguir esta estabilidad del soporte.

#### **9.4.3 Limpieza**

Para evitar la falta de contacto con el mortero es imprescindible la limpieza, debida a la existencia en la superficie del soporte de restos de polvo, desencofrantes, aceites, pinturas, etc.

#### **9.4.4 Rugosidad**

Debe existir suficiente para facilitar la adherencia del mortero fresco permitiendo el anclaje del mismo. Si fuese necesario se recurriría al picado de la superficie con cuidado de no aumentar excesivamente las diferencias de relieve; o bien colocar mallas perfectamente ancladas.

#### **9.4.5 Porosidad suficiente**

Si el soporte es poco poroso debe valorarse disponer un puente de adherencia que permita una buena adhesión del mortero.



#### **9.4.6 Capacidad de absorción de agua limitada**

Para que no se produzca una desecación prematura de la pasta de mortero antes de su fraguado que podría originar fenómenos de ahogamiento.

#### **9.4.7 Cierta grado de humedad**

Por lo que, de ser necesario, se deberá mojar previamente y esperar a que deje de estar saturado antes de aplicar el mortero.



## **10. ENSAYOS DE LOS MORTEROS EN LABORATORIO**

### **10.1 Características evaluadas en el revestimiento**

Las principales características significativas de un revestimiento pueden estar reagrupadas con arreglo a las propiedades que presentan; la aptitud del revestimiento que cumple su función de impermeabilización, baja absorción, ausencia de fisura, densidad y ciertas características del comportamiento de aspecto. Se tomaron estas características como principales; ya que son las indicadas para tomar de referencia y poder sugerir algunas mezclas que erradiquen el problema existente en los revestimientos del departamento de Jutiapa.

### **10.2 Densidad**

Es la propiedad que permite medir la ligereza o pesadez de una sustancia, y se define como la cantidad de masa contenida en cierto volumen. La importancia de conocer este parámetro es muy importante, ya que los revestimientos que tienen una densidad demasiado alta (material muy pesado) pueden sufrir desprendimientos.

### **10.3 Absorción por capilaridad**

El ensayo es efectuado en un recinto al 23°C y 90 % HR sobre 3 muestras 1x4x16 cm después de 28 días de conservación, según lo indica los Certificados “Modalidades de ensayos de los revestimientos (baños exteriores)

de impermeabilización de pared a base de argamasas hidráulicas (junio 1982 – cuaderno 1779)” del CSTB de Francia (A 3.4). Debido a la cantidad de probetas que se elaboraron se cambio el tamaño de la probeta y se utilizaron de 10x10x2 centímetros.

El ensayo consistió en sumergir la base de las probetas, la dimensión más grande en posición vertical, sobre una altura de agua de 5 mm y medir su recuperación de peso como indicado en la norma AFNOR B 10-502 para capilaridad durante las 24 horas.

El coeficiente de capilaridad es, por definición, igual a:

$$C = \frac{100}{S} \frac{M_2 - M_1}{\sqrt{t_2} - \sqrt{t_1}}$$

Donde

t = El tiempo en minutos despachado desde el principio del ascenso capilar

t1 = 10 min

t2= 90 min

M = Masa de la probeta en gramos

M1 = Masa de la probeta en gramos a los 10 min

M2 = Masa de la probeta en gramos a los 90 min

S = Sección en cm<sup>2</sup> de la cara inferior de la probeta

Sea

$$C = 4(M_2 - M_1)$$

Durante el proceso se tomaron lecturas de la masa de la muestra cada cinco minutos; para luego trazar la curva de ascenso capilar tomando raíz de  $t$  en las abscisas y la masa de agua absorbida en las ordenadas.

El coeficiente de capilaridad es igual, por definición, a la pendiente de la derecha que pasa por los puntos representativos de las medidas a 10 min y 90 min. El coeficiente, por otro lado, es prácticamente igual al valor medio, expresado en gramos, la recuperación de peso de cada probeta entre 10 min y 90 min.

**Figura 47. Ensayo de absorción por capilaridad. Centro de investigaciones de Ingeniería.**  
**Figura 48. Ensayo de absorción por capilaridad. Centro de investigaciones de Ingeniería.**



#### **10.4 Permeabilidad al agua**

El ensayo es efectuado sobre 3 muestras de 1 cm de espesor y de por lo menos 75 cm<sup>2</sup> de la superficie útil después de 28 días de conservación, según lo indica los Certificados “Modalidades de ensayos de los revestimientos (baños exteriores) de impermeabilización de pared a base de argamasas hidráulicas (junio 1982 – cuaderno 1779)” del CSTB de Francia (A 3.6). Cada probeta está

colocada durante las 24 horas en un montaje que permitió mantener una altura de agua de 100 mm a la superficie de la muestra y medir la cantidad de agua necesaria para mantener este nivel constante. En este ensayo se utilizaron muestras de las mismas dimensiones que en el de absorción.

Anotar si posible el tiempo que corresponde para cada muestra en el momento del primer paso de la humedad y, más tarde, el modo de paso de la humedad. Con este fin, un indicador coloreado en polvo podrá usarse útilmente depositándolo antes del ensayo sobre la cara inferior de la probeta. Teniendo esto se procedió a trazar con arreglo al tiempo, la curva del abastecimiento de agua del dispositivo. En el Anexo II se incluye el funcionamiento del ensayo gráficamente.

**Figura 49. Ensayo de permeabilidad al agua. Centro de Investigaciones de Ingeniería.**



## 10.4.1 Consideraciones importantes en el ensayo de permeabilidad al agua

### 10.4.1.1 Aparición de humedad

La aparición de humedad con distintos patrones fue característica de todas las mezclas que no involucraron la utilización de materiales fibrosos. La aparición de humedad luego de pasar cierto tiempo empezaba a saturar la muestra, dando lugar a la aparición de gotas para pasar luego a la filtración.

**Figura 50.** Aparición de humedad en el ensayo de permeabilidad al agua.  
**Figura 51.** Aparición de humedad en el ensayo de permeabilidad al agua.



### 10.4.1.2 Gotas

Los patrones de aparición de gotas se pueden resumir en dos tipos; las que presentaron humedad en toda la probeta formando una superficie brillante y luego la aparición de gotas como en las que no se agregó materiales fibrosos y típico de las aplicaciones como pintura, y las que sin presentar humedad pasan

directo a la aparición de gotas y no de manera uniforme como lo fueron las que tenían materiales fibrosos.

**Figura 52. Aparición de gotas en el ensayo de permeabilidad al agua.**

**Figura 53. Aparición de gotas en el ensayo de permeabilidad al agua.**



## **10.5 Características sobre comportamiento de aspecto**

### **10.5.1 Nuançages (matices)**

Este término designa variaciones de color o de aspecto sobre la misma fachada. Este fenómeno, sobre todo sensible sobre los recubrimientos dejados crudos de proyección, es esencialmente debido a dos causas:

- **La preparación de la mezcla**

Las variaciones ligeras en la cantidad de agua de mezcla y en el modo de preparación de la mezcla provocan variaciones de tinte y de textura. La necesidad de amasar siempre el producto en las mismas condiciones directamente emana de eso.



- **La aplicación**

La presión de aire utilizada así como el ángulo de proyección y la distancia del cernido de proyección a la pared determinan la textura del grano obtenido en acabado. Las recuperaciones de proyección correspondiente a los diferentes niveles del andamiaje pueden así provocar nuançages. Un fraccionamiento de las superficies que hay que cubrir permite evitarlos. En acabado rascado, matices pueden ser atados a diferencias de espesor de aplicación, o sea antes de raspadura en respuesta a un mal adiestramiento del recubrimiento (baño), o sea a causa de irregularidades del soporte. En este último caso, es recomendado aplicar el baño en 2 pasos. En caso de interrupción de la aplicación, diferencias de tinte también pueden resultar de condiciones diferentes de toma del recubrimiento como la temperatura y humedad. Al notar no obstante que este fenómeno es tanto más pronunciado cuanto es más sostenido el tinte del recubrimiento y que tiende a atenuarse con envejecimiento del mismo.

### **10.5.2 Eflorescencia al secado**

Cuando un recubrimiento es aplicado en tiempo frío y húmedo, a menudo aparece en superficie de las eflorescencias blanquecinas en el curso del secado. Las erupciones son generalmente debidas a la carbonatación de esta cal que, en lugar de efectuarse dentro del recubrimiento, se produce en su superficie, el tiempo de secado que es más largo a causa de las condiciones atmosféricas y permite a la cal en solución en el agua de mezcla en exceso emigrar hasta la superficie del recubrimiento. Vemos pues que la aparición de

este fenómeno es sobre todo función de las condiciones atmosféricas en el período que sigue la aplicación del revestimiento.

Únicamente presenta un inconveniente según el plan del aspecto y es tanto más visible cuanto es más sostenido el tinte del recubrimiento. Es para esto que la aplicación de los recubrimientos de tinte constante es desaconsejada por el tiempo frío (temperatura inferior a 8 °C aproximadamente) y húmeda. Si este fenómeno es por demasiado molesto, puede ser atenuado por un lavado al agua ácida (el 10 % de ácido clorhídrico) o con la ayuda de productos destinados a este uso, acompañado por un cepillado enérgico y ordenado de uno o varios enjuagues.

### **10.5.3 Carbonatación diferencial a largo plazo**

Diferencias de tinte también pueden producirse a largo plazo sobre un recubrimiento sometido en condiciones diferentes de exposición (superficies protegidas de la lluvia por un balcón, un saliente o, al contrario, sometidas a chorros abundantes, ausencia de canalón). A causa de los ciclos humedecimiento secado a los cuales están sometidas las partes más expuestas, el mismo fenómeno de migración de cal libre y de carbonatación en superficie se produce, provocando aclaración del tinte del baño. Este fenómeno es tanto más sensible cuanto más capilar es el recubrimiento.

#### **10.5.4 Manchas**

Las manchas pueden ser debidas ya sea a la polución atmosférica o al reflejo de tierra en parte baja del baño, o sea al desarrollo de microorganismos (espumas, algas, líquenes) sobre las fachadas o las partes de fachadas muy húmedas o que se secan mal (proximidad de árboles, pies de pared sometida al reflejo de las aguas de lluvia, por ejemplo). Es posible suprimir momentáneamente a estos últimos por un lavado a la lejía diluida o con la ayuda de productos fungicidas previstos para este uso. El aspecto puede ser alterado a veces por la presencia de telarañas que es también posible eliminar por lavado o cepillado.

#### **10.5.5 Quema o alambra**

Este término traduce una desecación prematura del recubrimiento ya sea por absorción de agua del soporte (humedecimiento insuficiente, ausencia de capa de impresión), o sea a causa de las condiciones atmosféricas (el tiempo caliente, el viento seco) que generalmente se caracteriza por un espolvoreado del recubrimiento en su superficie. Una rehumectación del recubrimiento en los días que siguen la aplicación permite evitar esta deshidratación demasiado rápida. Este fenómeno es tanto más sensible cuanto más débil es el espesor de aplicación.

**Figura 54. Eflorescencias al secado, Nuançages y manchas.**



## RESULTADOS Y ANÁLISIS

Debido a que el agua es el enemigo número uno de los revestimientos de tierra, razón por la cual las características más importantes evaluadas mediante ensayos a las mezclas fueron la absorción por capilaridad y la permeabilidad al agua.

Más adelante, en la Tabla XV, se muestran todas las mezclas con aditivos aplicados al mortero fresco junto con el resumen de los resultados de su ensayo de absorción por capilaridad. El detalle de los resultados se incluye en el Anexo III.

Las mezclas que fallaron durante la realización de este ensayo, fueron básicamente aquellas que tenían ausencia de cal. Por sus propiedades hidrófugas y aglutinantes, es importante la adición de cal en las mezclas para elaboración de revestimientos; ya que se evita en gran porcentaje los deterioros causados por la intemperización.

Aunque la presencia de cal en las mezclas para revestimientos tuvo un efecto positivo, se debió prestar mucha atención a los materiales con los que se mezclaron; ya que algunos tuvieron una buena reacción con cal disminuyendo su coeficiente de capilaridad y otros tuvieron una mala reacción provocando que el coeficiente se elevara perjudicando el revestimiento.

En la Tabla XVI se presentan las mezclas a las cuales se les aplico materiales como pintura impermeable junto con el resumen de los resultados obtenidos del ensayo de absorción por capilaridad. La utilización de cal para la preparación de pinturas fue muy importante, ya que le brindó la característica

de repeler el agua o de retrasar el paso de agua en las mezclas. El detalle de los resultados se incluye en el Anexo IV.

**Tabla XV. Resumen ensayos de absorción por capilaridad en mezclas con sustancias aplicadas al mortero fresco.**

	COMBINACION	ABSORCION	C	
MUESTRA BASE	ARE+ARC+H2O	FALLO	-	
	ARE+ARC+CL+H2O	SI	21.90	
COMBINACION SUSTANCIAS VEGETALES	ARE+ARC+LV+H2O	FALLO	-	
	ARE+ARC+LV+CL+H2O	SI	14.06	
	ARE+ARC+NPL+H2O	FALLO	-	
	ARE+ARC+NPL+CL+H2O	SI	27.11	
	ARE+ARC+LNZ+H2O	SI	3.92	
	ARE+ARC+LNZ+CL+H2O	SI	3.01	
	ARE+ARC+OLV+H2O	FALLO	-	
	ARE+ARC+OLV+CL+H2O	SI	10.65	
	ARE+ARC+ASR+H2O	FALLO	-	
	ARE+ARC+ASR+CL+H2O	SI	29.43	
	ARE+ARC+ASR+NPL+CL+H2O	SI	32.63	
	ARE+ARC+ASR+LNZ+CL+H2O	SI	5.43	
	ARE+ARC+ASR+OLV+CL+H2O	SI	33.76	
	ARE+ARC+ASR+LV+CL+H2O	SI	37.92	
	ARE+ARC+CNZ+H2O	FALLO	-	
	ARE+ARC+CNZ+CL+H2O	SI	10.32	
COMBINACION SUSTANCIAS ANIMALES	ARE+ARC+CSN(1)+H2O	SI	16.70	
	ARE+ARC+CSN(1)+CL+H2O	SI	9.68	
	ARE+ARC+CSN(2)+H2O	SI	15.91	
	ARE+ARC+CSN(2)+CL+H2O	SI	7.53	
	ARE+ARC+SB+H2O	FALLO	-	
	ARE+ARC+SB+CL+H2O	SI	8.07	
	ARE+ARC+EST+H2O	FALLO	-	
	ARE+ARC+EST+CL+H2O	SI	11.99	
	ARE+ARC+SNG+H2O	FALLO	-	
	ARE+ARC+SNG+CL+H2O	SI	7.33	
	ARE+ARC+CDH+H2O	FALLO	-	
	ARE+ARC+CDH+CL+H2O	SI	14.21	
	ARE+ARC+CDC+H2O	FALLO	-	
	ARE+ARC+CDC+CL+H2O	SI	1.36	
	COMBINACION COMPUESTOS QUIMICOS	ARE+ARC+BRX+H2O	FALLO	-
		ARE+ARC+BRX+CL+H2O	SI	17.11
ARE+ARC+SDS+H2O		FALLO	-	
ARE+ARC+SDS+CL+H2O		SI	20.03	
ARE+ARC+CDS+H2O		FALLO	-	
ARE+ARC+CDS+CL+H2O		SI	13.37	
DESECHOS	ARE+ARC+PP+H2O	FALLO	-	
	ARE+ARC+PP+CL+H2O	SI	29.44	
COMBINACION SUST. VEGETAL & ANIMAL	ARE+ARC+NPL+CSN(1)+H2O	FALLO	-	
	ARE+ARC+NPL+CSN(1)+CL+H2O	SI	13.85	
	ARE+ARC+NPL+CSN(2)+H2O	FALLO	-	
	ARE+ARC+NPL+CSN(2)+CL+H2O	SI	0.66	
	ARE+ARC+NPL+CDH+CL+H2O	SI	22.51	
	ARE+ARC+LNZ+CDH+CL+H2O	SI	2.67	
	ARE+ARC+OLV+CDH+CL+H2O	SI	14.98	
	ARE+ARC+LV+CDH+CL+H2O	SI	12.05	
	ARE+ARC+NPL+EST+CL+H2O	SI	23.23	
	ARE+ARC+LNZ+EST+CL+H2O	SI	3.81	
	ARE+ARC+OLV+EST+CL+H2O	SI	19.72	
	ARE+ARC+LV+EST+CL+H2O	SI	19.71	
	COMBINACION SUST. ANIMAL & COMPUESTO QUIMICO	ARE+ARC+CSN(1)+BRX+H2O	FALLO	-
ARE+ARC+CSN(2)+BRX+H2O		FALLO	-	

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla XVI. Resumen ensayo de absorción por capilaridad en mezclas con sustancias aplicadas como pintura impermeable.**

COMBINACION	APLICACIÓN	ABSORCION	C
ARE+ARC+EST+CL+H2O	NPL	SI	9.06
ARE+ARC+EST+CL+H2O	OLV	SI	8.15
ARE+ARC+EST+CL+H2O	LV	SI	11.37
ARE+ARC+EST+CL+H2O	LNZ	SI	1.23
ARE+ARC+SNG+CL+H2O	LV	SI	6.84
ARE+ARC+SNG+CL+H2O	OLV	SI	6.99
ARE+ARC+SNG+CL+H2O	NPL	SI	11.10
ARE+ARC+CSN(1)+H2O	NPL	SI	8.30
ARE+ARC+CSN(1)+CL+H2O	NPL	SI	7.99
ARE+ARC+CSN(2)+H2O	NPL	SI	9.61
ARE+ARC+CSN(2)+CL+H2O	NPL	SI	6.52
ARE+ARC+OLV+CL+H2O	SNG	SI	1.03
ARE+ARC+LV+CL+H2O	SNG	SI	14.38
ARE+ARC+LNZ+CL+H2O	SNG	SI	14.37
ARE+ARC+NPL+CL+H2O	SNG	SI	19.26
ARE+ARC+CDH+CL+H2O	LNZ	SI	4.62
ARE+ARC+CDH+CL+H2O	OLV	SI	14.95
ARE+ARC+CDH+CL+H2O	LV	SI	15.35
ARE+ARC+CDH+CL+H2O	NPL	SI	14.37
ARE+ARC+ASR+CL+H2O	LNZ	SI	4.26
ARE+ARC+ASR+CL+H2O	LV	SI	24.64
ARE+ARC+ASR+CL+H2O	OLV	SI	26.35
ARE+ARC+ASR+CL+H2O	NPL	SI	32.19
ARE+ARC+H2O	CDC	FALLO	-
ARE+ARC+CL+H2O	CDC	SI	19.25
ARE+ARC+CL+H2O	CA	SI	5.80

*Fuente: Elaboración propia.*

La adición de sustancias vegetales, sustancias animales y compuestos químicos influyeron positivamente en las mezclas disminuyendo el coeficiente de absorción por capilaridad; aunque cabe resaltar que no todas las sustancias tienen este efecto. Por otro lado la aplicación de las sustancias como pintura impermeable mejoró las mezclas, disminuyendo el coeficiente de absorción por capilaridad en un porcentaje muy significativo.

A continuación se presenta la Tabla XVII donde se muestran todas las mezclas con aditivos aplicados al mortero en estado fresco con su respectivo coeficiente de absorción por capilaridad ordenado ascendentemente. En la tabla se encuentra una división de las mezclas que presentaron menor coeficiente de absorción que la muestra base y las que sucedió todo lo contrario. Para que los

revestimientos se comportaran satisfactoriamente debieron tener un coeficiente de capilaridad bastante bajo, por el contrario mientras el coeficiente aumentaba el revestimiento tendía a volverse vulnerable al ataque del agua. El detalle de los resultados se incluye en el Anexo III.

**Tabla XVII. Coeficiente de absorción por capilaridad de mezclas con sustancias mezcladas al mortero en estado fresco, ordenados ascendentemente.**

	<b>COMBINACION</b>	<b>C</b>
	ARE+ARC+NPL+CSN(2)+CL+H2O	0.66
	ARE+ARC+CDC+CL+H2O	1.36
	ARE+ARC+LNZ+CDH+CL+H2O	2.67
	ARE+ARC+LNZ+CL+H2O	3.01
	ARE+ARC+LNZ+EST+CL+H2O	3.81
	ARE+ARC+LNZ+H2O	3.92
	ARE+ARC+ASR+LNZ+CL+H2O	5.43
	ARE+ARC+SNG+CL+H2O	7.33
	ARE+ARC+CSN(2)+CL+H2O	7.53
	ARE+ARC+SB+CL+H2O	8.07
	ARE+ARC+CSN(1)+CL+H2O	9.68
	ARE+ARC+CNZ+CL+H2O	10.32
	ARE+ARC+OLV+CL+H2O	10.65
	ARE+ARC+EST+CL+H2O	11.99
	ARE+ARC+LV+CDH+CL+H2O	12.05
	ARE+ARC+CDS+CL+H2O	13.37
	ARE+ARC+NPL+CSN(1)+CL+H2O	13.85
	ARE+ARC+LV+CL+H2O	14.06
	ARE+ARC+CDH+CL+H2O	14.21
	ARE+ARC+OLV+CDH+CL+H2O	14.98
	ARE+ARC+CSN(2)+H2O	15.91
	ARE+ARC+CSN(1)+H2O	16.70
	ARE+ARC+BRX+CL+H2O	17.11
	ARE+ARC+LV+EST+CL+H2O	19.71
	ARE+ARC+OLV+EST+CL+H2O	19.72
	ARE+ARC+SDS+CL+H2O	20.03
<b>MUESTRA BASE</b>	ARE+ARC+CL+H2O	21.90
	ARE+ARC+NPL+CDH+CL+H2O	22.51
	ARE+ARC+NPL+EST+CL+H2O	23.23
	ARE+ARC+NPL+CL+H2O	27.11
	ARE+ARC+ASR+CL+H2O	29.43
	ARE+ARC+PP+CL+H2O	29.44
	ARE+ARC+ASR+NPL+CL+H2O	32.63
	ARE+ARC+ASR+OLV+CL+H2O	33.76
	ARE+ARC+ASR+LV+CL+H2O	37.92

*Fuente: Elaboración propia.*



En la Tabla XVIII se muestran las mezclas a las cuales se les hizo una aplicación de sustancias como pintura impermeable con objeto de reducir el coeficiente de absorción por capilaridad, los resultados se presentan de forma ascendente.

**Tabla XVIII. Coeficiente de absorción por capilaridad de mezclas con sustancias aplicadas como pintura impermeable, ordenados ascendentemente.**

COMBINACION	APLICACIÓN	C
ARE+ARC+OLV+CL+H2O	SNG	1.03
ARE+ARC+EST+CL+H2O	LNZ	1.23
ARE+ARC+ASR+CL+H2O	LNZ	4.26
ARE+ARC+CL+H2O	CA	5.80
ARE+ARC+CSN(2)+CL+H2O	NPL	6.52
ARE+ARC+SNG+CL+H2O	LV	6.84
ARE+ARC+SNG+CL+H2O	OLV	6.99
ARE+ARC+CSN(1)+CL+H2O	NPL	7.99
ARE+ARC+EST+CL+H2O	OLV	8.15
ARE+ARC+CSN(1)+H2O	NPL	8.30
ARE+ARC+EST+CL+H2O	NPL	9.06
ARE+ARC+CSN(2)+H2O	NPL	9.61
ARE+ARC+SNG+CL+H2O	NPL	11.10
ARE+ARC+EST+CL+H2O	LV	11.37
ARE+ARC+LNZ+CL+H2O	SNG	14.37
ARE+ARC+CDH+CL+H2O	NPL	14.37
ARE+ARC+LV+CL+H2O	SNG	14.38
ARE+ARC+CDH+CL+H2O	OLV	14.95
ARE+ARC+CDH+CL+H2O	LV	15.35
ARE+ARC+CL+H2O	CDC	19.25
ARE+ARC+NPL+CL+H2O	SNG	19.26
ARE+ARC+ASR+CL+H2O	LV	24.64
ARE+ARC+ASR+CL+H2O	OLV	26.35
ARE+ARC+ASR+CL+H2O	NPL	32.19
ARE+ARC+CDH+CL+H2O	LNZ	32.21

*Fuente: Elaboración propia.*

Los resultados obtenidos con sustancias aplicadas como pintura impermeable fueron muy prometedores, ya que redujeron en gran porcentaje el

coeficiente de absorción. Además, las sustancias empleadas como pintura se vieron influenciadas en gran parte por la composición de la mezcla de los materiales que conformaban el mortero en estado fresco. Es decir que en algunos casos, la aplicación de pintura fue un complemento para optimizar las propiedades del mortero y así reducimos en gran parte los defectos en los morteros causado por el agua. El detalle de los resultados se incluye en el Anexo IV.

Otra característica de suma importancia que se tomó en cuenta para el buen desempeño de los morteros es la permeabilidad al agua. Mientras más tiempo transcurrió para que el agua se abriera paso, mejor fue la calidad del mortero.

A continuación se presenta la Tabla XIX donde se muestran todas las mezclas con aditivos aplicados al mortero fresco junto con el resultado de su ensayo de permeabilidad al agua. De igual forma se puede observar que la presencia de cal fue necesaria en los morteros para un buen desempeño ante el ataque del agua, ya que las mezclas con ausencia de cal fallaron durante la realización de este ensayo. El detalle de los resultados se incluye en el Anexo V.

Aunque el uso de cal es importante, las mezclas se vieron influenciadas por las demás sustancias que formaron parte de la mezclas. La porosidad fue una característica muy importante a tener en cuenta en las mezclas, ya que la presencia de algunos materiales elevó la porosidad haciendo que las mezclas tuvieran resultados deficientes al ser ensayadas a la permeabilidad del agua.

Las mezclas con elevada porosidad crearon ramificaciones de espacios vacíos, los cuales facilitaron el paso de agua mucho antes de que la muestra

llegara a su estado de saturación y se pudiera observar humedad o presencia de gotas.

**Tabla XIX. Resumen del ensayo de permeabilidad al agua de mezclas con sustancias aplicadas al mortero fresco.**

MUESTRA BASE	COMBINACION	PERMEABILIDAD	
	ARE+ARC+H2O	FALLO	
	ARE+ARC+CL+H2O	SI	
COMBINACION SUSTANCIAS VEGETALES	ARE+ARC+LV+H2O	FALLO	
	ARE+ARC+LV+CL+H2O	SI	
	ARE+ARC+NPL+H2O	FALLO	
	ARE+ARC+NPL+CL+H2O	SI	
	ARE+ARC+LNZ+H2O	SI	
	ARE+ARC+LNZ+CL+H2O	SI	
	ARE+ARC+OLV+H2O	FALLO	
	ARE+ARC+OLV+CL+H2O	SI	
	ARE+ARC+ASR+H2O	FALLO	
	ARE+ARC+ASR+CL+H2O	SI	
	ARE+ARC+ASR+NPL+CL+H2O	SI	
	ARE+ARC+ASR+LNZ+CL+H2O	SI	
	ARE+ARC+ASR+OLV+CL+H2O	SI	
	ARE+ARC+ASR+LV+CL+H2O	SI	
	ARE+ARC+CNZ+H2O	FALLO	
	ARE+ARC+CNZ+CL+H2O	SI	
	COMBINACION SUSTANCIAS ANIMALES	ARE+ARC+CSN(1)+H2O	SI
ARE+ARC+CSN(1)+CL+H2O		SI	
ARE+ARC+CSN(2)+H2O		SI	
ARE+ARC+CSN(2)+CL+H2O		SI	
ARE+ARC+SB+H2O		FALLO	
ARE+ARC+SB+CL+H2O		SI	
ARE+ARC+EST+H2O		FALLO	
ARE+ARC+EST+CL+H2O		SI	
ARE+ARC+SNG+H2O		FALLO	
ARE+ARC+SNG+CL+H2O		SI	
ARE+ARC+CDH+H2O		SI	
ARE+ARC+CDH+CL+H2O		SI	
ARE+ARC+CDC+H2O		FALLO	
ARE+ARC+CDC+CL+H2O		SI	
COMBINACION COMPUESTOS QUIMICOS		ARE+ARC+BRX+H2O	SI
		ARE+ARC+BRX+CL+H2O	SI
		ARE+ARC+SDS+H2O	SI
	ARE+ARC+SDS+CL+H2O	SI	
	ARE+ARC+CDS+H2O	FALLO	
	ARE+ARC+CDS+CL+H2O	SI	
DESECHOS	ARE+ARC+PP+H2O	FALLO	
	ARE+ARC+PP+CL+H2O	SI	
COMBINACION SUST. VEGETAL & ANIMAL	ARE+ARC+NPL+CSN(1)+H2O	SI	
	ARE+ARC+NPL+CSN(1)+CL+H2O	SI	
	ARE+ARC+NPL+CSN(2)+H2O	SI	
	ARE+ARC+NPL+CSN(2)+CL+H2O	SI	
	ARE+ARC+NPL+CDH+CL+H2O	SI	
	ARE+ARC+LNZ+CDH+CL+H2O	SI	
	ARE+ARC+OLV+CDH+CL+H2O	SI	
	ARE+ARC+LV+CDH+CL+H2O	SI	
	ARE+ARC+NPL+EST+CL+H2O	SI	
	ARE+ARC+LNZ+EST+CL+H2O	SI	
	ARE+ARC+OLV+EST+CL+H2O	SI	
	ARE+ARC+LV+EST+CL+H2O	SI	
	COMBINACION SUST. ANIMAL & COMPUESTO QUIMICO	ARE+ARC+CSN(1)+BRX+H2O	SI
ARE+ARC+CSN(2)+BRX+H2O		SI	

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla XX se presentan las mezclas a las cuales se les aplicó materiales como pintura impermeable junto con los resultados obtenidos del ensayo de permeabilidad al agua. El detalle de los resultados se incluye en el Anexo VI.

**Tabla XX. Resumen del ensayo de permeabilidad al agua de mezclas con sustancias aplicadas como pintura impermeable.**

COMBINACION	APLICACION	PERMEABILIDAD
ARE+ARC+EST+CL+H2O	NPL	SI
ARE+ARC+EST+CL+H2O	OLV	SI
ARE+ARC+EST+CL+H2O	LV	SI
ARE+ARC+EST+CL+H2O	LNZ	SI
ARE+ARC+SNG+CL+H2O	LV	SI
ARE+ARC+SNG+CL+H2O	OLV	SI
ARE+ARC+SNG+CL+H2O	NPL	SI
ARE+ARC+CSN(1)+H2O	NPL	SI
ARE+ARC+CSN(1)+CL+H2O	NPL	SI
ARE+ARC+CSN(2)+H2O	NPL	SI
ARE+ARC+CSN(2)+CL+H2O	NPL	SI
ARE+ARC+OLV+CL+H2O	SNG	SI
ARE+ARC+LV+CL+H2O	SNG	SI
ARE+ARC+LNZ+CL+H2O	SNG	SI
ARE+ARC+NPL+CL+H2O	SNG	SI
ARE+ARC+CDH+CL+H2O	LNZ	SI
ARE+ARC+CDH+CL+H2O	OLV	SI
ARE+ARC+CDH+CL+H2O	LV	SI
ARE+ARC+CDH+CL+H2O	NPL	SI
ARE+ARC+ASR+CL+H2O	LNZ	SI
ARE+ARC+ASR+CL+H2O	LV	SI
ARE+ARC+ASR+CL+H2O	OLV	SI
ARE+ARC+ASR+CL+H2O	NPL	SI
ARE+ARC+H2O	CDC	FALLO
ARE+ARC+CL+H2O	CDC	SI
ARE+ARC+CL+H2O	CA	SI

*Fuente: Elaboración propia.*

En la Tabla XXI se presentan las mezclas de materiales aplicadas al mortero fresco junto con el tiempo promedio de filtración en minutos, que se obtuvo en cada mezcla durante el ensayo de permeabilidad; los cuales están ordenados de forma descendente.

Mientras más alto es el tiempo promedio de filtración, mejor resistencia al paso de agua. El ensayo de permeabilidad al agua se caracterizó por la presencia de tres etapas muy remarcadas: la aparición de humedad, la aparición de gotas y la filtración. El detalle de los resultados se incluye en el Anexo V.

**Tabla XXI. Resumen del ensayo de permeabilidad al agua de mezclas con sustancias aplicadas al mortero fresco, ordenadas descendientemente.**

	COMBINACION	TIEMPO FILTRACION (min)
	ARE+ARC+NPL+CSN(2)+CL+H2O	1744
	ARE+ARC+LNZ+CL+H2O	1176
	ARE+ARC+CDS+CL+H2O	747
	ARE+ARC+CNZ+CL+H2O	409
	ARE+ARC+LNZ+CDH+CL+H2O	393
	ARE+ARC+OLV+CL+H2O	386
	ARE+ARC+SNG+CL+H2O	306
	ARE+ARC+NPL+CSN(1)+CL+H2O	229
	ARE+ARC+CSN(1)+CL+H2O	221
MUESTRA BASE	ARE+ARC+CL+H2O	220
	ARE+ARC+ASR+LNZ+CL+H2O	187
	ARE+ARC+LNZ+EST+CL+H2O	182
	ARE+ARC+ASR+OLV+CL+H2O	157
	ARE+ARC+CDH+CL+H2O	157
	ARE+ARC+ASR+NPL+CL+H2O	139
	ARE+ARC+SB+CL+H2O	135
	ARE+ARC+OLV+CDH+CL+H2O	131
	ARE+ARC+LV+CDH+CL+H2O	117
	ARE+ARC+CSN(2)+CL+H2O	109
	ARE+ARC+CDC+CL+H2O	92
	ARE+ARC+LV+CL+H2O	91
	ARE+ARC+BRX+CL+H2O	90
	ARE+ARC+NPL+CDH+CL+H2O	90
	ARE+ARC+NPL+CL+H2O	88
	ARE+ARC+EST+CL+H2O	65
	ARE+ARC+OLV+EST+CL+H2O	59
	ARE+ARC+ASR+CL+H2O	57
	ARE+ARC+NPL+EST+CL+H2O	37
	ARE+ARC+LV+EST+CL+H2O	37
	ARE+ARC+SDS+CL+H2O	28
	ARE+ARC+CSN(2)+H2O	22
	ARE+ARC+CSN(1)+H2O	21
	ARE+ARC+CSN(1)+BRX+H2O	21
	ARE+ARC+ASR+LV+CL+H2O	19
	ARE+ARC+PP+CL+H2O	15
	ARE+ARC+CSN(2)+BRX+H2O	9
	ARE+ARC+SDS+H2O	7
	ARE+ARC+BRX+H2O	6
	ARE+ARC+NPL+CSN(1)+H2O	1
	ARE+ARC+NPL+CSN(2)+H2O	0.87
	ARE+ARC+CDH+H2O	0.25
	ARE+ARC+LNZ+H2O	0.15

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla XXII se presentan las mezclas a las cuales se les aplicó sustancias como pintura impermeable junto con el tiempo promedio de filtración; que se obtuvo en cada una de ellas durante el ensayo de permeabilidad, los cuales están ordenados descendientemente. El detalle de los resultados se incluye en el Anexo VI.

**Tabla XXII. Tiempo de filtración promedio de probetas con sustancias aplicadas como pintura impermeable, ordenadas descendientemente.**

COMBINACION	APLICACIÓN	TIEMPO FILTRACION (min)
ARE+ARC+EST+CL+H2O	LNZ	1588
ARE+ARC+LNZ+CL+H2O	SNG	1188
ARE+ARC+SNG+CL+H2O	LV	617
ARE+ARC+OLV+CL+H2O	SNG	444
ARE+ARC+SNG+CL+H2O	OLV	430
ARE+ARC+CSN(2)+CL+H2O	NPL	304
ARE+ARC+ASR+CL+H2O	LNZ	249
ARE+ARC+EST+CL+H2O	NPL	201
ARE+ARC+CSN(1)+CL+H2O	NPL	197
ARE+ARC+SNG+CL+H2O	NPL	183
ARE+ARC+CL+H2O	CA	170
ARE+ARC+EST+CL+H2O	OLV	156
ARE+ARC+CDH+CL+H2O	LNZ	156
ARE+ARC+CDH+CL+H2O	OLV	131
ARE+ARC+CDH+CL+H2O	LV	129
ARE+ARC+EST+CL+H2O	LV	115
ARE+ARC+LV+CL+H2O	SNG	91
ARE+ARC+ASR+CL+H2O	LV	91
ARE+ARC+CL+H2O	CDC	87
ARE+ARC+ASR+CL+H2O	NPL	78
ARE+ARC+NPL+CL+H2O	SNG	76
ARE+ARC+CDH+CL+H2O	NPL	68
ARE+ARC+ASR+CL+H2O	OLV	44
ARE+ARC+CSN(2)+H2O	NPL	34
ARE+ARC+CSN(1)+H2O	NPL	19

*Fuente: Elaboración propia.*

Es claro que la adición de cualquier material sin importar su naturaleza, ya sea vegetal, animal, compuesto químico o alguna combinación de los

anteriores influyó positivamente en el comportamiento del revestimiento frente a la problemática que causa el agua. Aunque hay una gran diferencia de comportamiento, entre la utilización de un material aplicado al mortero fresco a utilizarlo como pintura impermeable. Existen materiales que arrojaron buenos resultados como aditivos al mortero fresco y resultados deficientes en su aplicación como pintura.

Aunque fueron varias las combinaciones y aplicaciones de pintura que mostraron un coeficiente de capilaridad más bajo a la muestra base, no fue así el caso del ensayo de permeabilidad. El tiempo promedio de filtración fue mayor en pocas combinaciones y aplicaciones de pintura comparado a la muestra base. Para que el revestimiento tuviera un buen desempeño fue necesario de conseguir una buena armonía entre estos dos parámetros, ya que el coeficiente de capilaridad debió ser bastante bajo y el tiempo promedio de filtración de agua debió ser bastante alto.

Para las aplicaciones de pintura la mayoría de sustancias fueron mezclas con cal, que proveyó propiedades aglutinantes e hidrófugas. Los beneficios obtenidos con el uso de cal fueron desde un acabado mate, menor absorción, endurecimiento con el tiempo, además que la humedad favoreció la carbonatación y facilitó la adherencia sobre las mezclas.

Al finalizar la realización de ensayos, se deseó hacer ciertas sugerencias para la aplicación de las mezclas. Debido a la cantidad de mezclas y los diferentes comportamientos de los materiales, lo que se hizo fue encontrar un punto de equilibrio entre los resultados de los ensayos de absorción por capilaridad y los de permeabilidad al agua.

En la XXIII se muestra la relación de los ensayos respectivos para cada mezcla con sustancias aplicadas al mortero fresco. Se identificaron las sugerencias con distintos colores: el rojo sugiere la utilización de mezclas para revestimientos exteriores en casas de adobe o bajareque, aplicaciones en piso o en muros de piedra; el azul sugiere la utilización de mezclas para revestimientos interiores además de tratar de mejorar sus características; el verde son las que se deberá hacer un análisis exhaustivo para profundizar en su optimización. Todas las mezclas que no tiene una flecha que indique la relación fueron aquellas que no se les pudo realizar cualquiera de los dos ensayos, por lo cual se descartaron para poder prestar mayor atención a las demás mezclas.

En la Tabla XXIV se muestra la relación de los ensayos respectivos para cada mezcla con sustancias aplicadas como pintura impermeable. Se identificaron las sugerencias con distintos colores: el rojo sugiere la utilización de mezclas para revestimientos exteriores en casas de adobe o bajareque, aplicaciones en piso, en muros de piedra o bien como tratamiento superficial; el azul sugiere la utilización de mezclas para revestimientos interiores además profundizar para su posible optimización; el verde son las que se descartaron por presentar características deficientes.

En el capítulo 8 se podrán encontrar las proporciones en función del volumen de cada una de las mezclas sugeridas, bien sea sustancias aplicadas al mortero en estado fresco o sustancias aplicadas como pintura impermeable.



**Tabla XXIII. Relación entre el ensayo de absorción por capilaridad y la permeabilidad al agua, para la recomendación de mezclas con sustancias aplicadas al mortero fresco.**

COMBINACION	C	COMBINACION	TIEMPO FILTRACION (min)
ARE+ARC+NPL+CSN(2)+CL+H2O	0.66	ARE+ARC+NPL+CSN(2)+CL+H2O	1744
ARE+ARC+CDJ+CL+H2O	1.36	ARE+ARC+LNZ+CL+H2O	1176
ARE+ARC+LNZ+CDH+CL+H2O	2.67	ARE+ARC+CDS+CL+H2O	747
ARE+ARC+LNZ+CL+H2O	3.01	ARE+ARC+CNZ+CL+H2O	409
ARE+ARC+LNZ+EST+CL+H2O	3.81	ARE+ARC+LNZ+CDH+CL+H2O	383
ARE+ARC+LNZ+H2O	3.92	ARE+ARC+OLV+CL+H2O	306
ARE+ARC+ASR+LNZ+CL+H2O	5.43	ARE+ARC+SNG+CL+H2O	229
ARE+ARC+SNG+CL+H2O	7.33	ARE+ARC+NPL+CSN(1)+CL+H2O	221
ARE+ARC+CSN(2)+CL+H2O	7.53	ARE+ARC+CSN(1)+CL+H2O	220
ARE+ARC+SB+CL+H2O	8.07	ARE+ARC+ASR+LNZ+CL+H2O	187
ARE+ARC+CSN(1)+CL+H2O	9.68	ARE+ARC+LNZ+EST+CL+H2O	182
ARE+ARC+CNZ+CL+H2O	10.32	ARE+ARC+ASR+OLV+CL+H2O	157
ARE+ARC+OLV+CL+H2O	10.65	ARE+ARC+CDH+CL+H2O	157
ARE+ARC+EST+CL+H2O	11.99	ARE+ARC+ASR+NPL+CL+H2O	139
ARE+ARC+LV+CDH+CL+H2O	12.05	ARE+ARC+SB+CL+H2O	135
ARE+ARC+CDS+CL+H2O	13.37	ARE+ARC+OLV+CDH+CL+H2O	131
ARE+ARC+NPL+CSN(1)+CL+H2O	13.85	ARE+ARC+LNZ+CDH+CL+H2O	117
ARE+ARC+LV+CL+H2O	14.06	ARE+ARC+CDO+CL+H2O	92
ARE+ARC+CDH+CL+H2O	14.21	ARE+ARC+LV+CL+H2O	91
ARE+ARC+OLV+CDH+CL+H2O	14.98	ARE+ARC+BRX+CL+H2O	90
ARE+ARC+CSN(2)+H2O	15.91	ARE+ARC+NPL+CL+H2O	88
ARE+ARC+CSN(1)+H2O	16.70	ARE+ARC+EST+CL+H2O	85
ARE+ARC+BRX+CL+H2O	17.11	ARE+ARC+OLV+EST+CL+H2O	59
ARE+ARC+LV+EST+CL+H2O	19.71	ARE+ARC+ASR+CL+H2O	57
ARE+ARC+OLV+EST+CL+H2O	19.72	ARE+ARC+NPL+EST+CL+H2O	37
ARE+ARC+SDS+CL+H2O	20.03	ARE+ARC+LV+EST+CL+H2O	37
ARE+ARC+CL+H2O	21.90	ARE+ARC+SDS+CL+H2O	28
ARE+ARC+NPL+ODH+CL+H2O	22.51	ARE+ARC+CSN(2)+H2O	22
ARE+ARC+NPL+EST+CL+H2O	23.23	ARE+ARC+CSN(1)+H2O	21
ARE+ARC+NPL+CL+H2O	27.11	ARE+ARC+CSN(1)+BRX+H2O	21
ARE+ARC+ASR+CL+H2O	29.43	ARE+ARC+ASR+LV+CL+H2O	19
ARE+ARC+PP+CL+H2O	29.44	ARE+ARC+PP+CL+H2O	15
ARE+ARC+ASR+NPL+CL+H2O	29.44	ARE+ARC+CSN(2)+BRX+H2O	9
ARE+ARC+ASR+OLV+CL+H2O	32.63	ARE+ARC+SDS+H2O	7
ARE+ARC+ASR+LV+CL+H2O	33.76	ARE+ARC+BRX+H2O	6
ARE+ARC+ASR+LV+CL+H2O	37.92	ARE+ARC+NPL+CSN(1)+H2O	1
		ARE+ARC+NPL+CSN(2)+H2O	0.87
		ARE+ARC+ODH+H2O	0.25
		ARE+ARC+LNZ+H2O	0.15

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla XXIV. Relación entre el ensayo de absorción por capilaridad y la permeabilidad al agua, para la recomendación de mezclas con sustancias aplicadas como pintura impermeable.**

COMBINACION	APLICACION	C	COMBINACION	APLICACION	TIEMPO FILTRACION (min)
ARE+ARC+OLV+CL+H2O	SNG	1.03	ARE+ARC+EST+CL+H2O	LNZ	1588
ARE+ARC+EST+CL+H2O	LNZ	1.23	ARE+ARC+LNZ+CL+H2O	SNG	1188
ARE+ARC+ASR+CL+H2O	LNZ	4.26	ARE+ARC+SNG+CL+H2O	LV	617
ARE+ARC+CL+H2O	CA	5.80	ARE+ARC+OLV+CL+H2O	SNG	444
ARE+ARC+CSN(2)+CL+H2O	NPL	6.52	ARE+ARC+SNG+CL+H2O	OLV	430
ARE+ARC+SNG+CL+H2O	LV	6.84	ARE+ARC+CSN(2)+CL+H2O	NPL	304
ARE+ARC+SNG+CL+H2O	OLV	6.99	ARE+ARC+ASR+CL+H2O	LNZ	249
ARE+ARC+CSN(1)+CL+H2O	NPL	7.99	ARE+ARC+EST+CL+H2O	NPL	201
ARE+ARC+EST+CL+H2O	OLV	8.15	ARE+ARC+CSN(1)+CL+H2O	NPL	197
ARE+ARC+CSN(1)+H2O	NPL	8.30	ARE+ARC+SNG+CL+H2O	NPL	183
ARE+ARC+EST+CL+H2O	NPL	9.06	ARE+ARC+CL+H2O	CA	170
ARE+ARC+CSN(2)+H2O	NPL	9.61	ARE+ARC+EST+CL+H2O	OLV	156
ARE+ARC+SNG+CL+H2O	NPL	11.10	ARE+ARC+CDH+CL+H2O	LNZ	156
ARE+ARC+EST+CL+H2O	LV	11.37	ARE+ARC+CDH+CL+H2O	OLV	131
ARE+ARC+LNZ+CL+H2O	SNG	14.37	ARE+ARC+CDH+CL+H2O	LV	129
ARE+ARC+CDH+CL+H2O	NPL	14.37	ARE+ARC+EST+CL+H2O	LV	115
ARE+ARC+LV+CL+H2O	SNG	14.38	ARE+ARC+LV+CL+H2O	SNG	91
ARE+ARC+CDH+CL+H2O	OLV	14.95	ARE+ARC+ASR+CL+H2O	LV	91
ARE+ARC+CDH+CL+H2O	LV	15.35	ARE+ARC+CL+H2O	CDC	87
ARE+ARC+CL+H2O	CDC	19.25	ARE+ARC+ASR+CL+H2O	NPL	78
ARE+ARC+NPL+CL+H2O	SNG	19.26	ARE+ARC+NPL+CL+H2O	SNG	76
ARE+ARC+ASR+CL+H2O	LV	24.64	ARE+ARC+CDH+CL+H2O	NPL	68
ARE+ARC+ASR+CL+H2O	OLV	26.35	ARE+ARC+ASR+CL+H2O	OLV	44
ARE+ARC+ASR+CL+H2O	NPL	32.19	ARE+ARC+CSN(2)+H2O	NPL	34
ARE+ARC+CDH+CL	LNZ	32.21	ARE+ARC+CSN(1)+H2O	NPL	19

Fuente: Elaboración propia.

Además se realizaron análisis de laboratorio al suelo utilizado con motivo de conocer sus propiedades y características. En el anexo VII se muestra los resultados de los ensayos realizados en el Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Facultad de Ingeniería para caracterizar el suelo.

Para el cálculo de la densidad se elaboraron formatos que sirvieron como guía con el objeto de tener la información lo más ordenada posible. Los datos obtenidos se tabularon dentro del formato establecido, obteniendo de estos una hoja electrónica con los resultados que se presentan en el anexo VIII.

Para el ensayo de absorción por capilaridad se elaboraron formatos que sirvieron como guía con el objeto de tener la información lo más ordenada posible. Los datos obtenidos de los ensayos se tabularon dentro del formato establecido, obteniendo de estos una hoja electrónica con los resultados y gráficas correspondientes a cada ensayo. El formato se incluye en el Anexo IX.

Para el ensayo de permeabilidad al agua se elaboraron formatos que sirvieron como guía con el objeto de tener la información lo más ordenada posible. Los datos obtenidos de los ensayos se tabularon dentro del formato establecido, obteniendo de estos una hoja electrónica con los resultados y gráficas correspondientes a cada ensayo. El formato se incluye en el Anexo X.

Para la evaluación de comportamientos de aspecto se elaboraron formatos que sirvieron como guía con el objeto de tener la información lo más ordenada posible. Los datos obtenidos de la caracterización de estas propiedades se colocó en una hoja electrónica la cual se incluye en el Anexo XI.



## CONCLUSIONES

1. La naturaleza nos presentó materiales muy variados, y por ende tendieron a tener características muy distintas. Se tuvo sumo cuidado a la hora de la utilización de estos, debido a la complejidad de los mismos, sin embargo, la facilidad de recolección hizo posible estudiarlos detenidamente para enfocarlos de la mejor manera posible para poder disminuir en gran porcentaje el mantenimiento de los muros.
2. Los materiales vegetales que nos brindó la naturaleza propia de la Aldea El Tule en el municipio de Quesada en el departamento de Jutiapa; como lo fue el nopal, la lengua de vaca y el olivo de los cuales los últimos dos tuvieron una influencia significativa de aproximadamente 40% en disminución del coeficiente de absorción por capilaridad respecto a la mezcla base. No fue el caso del nopal que su presencia perjudicó el coeficiente de absorción aunque no por mucha diferencia.
3. En el ensayo de permeabilidad al agua la utilización de olivo aumentó el tiempo de filtración promedio en un 70% aproximadamente, lamentablemente la lengua de vaca y el nopal redujeron el tiempo de filtración con respecto a la mezcla base.
4. La utilización de aceite de linaza en las mezclas agregado como sustancia al mortero fresco, fue en estado crudo. Esta sustancia le brindó un acabado bastante liso a la mezcla y un comportamiento hidrófugo, además de reducir en un 85% aproximadamente el coeficiente de absorción y aumentar más de cinco veces el tiempo promedio de filtración con respecto a la mezcla base.

5. En las mezclas donde se utilizó ceniza se obtuvo un mortero con un acabado muy bueno y de color grisáceo; la repercusión de ceniza en la mezcla fue una disminución de un poco más del 50% del coeficiente de absorción y casi la duplicidad del tiempo promedio de filtración de la mezcla base.
6. Aunque la mayoría de sustancias vegetales influyeron positivamente, no fue así el caso del aserrín que aunque reduce la contracción de la mezcla; aumenta la capacidad de absorción en más de un 30% y una disminución en el tiempo de filtración promedio de casi cuatro veces con respecto a la mezcla base.
7. Un material bastante inusual en estos tiempos, aunque antiguamente era muy utilizado por muchas civilizaciones fue la sangre. Por sus propiedades aglutinantes, hicieron que la muestra disminuyera enormemente su porosidad; lo cual provocó una disminución de más del 60% en el coeficiente de absorción y un aumento de casi 40% del tiempo promedio de filtración con respecto a la mezcla base.
8. La implementación del sebo proveniente del ganado vacuno como sustancia aplicada al mortero fresco influyó positivamente, con una disminución de más del 60% en el coeficiente de absorción. Aunque el tiempo promedio de filtración se vio perjudicado en una disminución de más de 60% con respecto a la mezcla base.
9. Por su consistencia fibrosa el estiércol de caballo reduce enormemente la contracción de la mezcla, evitando de esta manera la fisuración en gran medida. Por otro lado, redujo en un 45% el coeficiente de absorción,

sus efectos negativos se vieron en una disminución del tiempo promedio de filtración de casi tres veces respecto a la mezcla base.

10. Durante la realización del queso, queda un residuo llamado suero que llamamos caseína. Aunque esta sustancia es insoluble en agua produjo una buena reacción química con la cal; ya que disminuyó en un 55% el coeficiente de absorción y un tiempo de filtración promedio aproximadamente igual al de la mezcla base.
11. También existe un suero residuo de realizar requesón, esta sustancia (caseína) aunque es insoluble en agua reaccionó positivamente con la cal. Los resultados de la utilización de este material mostraron una disminución del 65% del coeficiente de absorción y una disminución del doble del tiempo de filtración promedio de la mezcla base.
12. La clara de huevo se utilizó por sus propiedades aglutinantes, esta sustancia le dio un aspecto brillante a la superficie y acabado bastante bueno al mortero. La implementación de esta sustancia redujo en un 35% el coeficiente de absorción y un 40% en el tiempo promedio de filtración con respecto a la mezcla base.
13. Producto del cuero de los cerdos se obtiene una cola; la implementación de esta sustancia redujo la porosidad de la mezcla, aunque presentó pequeñas fisuras y un acabado color quemado bastante liso. Esto conllevó a una disminución del 93% del coeficiente de absorción y más de dos veces el tiempo promedio de filtración de la mezcla base.

14. De los compuestos químicos aplicados en las mezclas al mortero en estado fresco, fue el carbonato de sodio y el bórax los que dieron un buen resultado. Se presentó una disminución del 38% y 21% del coeficiente de absorción respectivamente. Referente al tiempo de filtración promedio, solo el carbonato de sodio presentó un aumento de más de tres veces el de la mezcla base mientras que el bórax lo redujo aproximadamente dos veces.
15. Utilizar desechos en la elaboración de mezclas, como lo fue el caso del papel periódico no produjo resultados muy prometedores. Debido a la presencia de los diferentes químicos utilizados en su fabricación, los cuales produjeron una fragilización y descascaramiento de la mezcla perjudicando enormemente sus propiedades.
16. En todas las mezclas fue necesario de la utilización cal, que proveyó propiedades aglutinantes e hidrófugas. Los beneficios obtenidos con el uso de cal fueron desde un acabado mate, una menor absorción, endurecimiento con el tiempo, además que la humedad favoreció la carbonatación y en el caso particular de las pinturas facilitó la adherencia sobre las mezclas.
17. Debido a las grandes diferencias entre los suelos, se tuvo mucho cuidado en la selección de este material ya que para la realización de las mezclas se necesitó que tuvieran características como mucha plasticidad, poca contracción, buena graduación y libre de impurezas.
18. Dos mezclas fueron únicamente las que no necesitaron la adición de cal para presentar buenos resultados en el ensayo de absorción, estas



fueron las que contenían los sueros productos de la realización del queso y del requesón. Estos materiales presentaron una disminución del 23% y 27% del coeficiente de absorción respecto a las mezclas bases, aunque lamentablemente en el ensayo de permeabilidad arrojaron resultados extremadamente deficientes.

19. En las aplicaciones de sustancias como pinturas impermeables aunque los resultados de los ensayos se vieron influenciados por la mezcla de los morteros se logró observar y medir cierta mejoría de las mezclas.
20. La sangre como pintura impermeable aplicada en los morteros arrojó resultados positivos desde un 90 hasta un 29% de disminución del coeficiente de absorción con respecto a la mezcla base. Por otro lado, los tiempos de filtración promedio se vieron aumentados desde un 1% hasta un 15% respecto a la mezclas bases.
21. Aplicar aceite de linaza como pintura en los morteros produjo disminuciones desde 9 a 6 veces del coeficiente de absorción con respecto a la mezcla base. En lo referente al tiempo promedio de filtración se observaron aumentos desde 4 a 24 veces del de la mezclas bases.
22. El mucílago de nopal aplicado como pintura impermeable aplicada a los mortero produjo disminuciones que van desde 9% hasta 50% del coeficiente de absorción, y aumentos de 1.3 a 3 veces en el tiempo promedio de filtración respecto a las mezclas bases.

23. El látex de olivo aplicado como pintura impermeable aplicada a los morteros repercutió en disminuciones del 5% al 32% en el coeficiente de absorción, los tiempos promedios de filtración se incrementaron desde un 16% a 2.4 veces del de las mezclas bases.
24. El mucílago de la lengua de vaca como pintura impermeable aplicada a los morteros produjo bajas disminuciones que van desde 5% hasta 16% del coeficiente de absorción, el tiempo de filtración promedio se vio incrementado en 1.6 a 2 veces del de las muestras bases.
25. La utilización de cola de cerdo como pintura impermeable aplicada a los morteros disminuyó en un 12% el coeficiente de absorción con respecto a la muestra base, y el tiempo promedio de filtración disminuyó 2.5 veces el de la muestra base.
26. La cera de abeja como pintura impermeable aplicada a los morteros disminuyó en 3.7 veces el coeficiente de absorción, y aumento 1.2 veces el tiempo promedio de filtración respecto a la muestra base.
27. Para que las mezclas de los morteros presentarán un buen comportamiento, se tuvo bastante control en el tratamiento de cada una de las sustancias; desde su obtención hasta su aplicación se tuvo muy en cuenta los cambios en sus características.
28. La implementación de ensayos nos permitió establecer una jerarquía a las mezclas con sustancias aplicadas al mortero fresco y a las mezclas con aplicaciones de sustancias como pintura impermeable; sin embargo la elección de cada una de ellas se realizó con mucho cuidado y teniendo

en cuenta las condiciones, necesidades, el enfoque y las condiciones de aplicación.

29. Debido a la gran cantidad de factores que dañan los revestimientos, se profundizó en el estudio de dos muy importantes como lo son la absorción por capilaridad y la permeabilidad al agua. Una vez mejoradas estas características, los revestimientos se vuelven resistentes a la intemperie, el ataque insectos, hongos y bacterias.



## RECOMENDACIONES

1. Como bien se sabe, los materiales que brinda la naturaleza, no son para toda la vida. Estos sufren de descomposición, desintegración y diferentes daños a lo largo del tiempo por diferentes causas que van desde las inclemencias del clima, ataque de insectos, animales, hongos entre otras; lo que hace necesario prestar atención a su deterioro y proveer un mantenimiento constante que garantizará un desempeño correcto de las mezclas.
2. La transferencia de tecnología es muy importante una vez definida la jerarquía de mezclas y encontrado el punto de equilibrio, definiendo las aplicaciones sugeridas; ya que transferir los conocimientos sistemáticos y el proceso de aplicación de los morteros crea una relación recíproca entre la comunidad y el proveedor de la transferencia quien deberá ser una persona capacitada, profesional o con conocimientos y experiencia en el área.
3. Una fusión de factores como la necesidad, el ingenio y la cooperación vecinal es necesaria para poder elaborar y aplicar los revestimientos; ya que aparte de jugar un papel arquitectónico decorativo, deben mostrar los valores culturales, el devenir histórico de la comunidad y las circunstancias ambientales.
4. Profundizar en el estudio y experimentación de las mezclas que presentaron comportamientos aceptables, es necesario para reducir el número de mezclas como fue el caso de las mezclas presentadas en las Tablas X, XI, XII y XIII. Este puede ser el camino para que los materiales

que brinda la naturaleza, se vuelvan una alternativa a la proliferación de la construcción costosa que utiliza materiales fabricados con recursos y energías no renovables, y que además causan un gran impacto ambiental.

5. La utilización de materiales fibrosos como el estiércol o el aserrín en la fabricación de las mezclas, disminuyó en gran medida la aparición de fisuras en los revestimientos. Este tipo de materiales disminuyen la contracción de la mezcla, aunque se debe tener sumo cuidado ya que pueden incrementar el coeficiente de absorción por capilaridad.
6. Todas las sustancias aplicadas como pintura impermeable como tratamiento superficial en muros de tierra, tienen mejor resultado si son aplicadas en dos capas reduciendo los ataques del agua y distanciando el tiempo de mantenimiento.
7. Aplicar y experimentar en campo las mezclas sugeridas para sus diferentes aplicaciones es una complementación a la investigación, por lo que se exhorta a las siguientes generaciones a realizar pruebas de campo en la Aldea El Tule en el departamento de Jutiapa.
8. Seleccionar el color de la vivienda es bastante complejo, donde se deberá tener en cuenta la opinión de los habitantes y una armonía con el entorno. El color tiene gran repercusión en el estado de ánimo de las personas y deberá tenerse mucha atención a no causar una contaminación visual.

9. Las condiciones para la elaboración de los morteros deberán ser tomadas muy en cuenta, dentro de las cuales se encuentra temperatura, lugar de elaboración, el tratamiento de las sustancias, lugar de colocación y la mano de obra; ya que repercuten en el comportamiento de los morteros.
  
10. Los profesionales, técnicos y conocedores del área, deben estar preparados y capacitados para responder a las necesidades de la sociedad guatemalteca, ya que los grupos sociales demuestran en este tipo de situaciones el reflejo de todos los problemas que aquejan a la sociedad.
  
11. La documentación final es muy importante, ya que es un paso más para que las futuras generaciones puedan seguir profundizando en el tema, y de esta manera poder optimizar las recetas para lograr un revestimiento que cumpla con parámetros de durabilidad, calidad y costo reducido para los sectores más limitados del país que lamentablemente son los más afectados.





## BIBLIOGRAFÍA

1. Argueta Chuy, José Rafael. Tesis “Estado Actual de las poblaciones de especies de cactáceas, útiles en alimentación en la región semi-árida de San Agustín Acasaguastlan, El Progreso”. Agronomía. Universidad de San Carlos de Guatemala. Octubre 2007.
2. Ashburner , John E. – Sims, Brian G. Elementos de diseño del tractor y herramientas de labranza. Instituto Interamericano de Cooperación para la agricultura. San José, Costa Rica. 1984
3. Barrientos Orantes, Hugo Haroldo. Tesis “Evaluación experimental de enlucidos tradicionalmente utilizados sobre muros de adobe”. Facultad de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala. 1991.
4. Biblioteca ATRIUM de la Construcción. OCEANO/CENTRUM.
5. Certificados “Modalidades de ensayos de los revestimientos (baños exteriores) de impermeabilización de pared a base de argamasas hidráulicas (junio 1982 – cuaderno 1779)” del CSTB de Francia.
6. Crespo Villalaz, Carlos. Mecánica de Suelos y Cimentaciones. Quinta Edición, LIMUSA – NORIEGA EDITORES. México. 2004.
7. Lengen, Johan Van. Manual del Arquitecto Descalzo. Como construir casas y otros edificios. Editorial Pax. México. 2004.
8. Ministerio de Vivienda y Construcción. Adobe: Diseño y Construcción. Manual Técnico de la Oficina de Investigación y Normalización. Lima, Perú. 1979.

9. Minke, Gernot. Manual de Construcción para viviendas antisísmicas de tierra. Tercera Edición. Forschungslabor für Experimentelles Bauen. Universidad de Kassel, Alemania. 2005.
  
10. Plank, R., Usón, Rafael, Engerth H. El empleo del frío en la industria de la alimentación. Traducido por Rafael Usón. Publicado por Reverte. 1984.
  
11. Proyecto No. 37946-B, intitulado “Aislamiento de un cultivo mixto de bacterias ruminales lignolíticas y producción de un inóculo con potencial para degradar aserrín y polietilentereftalato”.
  
12. Rengifo Z., Luis. La Construcción con tierra. Trabajo de Investigación: el adobe, la quincha y el tapial. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú. 1985.
  
13. Quiñónez Guzmán, Javier. Tesis “Revestimientos para construcciones de tierra en Guatemala”. Facultad de Arquitectura. Universidad de San Carlos de Guatemala. 2006.
  
14. Witynski, Karen – Carr, Joe P. Adobe Details. Gibbs Smith, Publisher. 2002.
  
15. <http://www.noticiasapicolas.com.ar/cera.htm>. (25/04/09)
  
16. [http://www.kronsa.com/Mejora\\_suelos.htm](http://www.kronsa.com/Mejora_suelos.htm). (25/04/09)

17. [www.geocities.com/geotecniaysuelos/cap14.pdf](http://www.geocities.com/geotecniaysuelos/cap14.pdf). (27/04/09)
18. [http://www.construmatica.com/construpedia/Propiedades de los Morteros de Revestimiento](http://www.construmatica.com/construpedia/Propiedades_de_los_Morteros_de_Revestimiento). (29/04/09)
19. <http://www.monografias.com/trabajos13/animal/animal.shtml>. (01/04/09)
20. <http://practicassusach.files.wordpress.com/2008/08/apuntes-terreno.pdf>. (01/04/09)
21. [http://www.sap.uchile.cl/descargas/suelos/028Coloides\\_2005.pdf](http://www.sap.uchile.cl/descargas/suelos/028Coloides_2005.pdf). (02/04/209)
22. [http://www.cdc.fonacit.gob.ve/cgiwin/be\\_alex.exe?Descriptor=SANGRE+ANIMAL&Nombrebd=fonacit](http://www.cdc.fonacit.gob.ve/cgiwin/be_alex.exe?Descriptor=SANGRE+ANIMAL&Nombrebd=fonacit). (03/04/09)
23. <http://tegra.lasalle.edu.co/dspace/bitstream/10185/582/1/T43.07%20B419a.pdf>. (03/04/09)
24. <http://www.donmanuel.s5.com/compostaje1.htm>. (07/04/09)



## ANEXO I

### PROCESO PASO A PASO DE EXTRACCION DE MUCILAGO DE **OPUNTIA COCHENILLIFERA**



Obtener la materia prima para poder trabajar, lo cual se debe de realizarse con mucho cuidado debido a la dificultad para manipular esta planta.

El método utilizado para la extracción de la baba o mucilago de este nopal consiste en eliminar las espinas de forma manual con un chuchillo, aunque otra forma de hacer esto es colocar las hojas sobre un asador ya que la llama elimina las espinas.



Luego se pican las hojas de nopal como que se fuera a preparar una ensalada y se colocan en un bote.

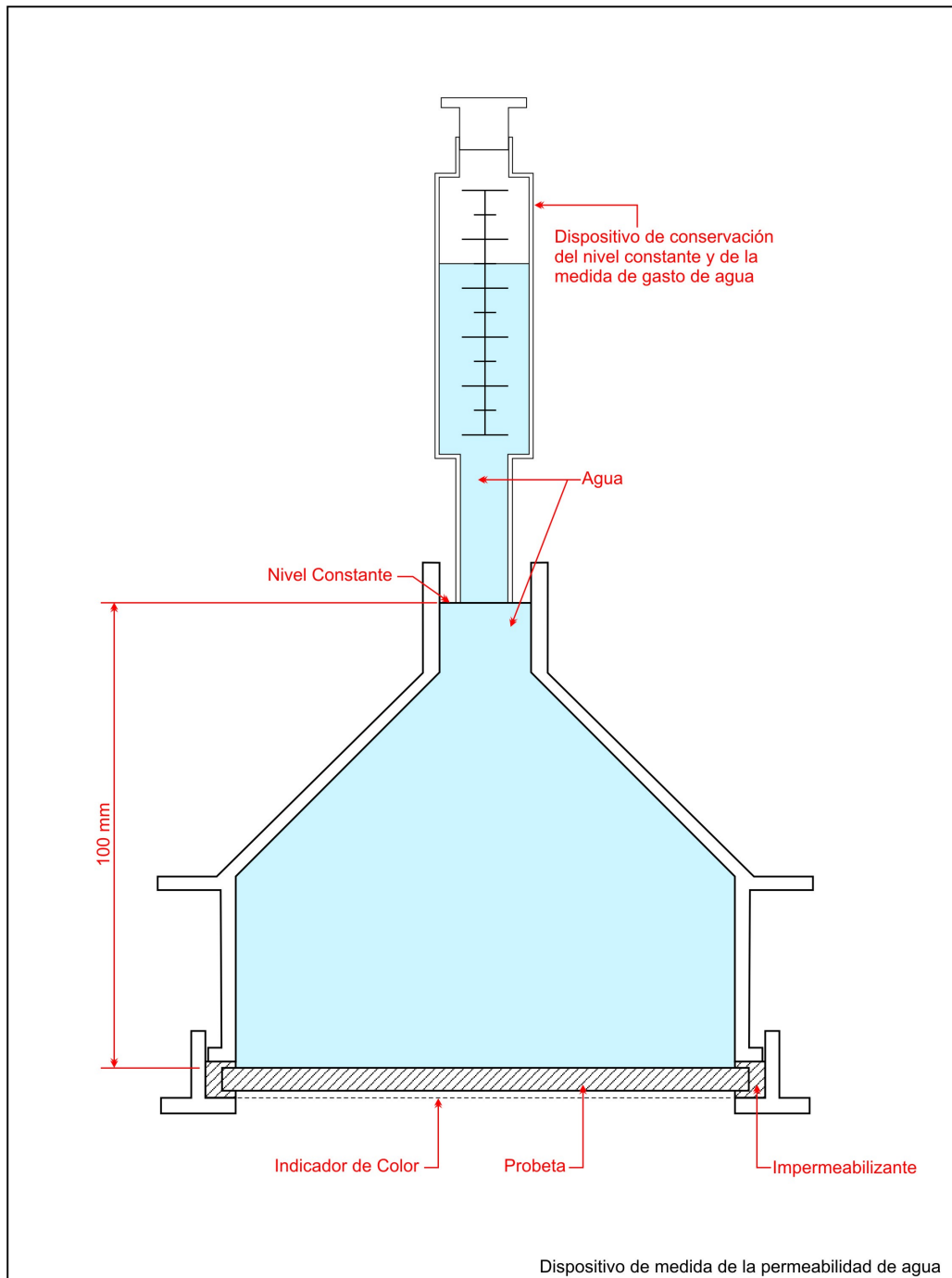
Se le agrega agua y se deja reposar durante varios días. Después de este tiempo se machacan dentro del bote y se cuelan en otro recipiente hasta separar todos lo sobrantes de las hojas de nopal.



Se deja reposar durante varios días y está lista para ser utilizada. Dependiendo de como se desee aplicar; si bien concentrada o se diluida en cuyo caso se rebaja con agua de cal regularmente. En su aplicación se utiliza aspersores o bien una brocha.

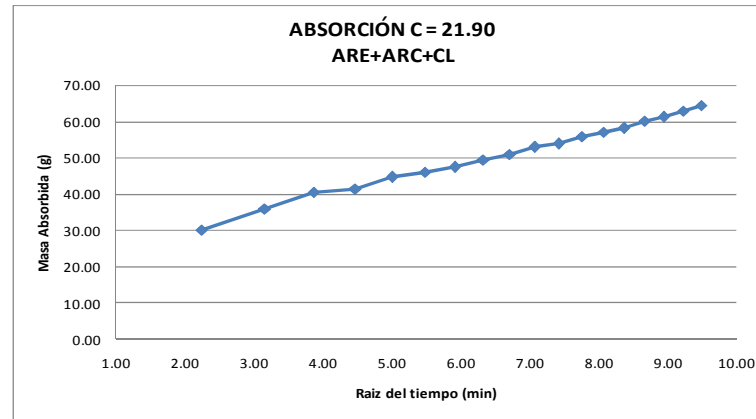
## ANEXO II

### ESQUEMA ENSAYO DE PERMEABILIDAD AL AGUA



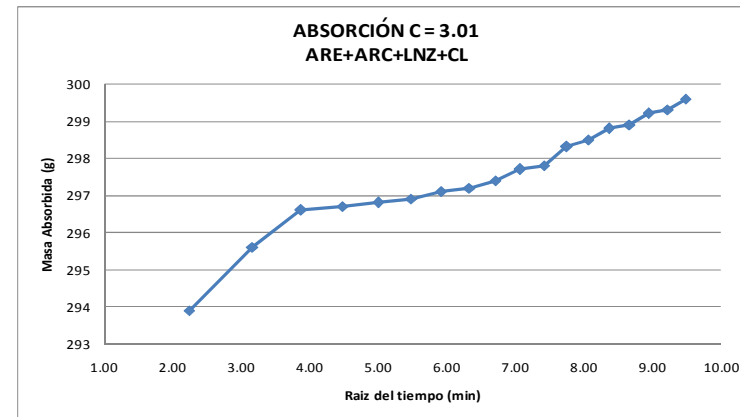
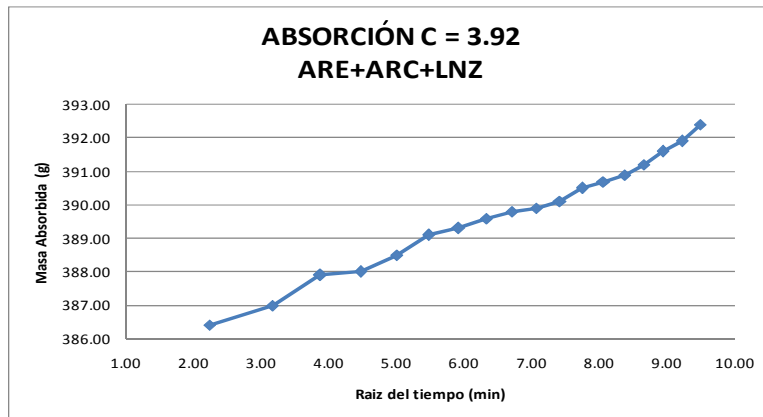
Fuente: "Modalidades de ensayos de los revestimientos exteriores de impermeabilización de pared a base de argamasas hidráulicas". Certificados CSTB de Francia. Fig. 4.

**ANEXO III**  
**GRÁFICAS DEL ENSAYO DE ABOSORCIÓN POR CAPILARIDAD EN MEZCLAS CON SUSTANCIAS**  
**APLICADAS AL MORTERO FRESCO.**

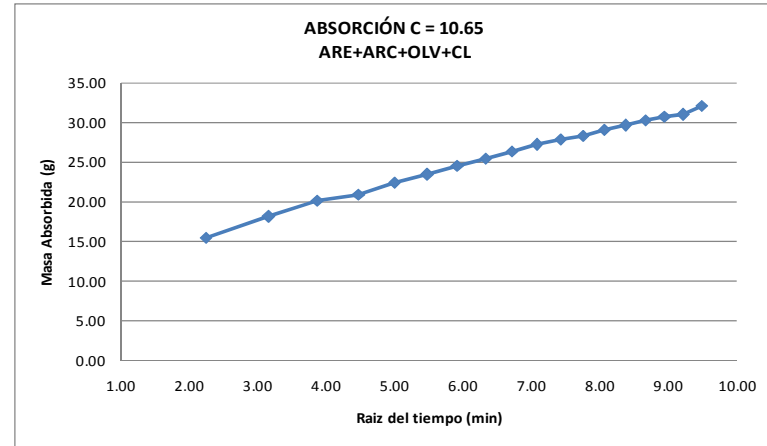
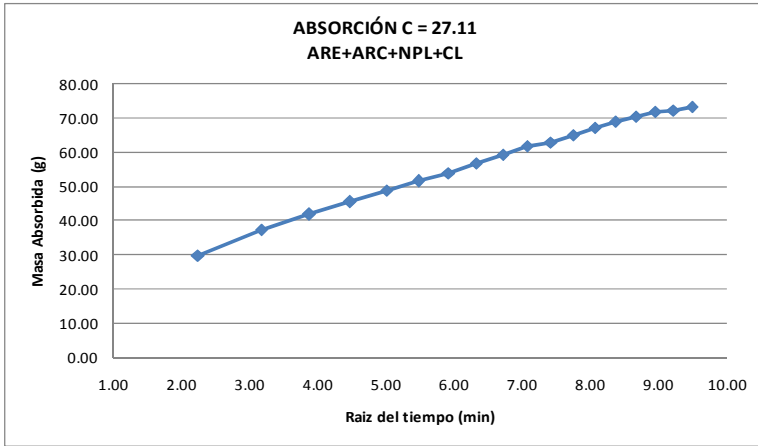


*Fuente: Elaboración propia.*

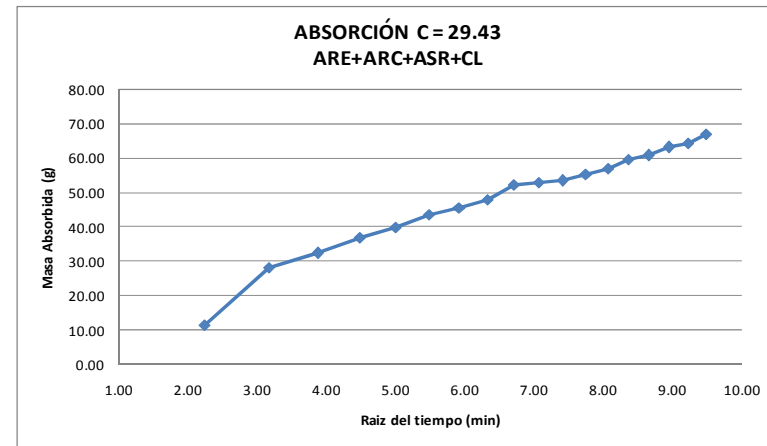
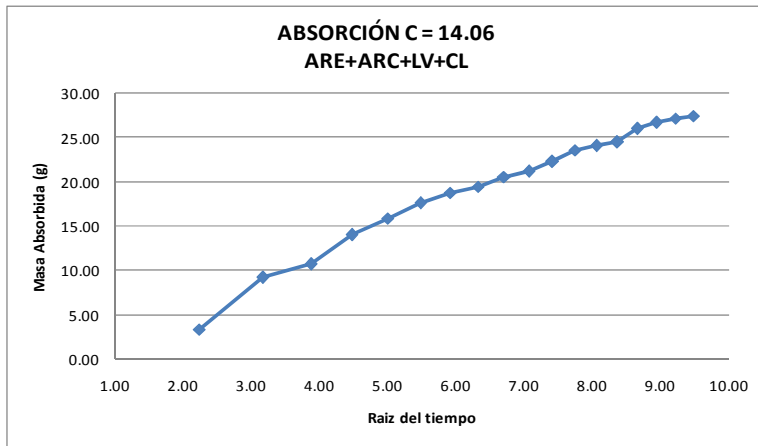
**Combinación Sustancias Vegetales**



*Fuente: Elaboración propia.*

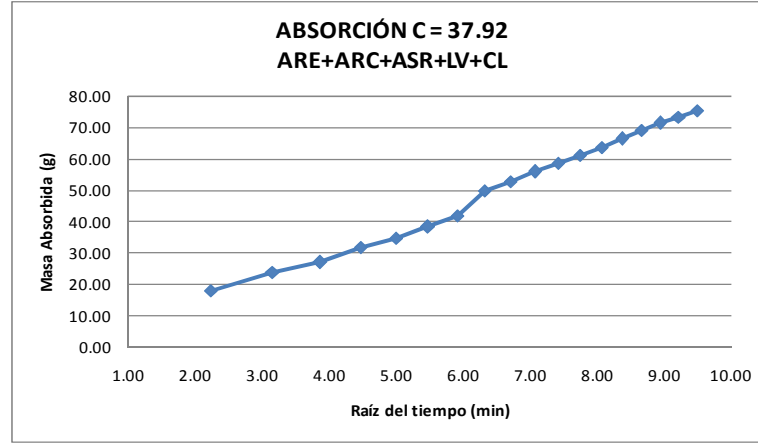
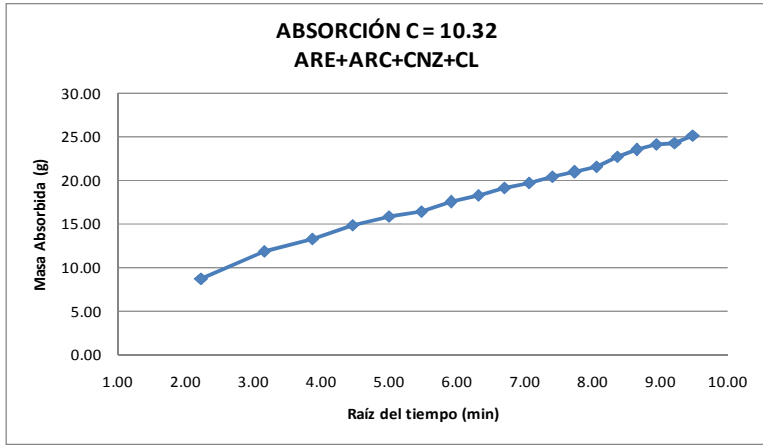


Fuente: Elaboración propia.

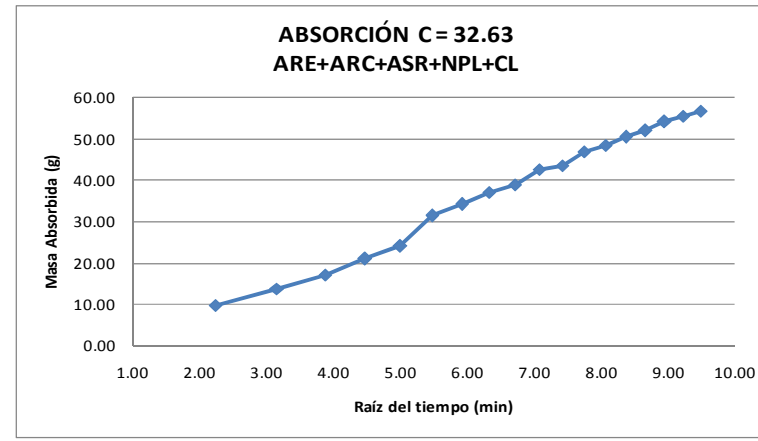
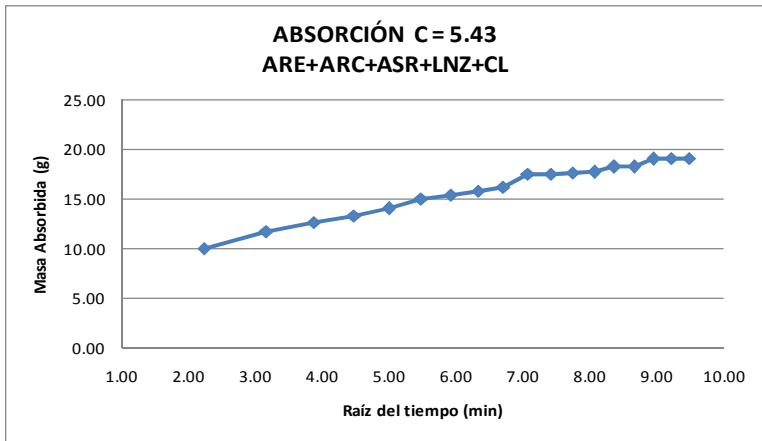


Fuente: Elaboración propia.

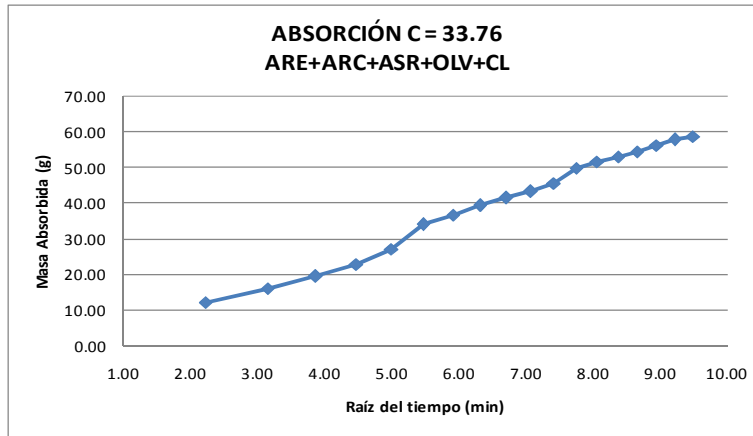




*Fuente: Elaboración propia.*

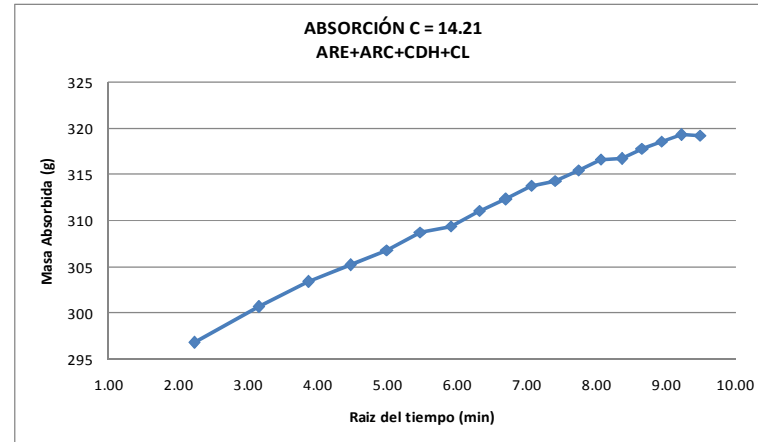
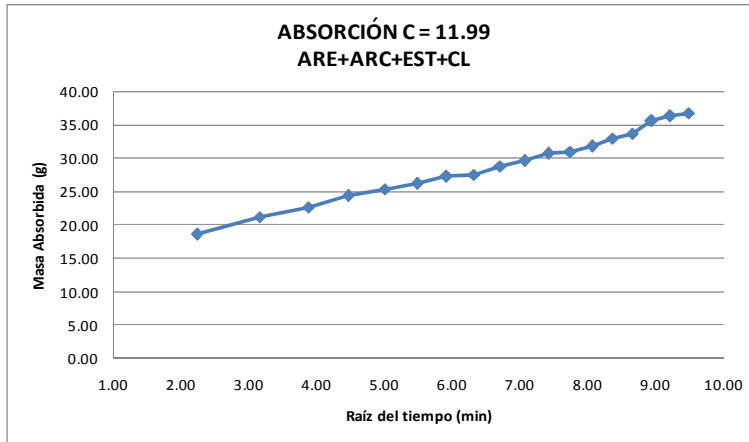


*Fuente: Elaboración propia.*

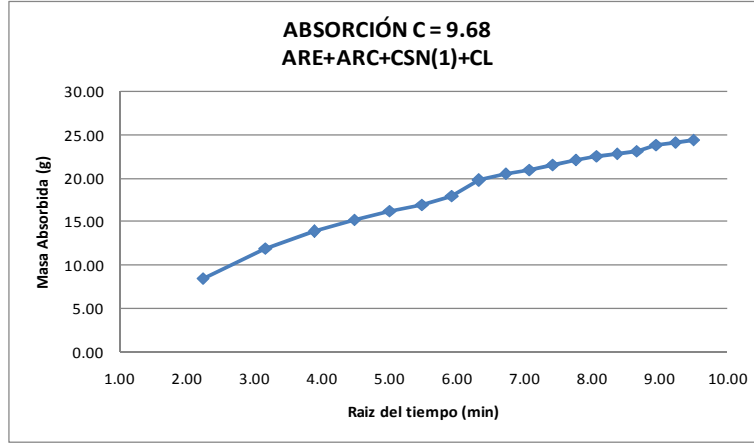
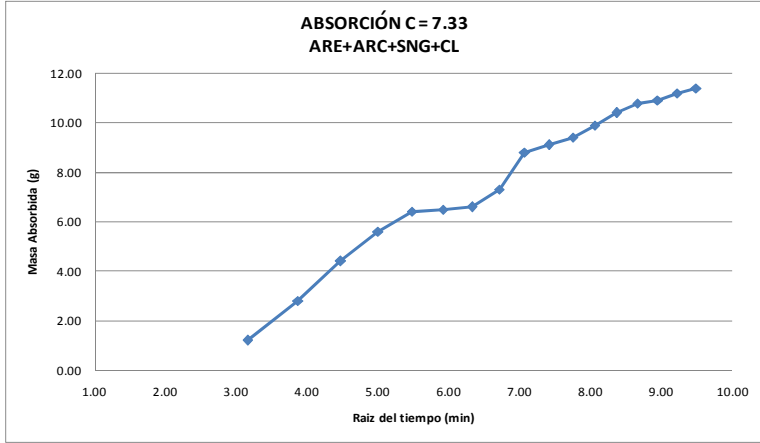


*Fuente: Elaboración propia.*

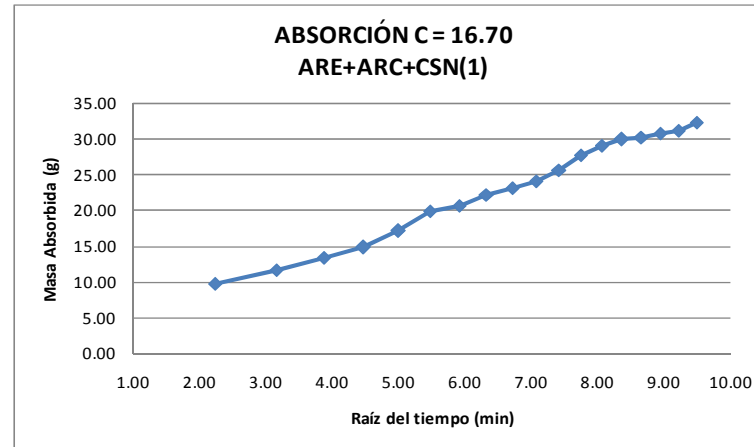
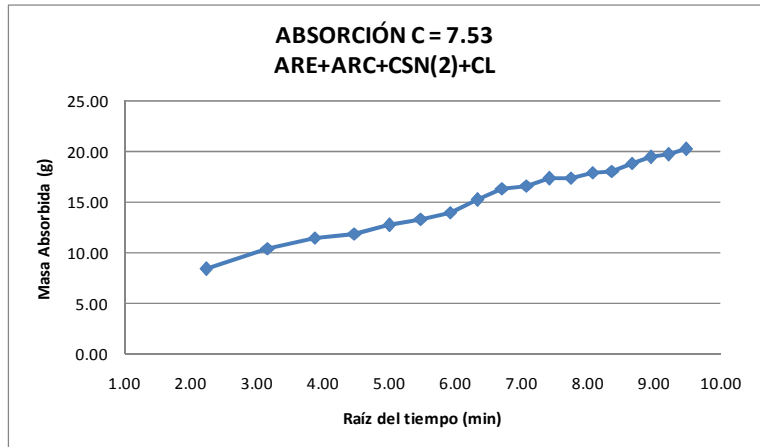
**Combinación Sustancias Animales**



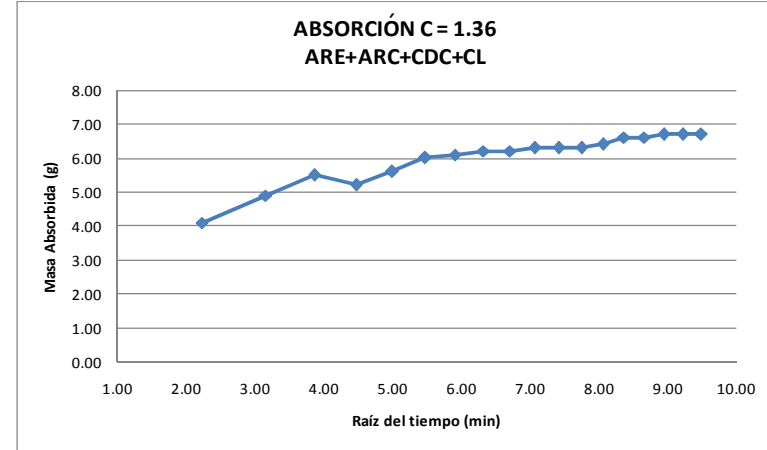
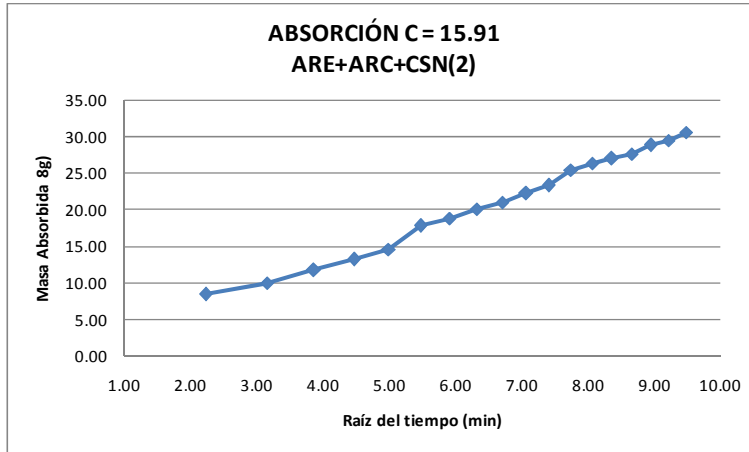
*Fuente: Elaboración propia.*



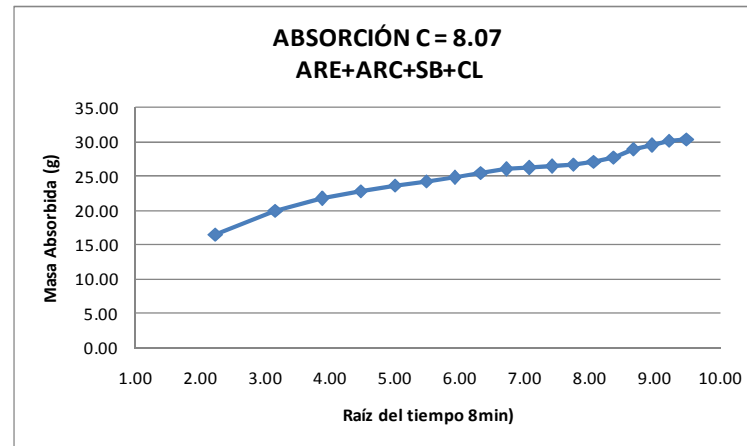
*Fuente: Elaboración propia.*



*Fuente: Elaboración propia.*

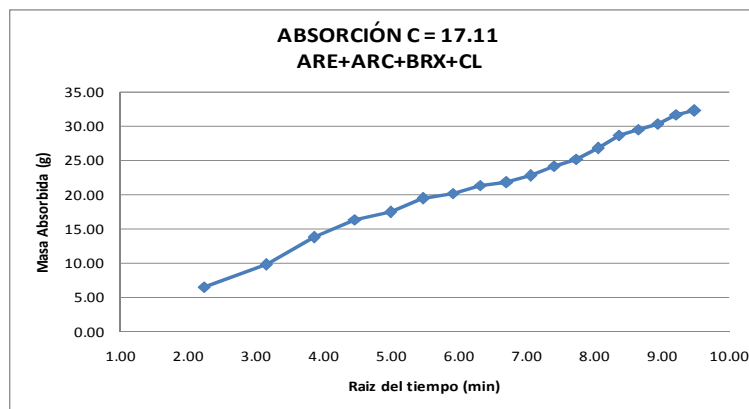
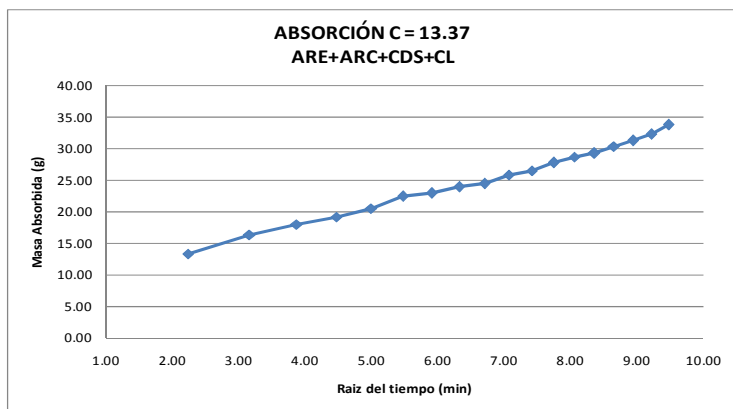


*Fuente: Elaboración propia.*

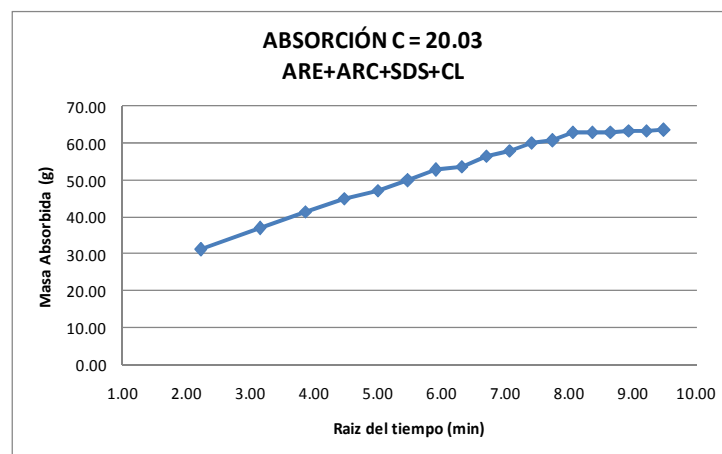


*Fuente: Elaboración propia.*

## Combinación Compuestos Químicos

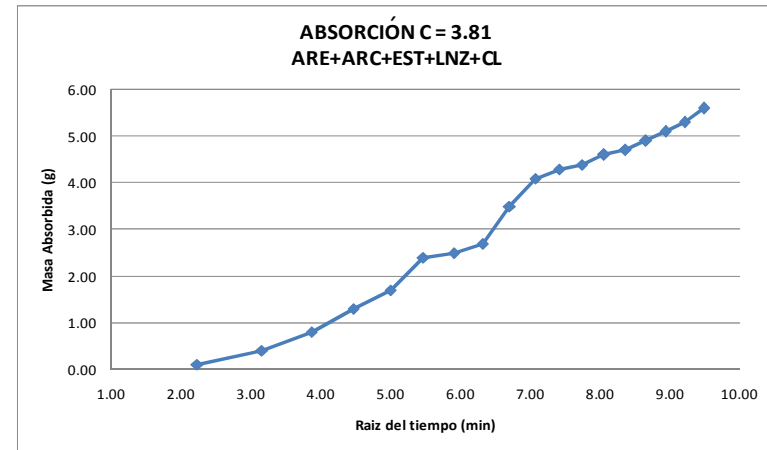
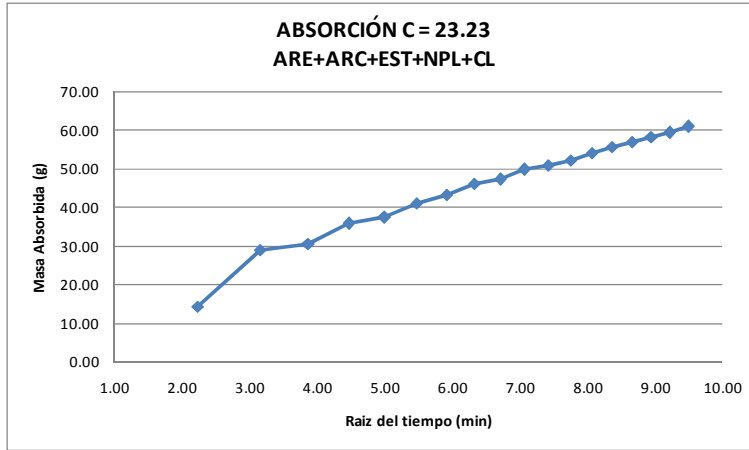


Fuente: Elaboración propia.

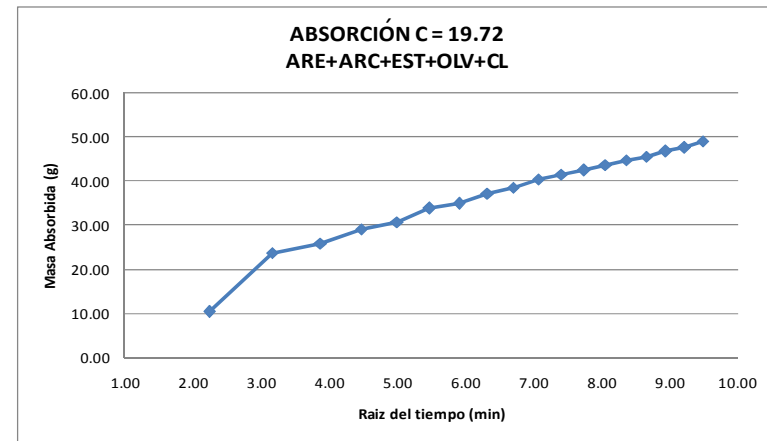
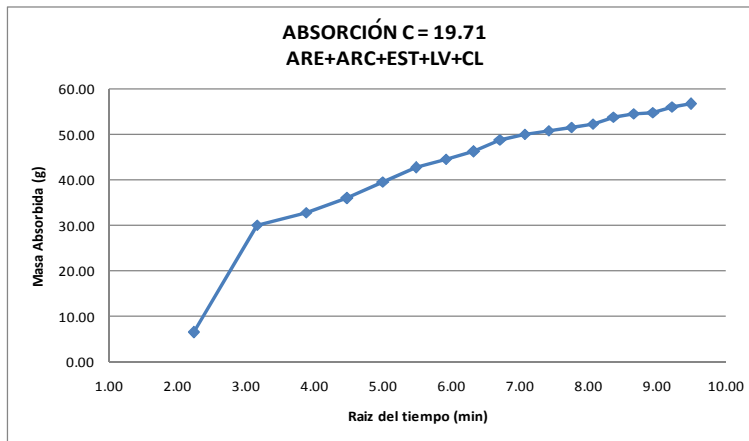


Fuente: Elaboración propia.

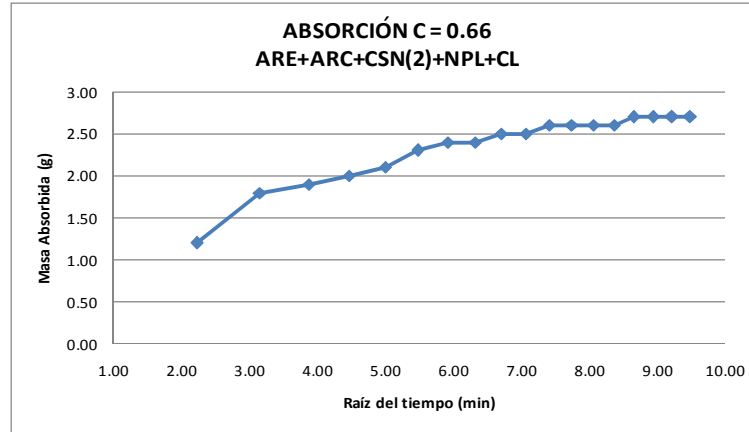
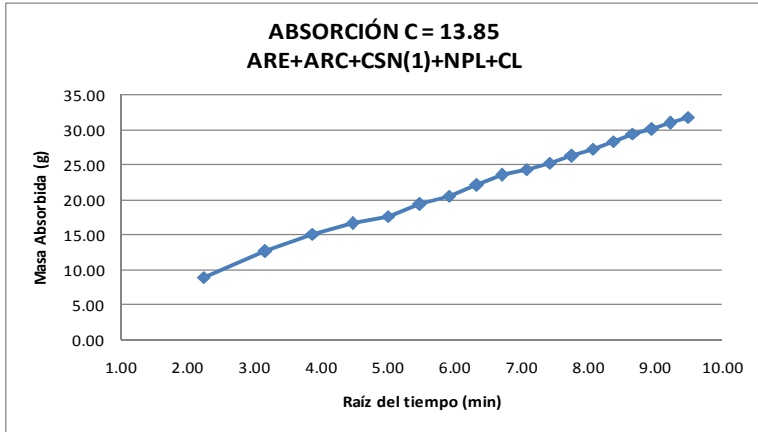
### Combinación Sustancias Vegetales y Animales



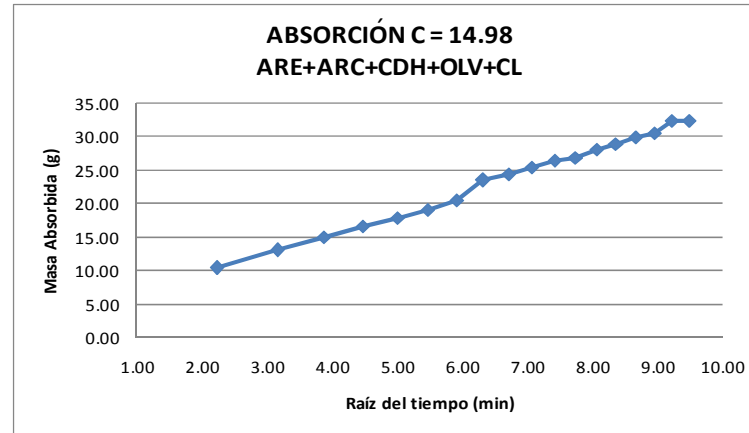
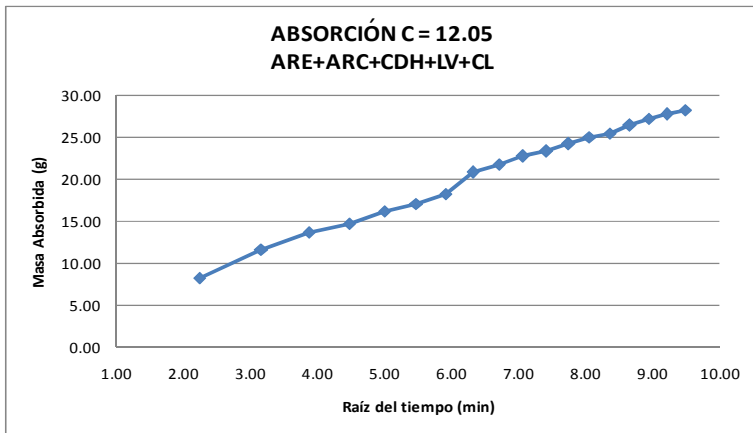
Fuente: Elaboración propia.



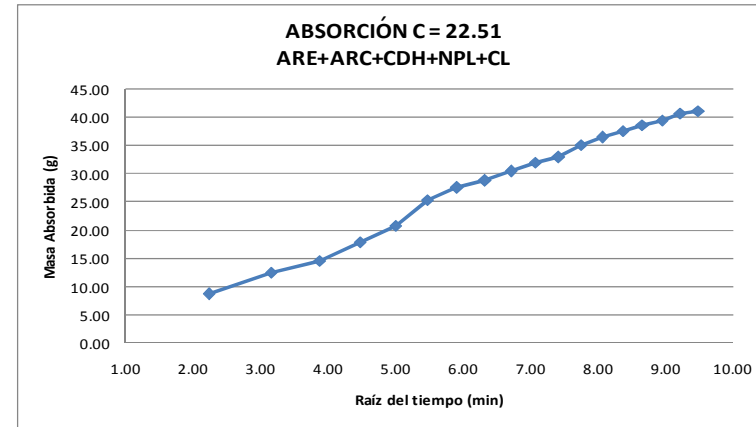
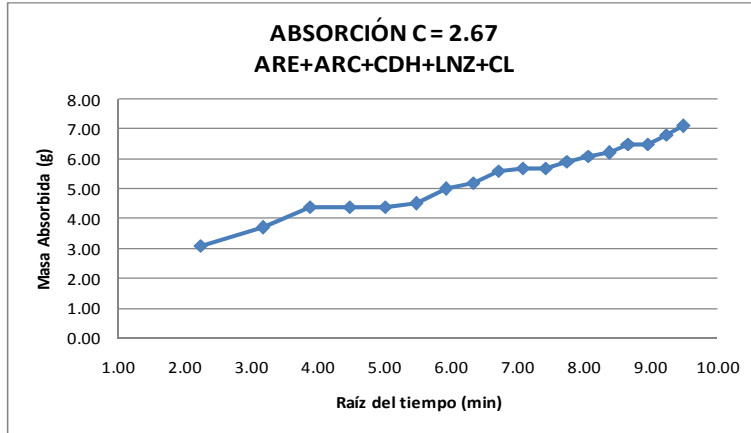
Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

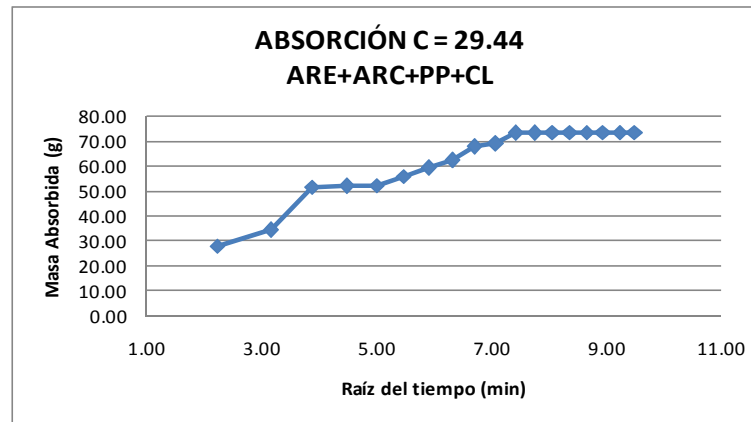


Fuente: Elaboración propia.



*Fuente: Elaboración propia.*

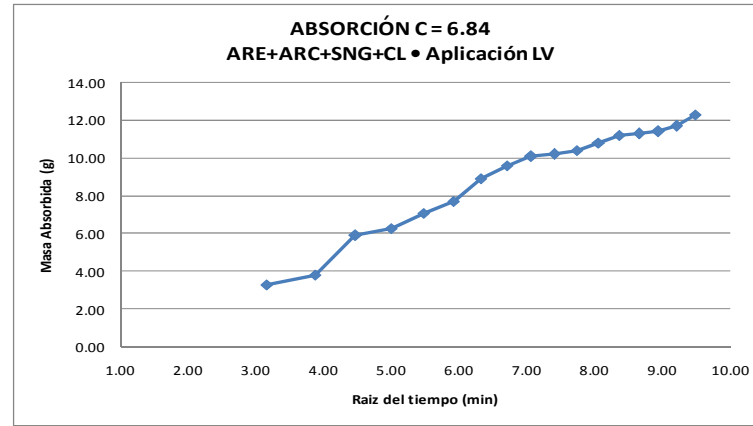
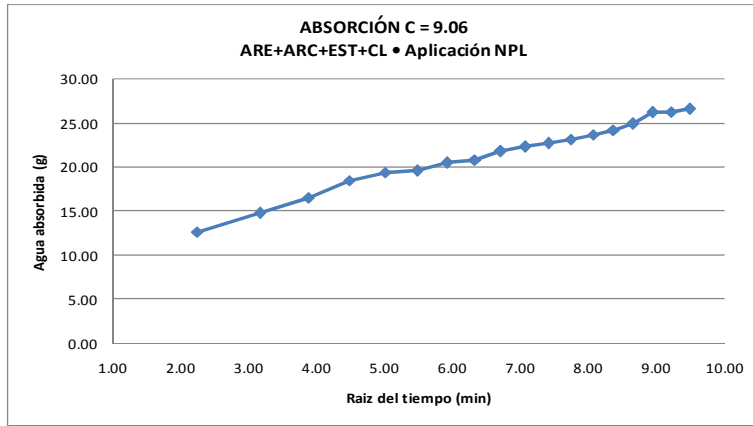
**Combinación Desechos**



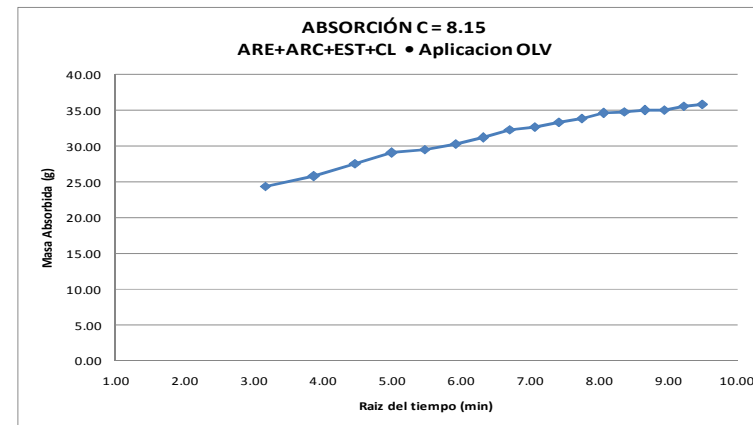
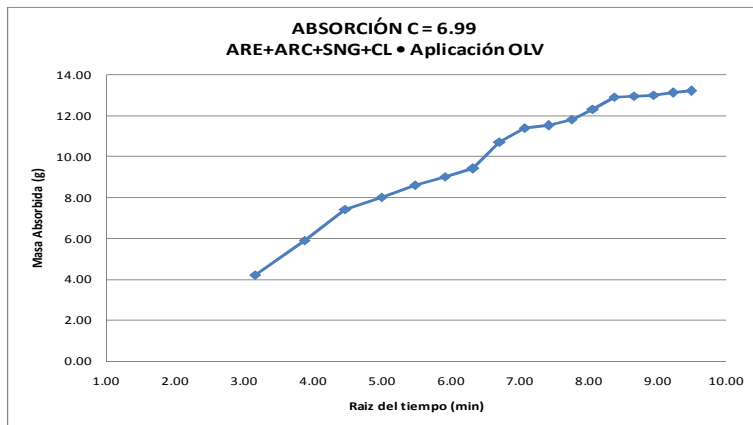
*Fuente: Elaboración propia.*



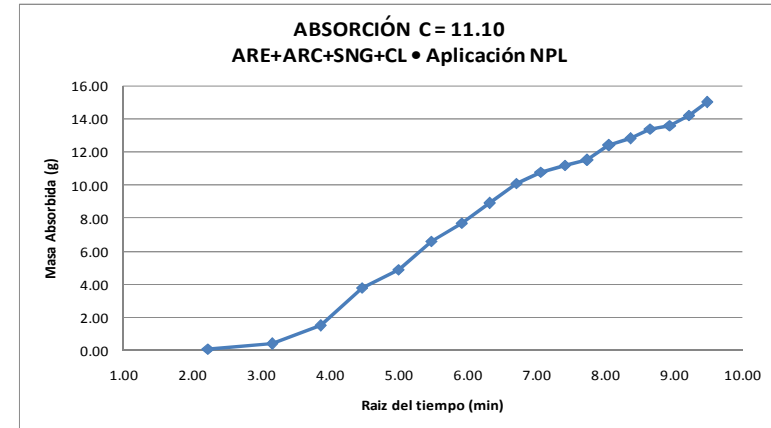
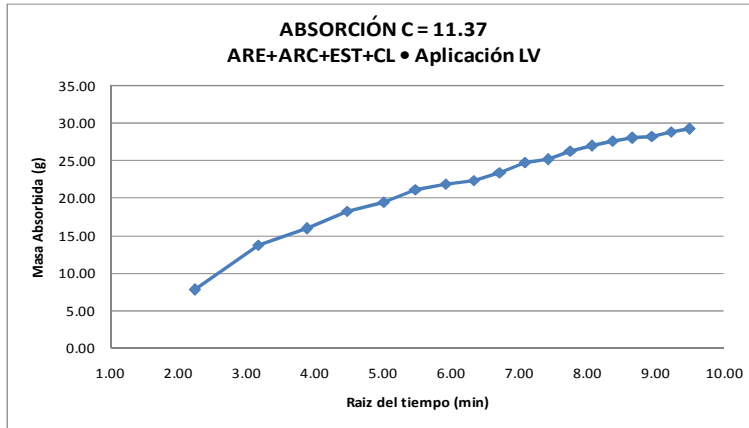
## ANEXO IV GRÁFICAS DEL ENSAYO DE ABSORCIÓN POR CAPILARIDAD EN MEZCLAS CON SUSTANCIAS APLICADAS COMO PINTURA.



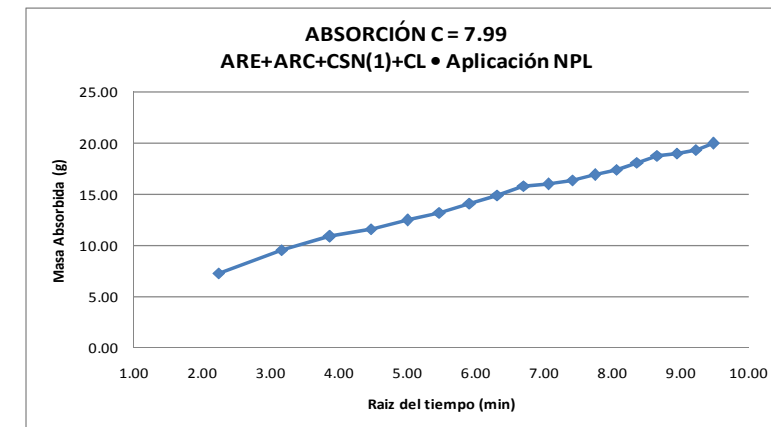
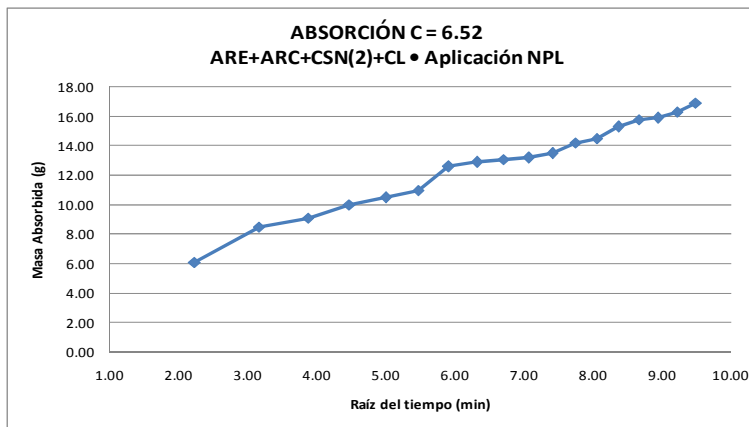
*Fuente: Elaboración propia.*



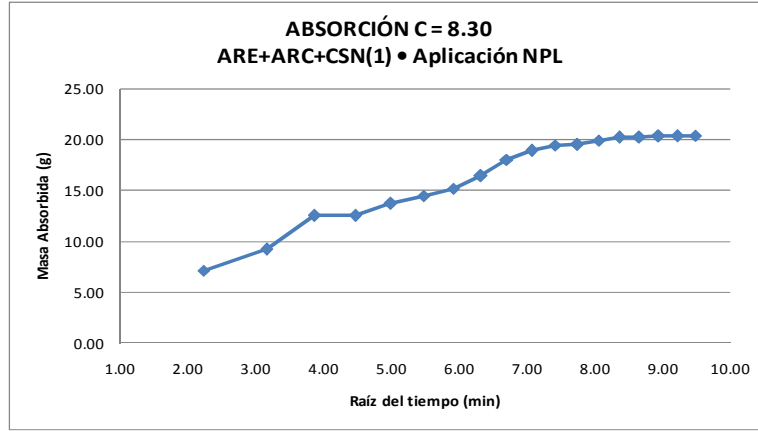
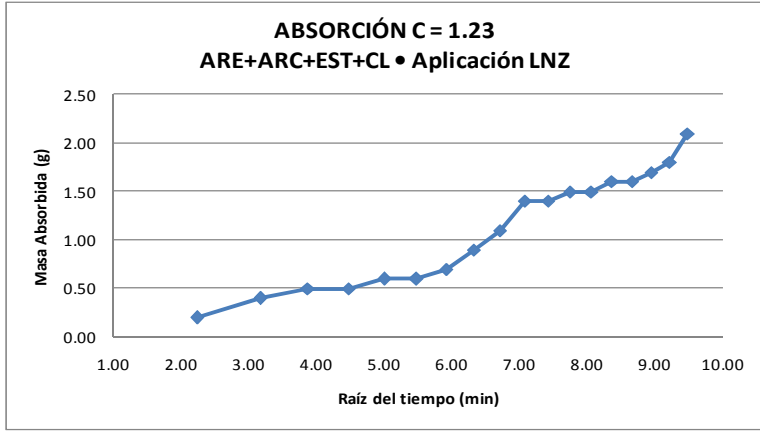
*Fuente: Elaboración propia.*



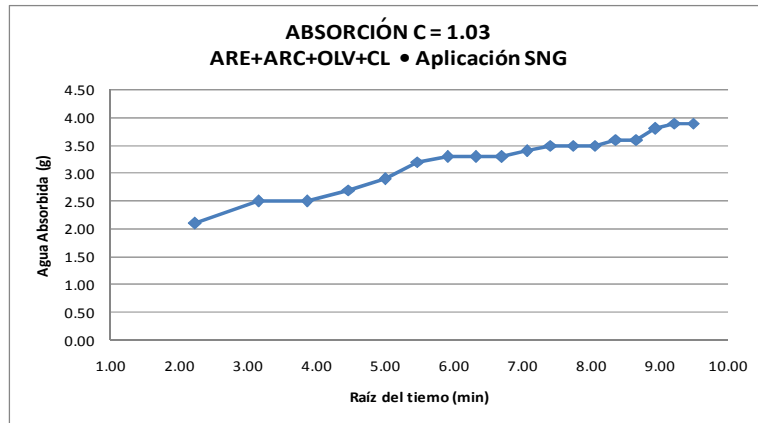
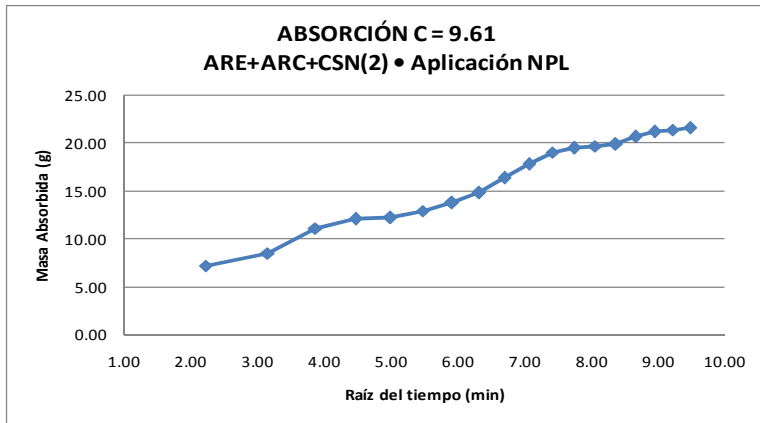
*Fuente: Elaboración propia.*



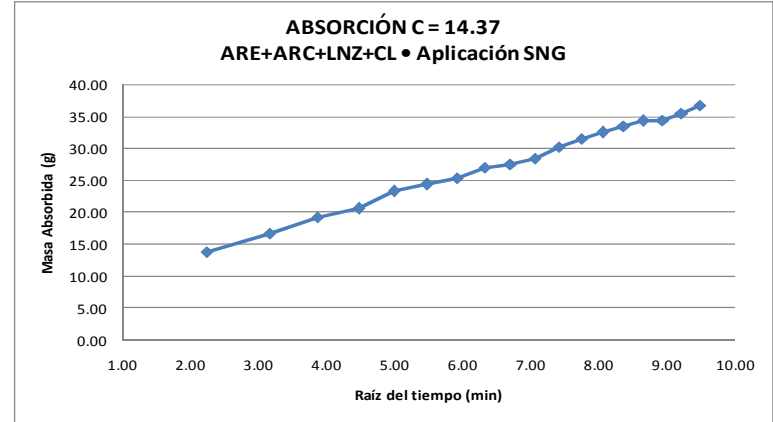
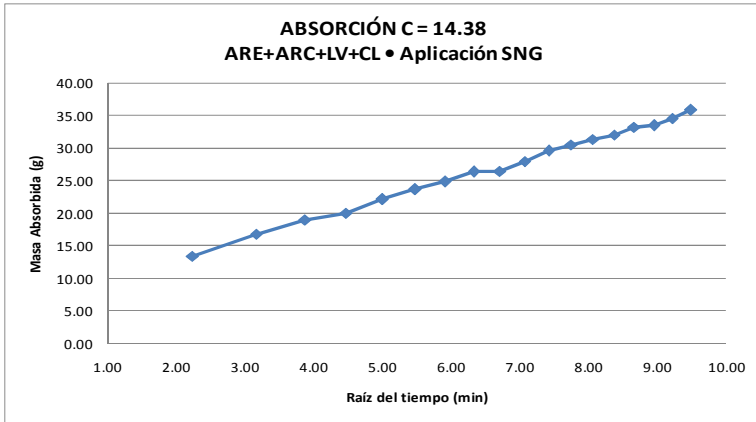
*Fuente: Elaboración propia.*



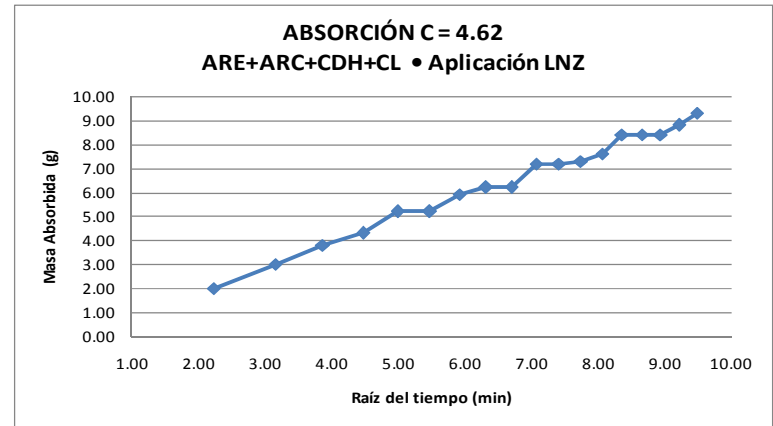
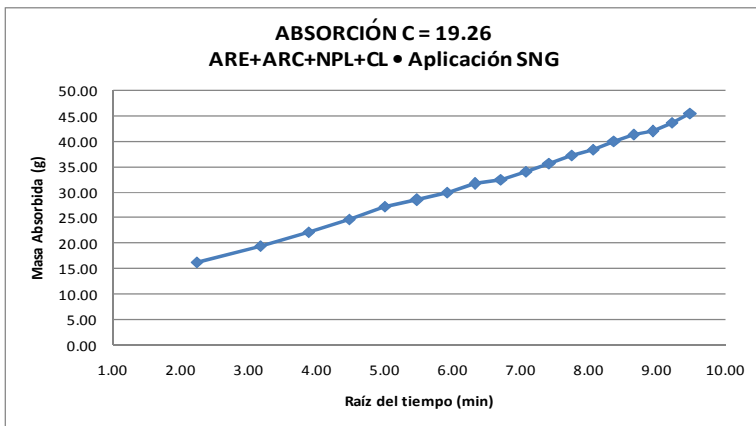
Fuente: Elaboración propia.



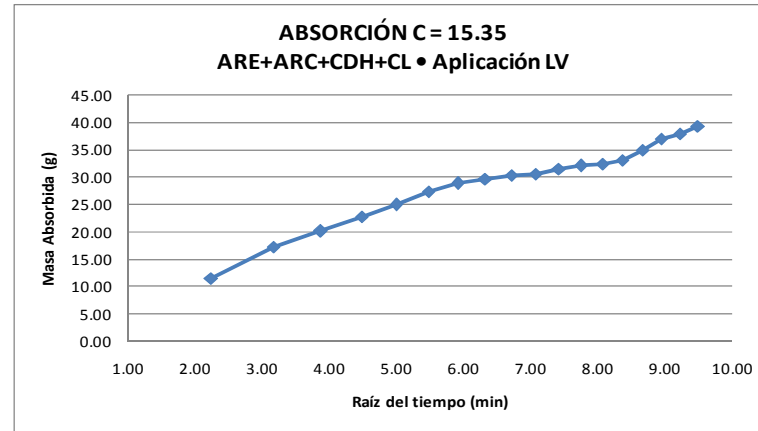
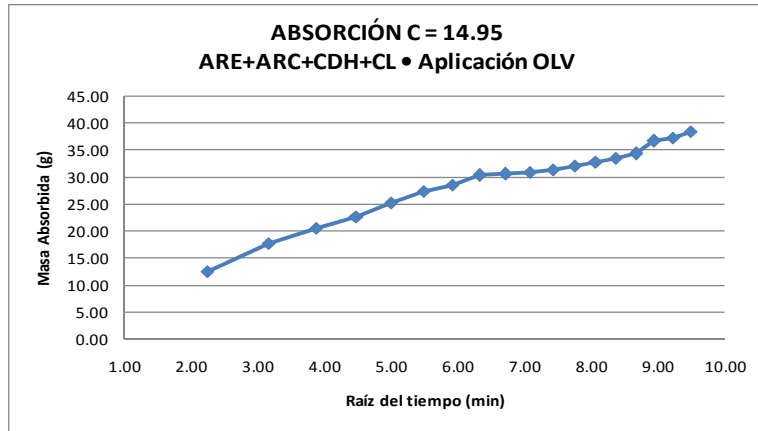
Fuente: Elaboración propia.



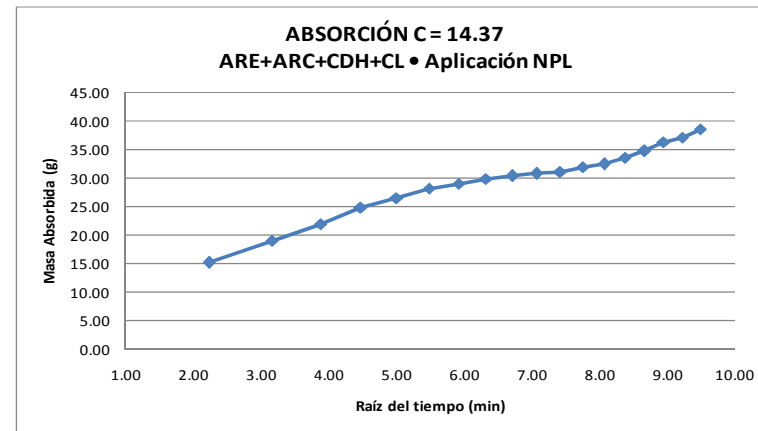
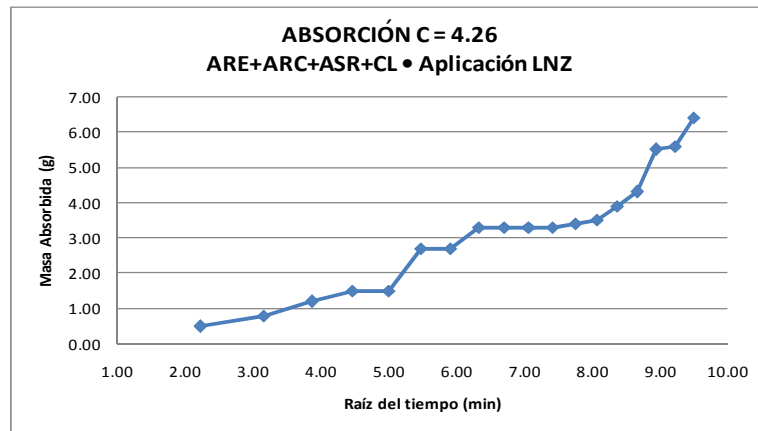
Fuente: Elaboración propia.



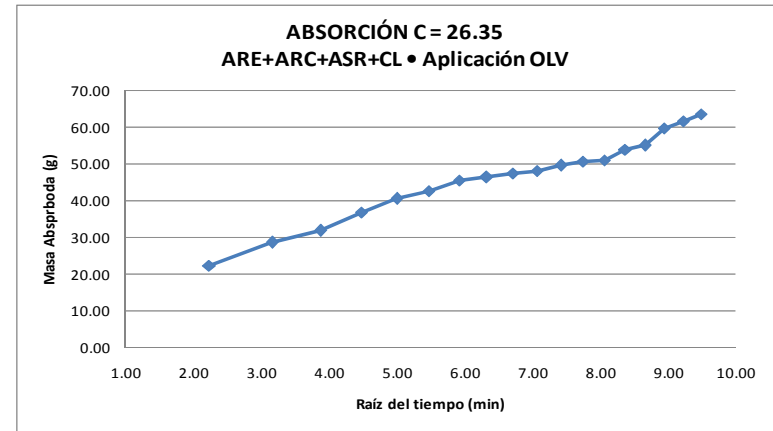
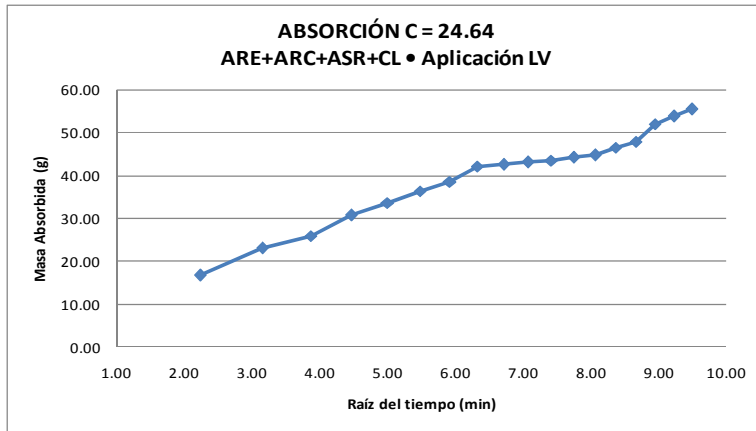
Fuente: Elaboración propia.



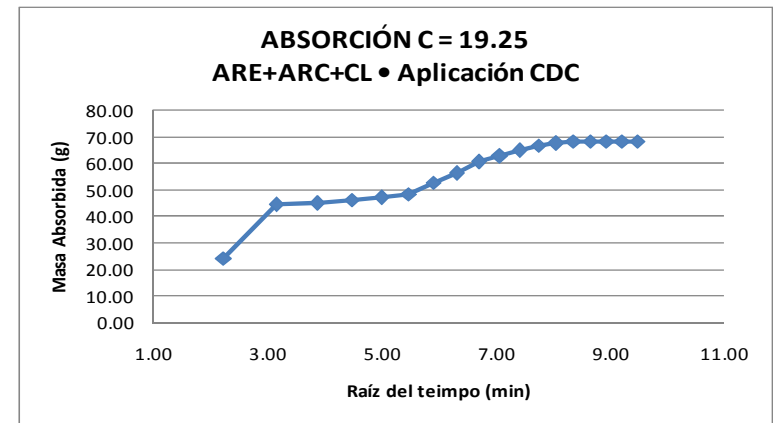
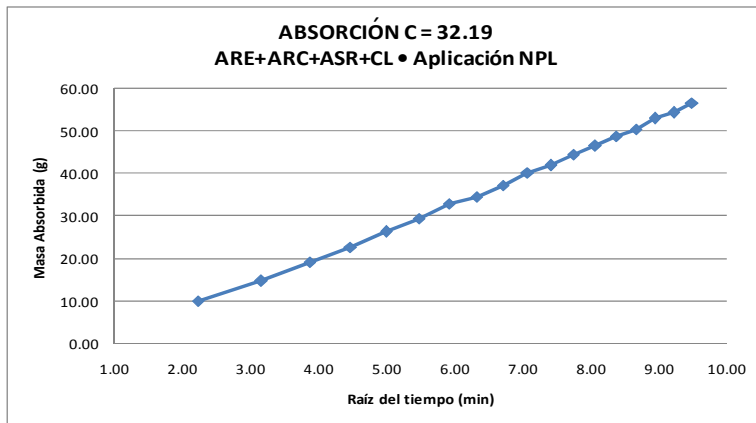
*Fuente: Elaboración propia.*



*Fuente: Elaboración propia.*

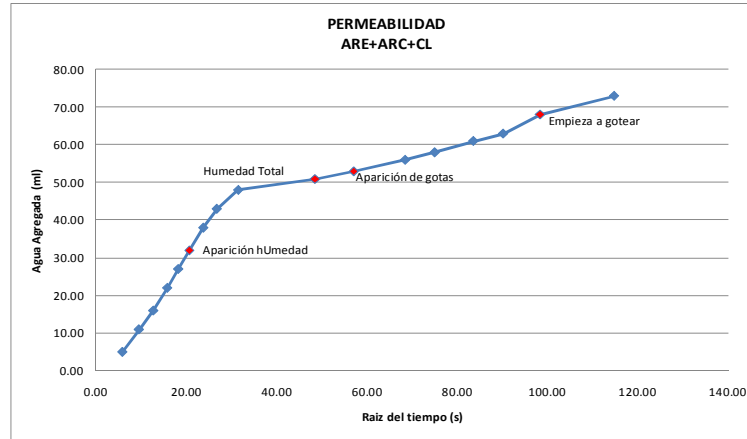


*Fuente: Elaboración propia.*



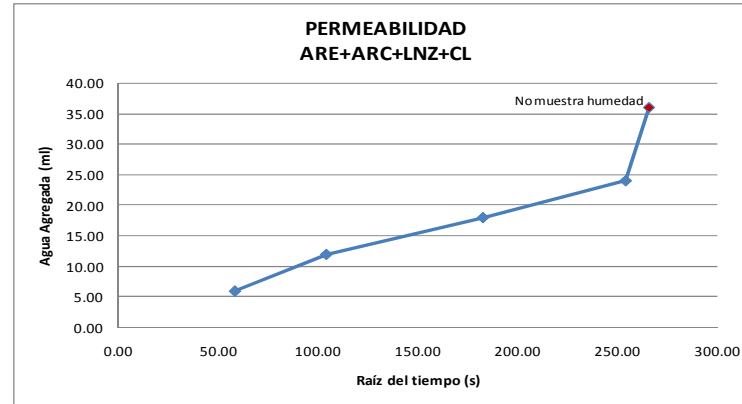
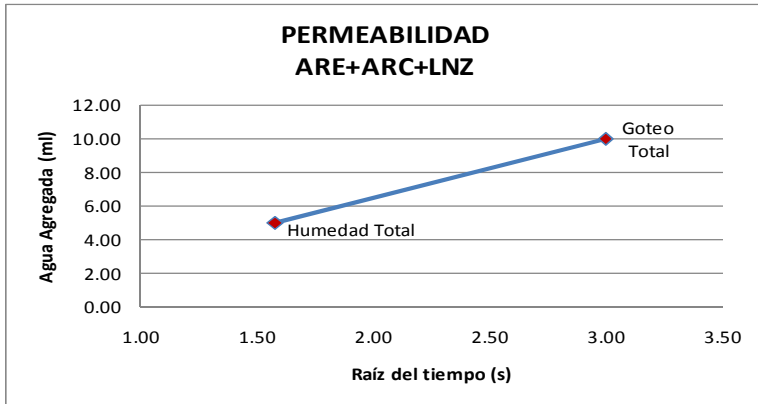
*Fuente: Elaboración propia.*

## ANEXO V GRÁFICAS DEL ENSAYO DE PERMEABILIDAD EN MEZCLAS CON SUSTANCIAS APLICADAS AL MORTERO FRESCO.

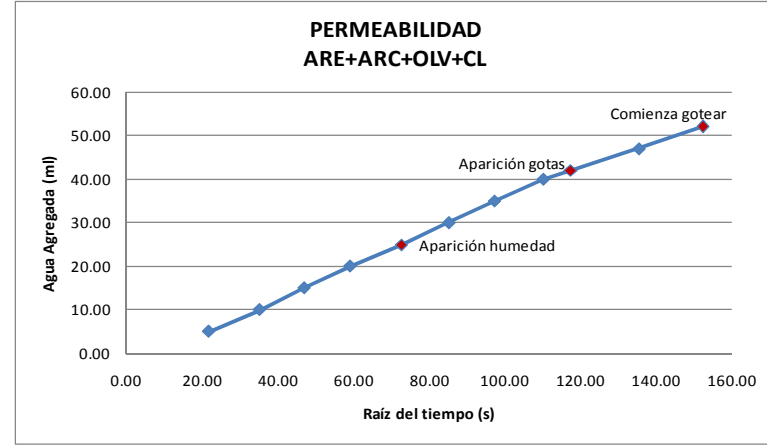
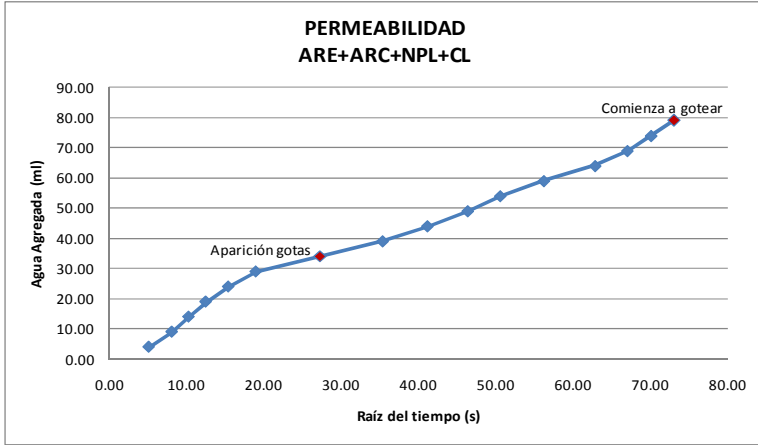


*Fuente: Elaboración propia.*

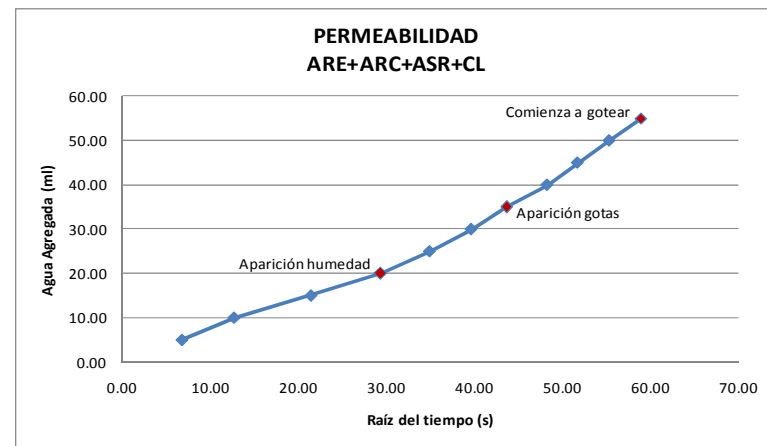
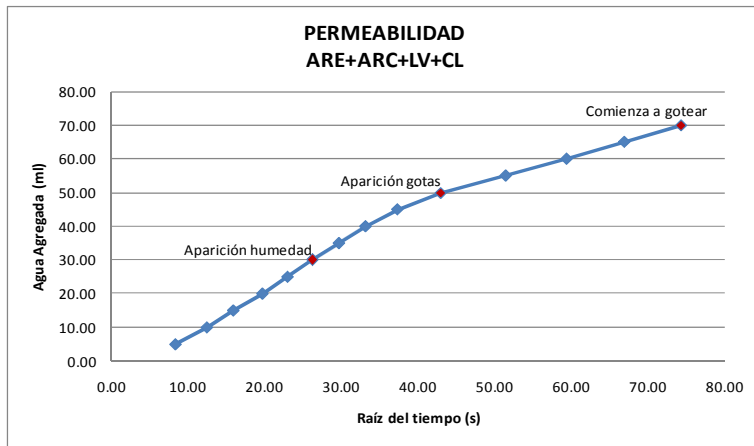
### Combinación Sustancias Vegetales



*Fuente: Elaboración propia.*

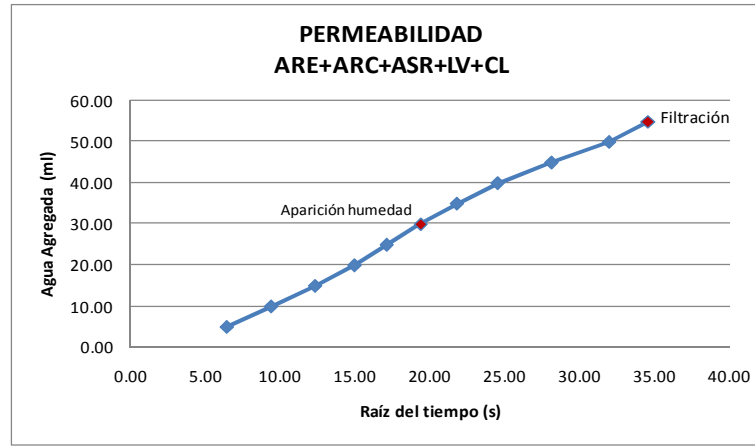
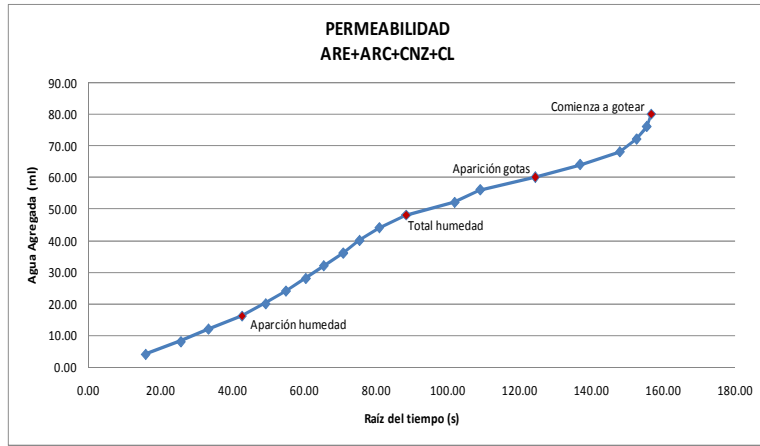


Fuente: Elaboración propia.

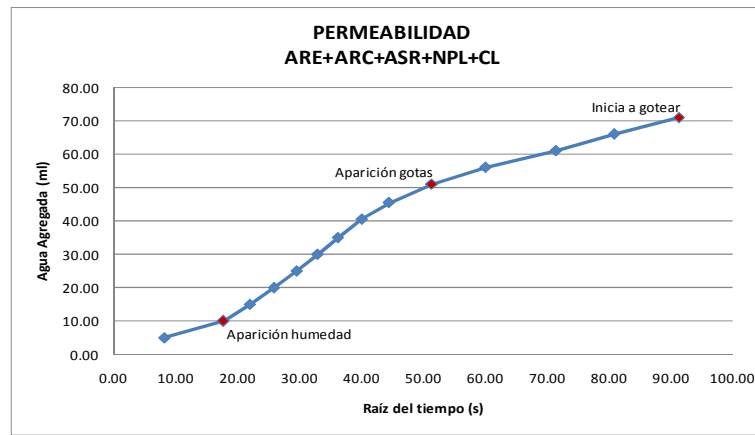
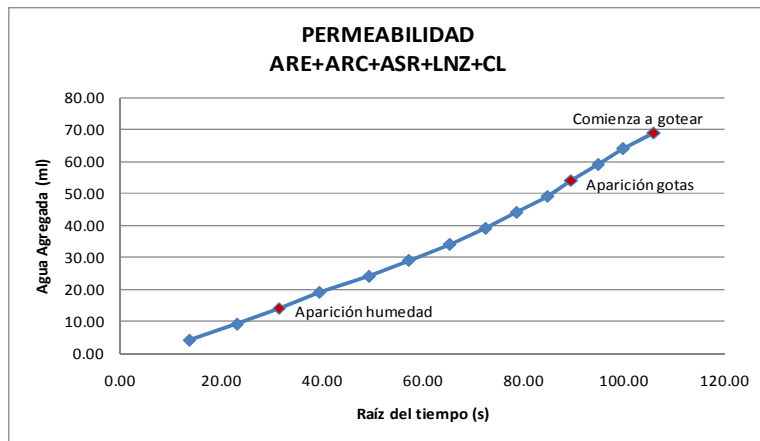


Fuente: Elaboración propia.

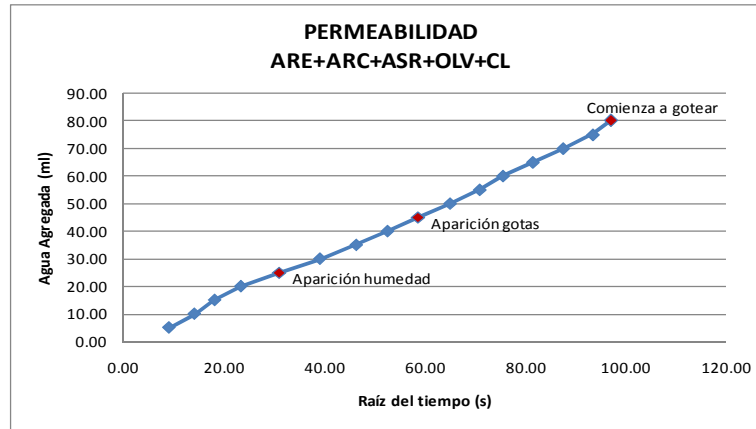




Fuente: Elaboración propia.

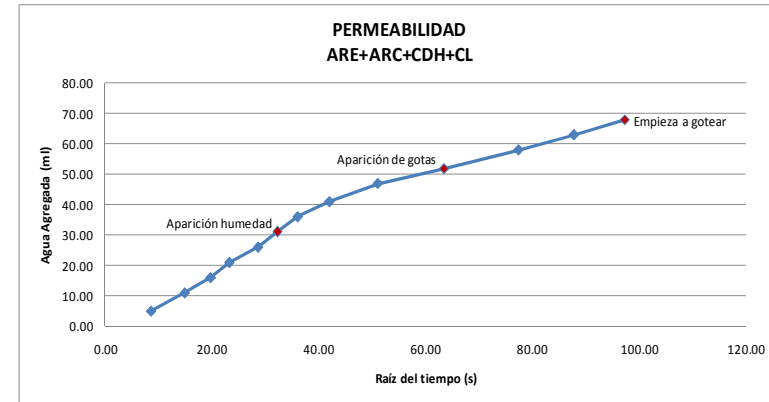
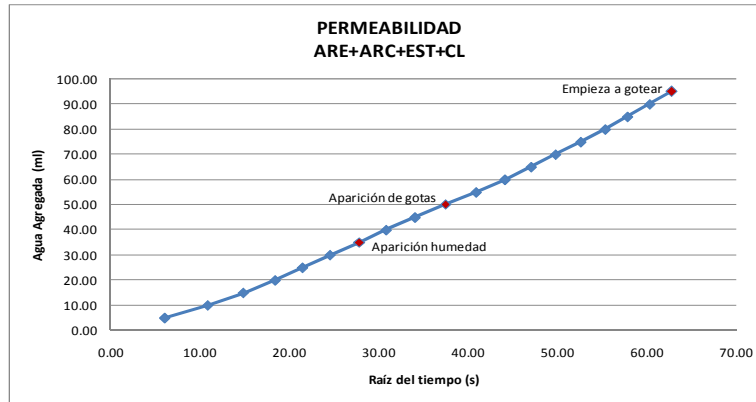


Fuente: Elaboración propia.

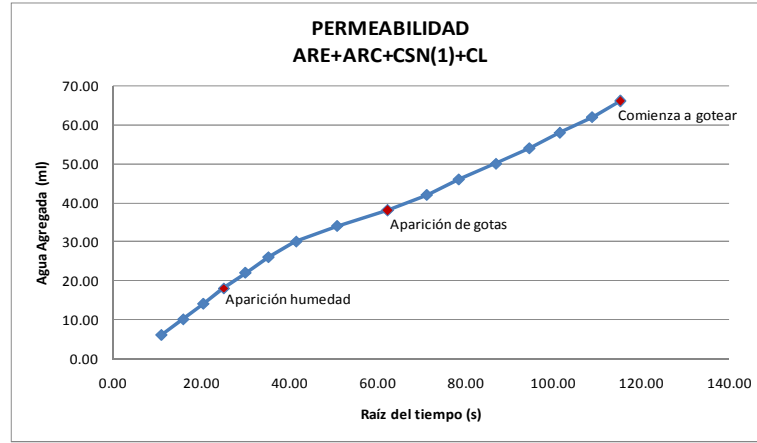
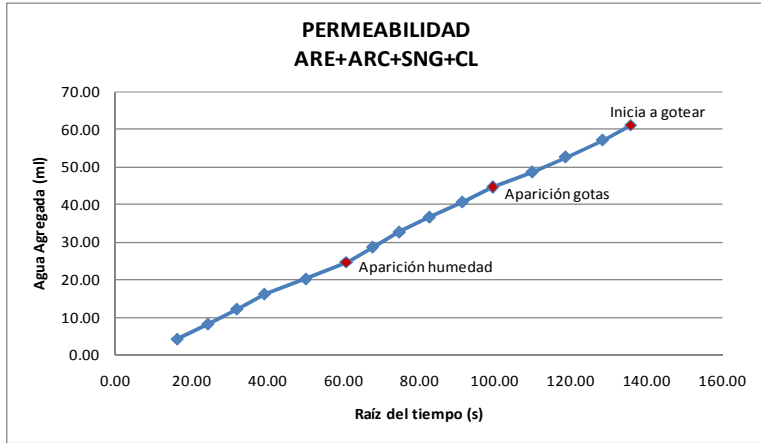


Fuente: Elaboración propia.

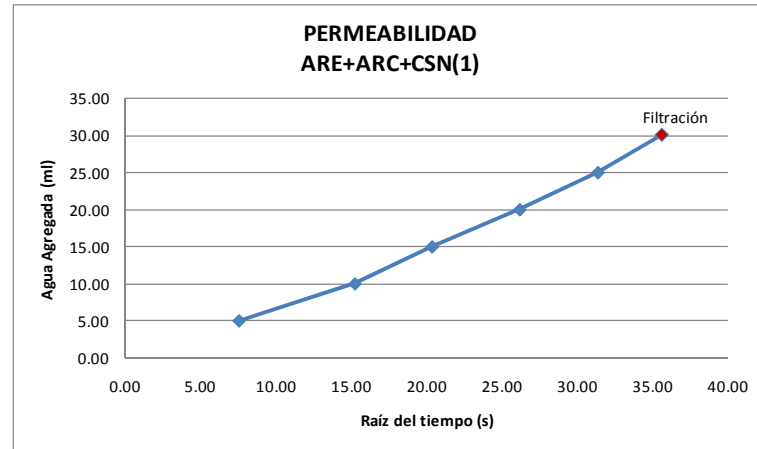
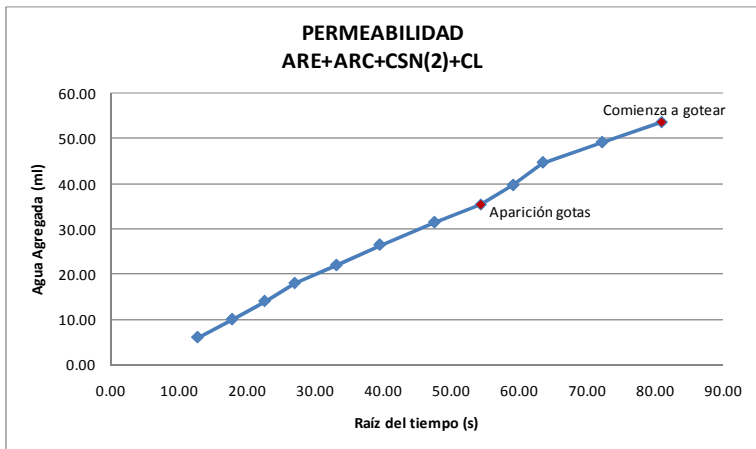
### Combinación Sustancias Animales



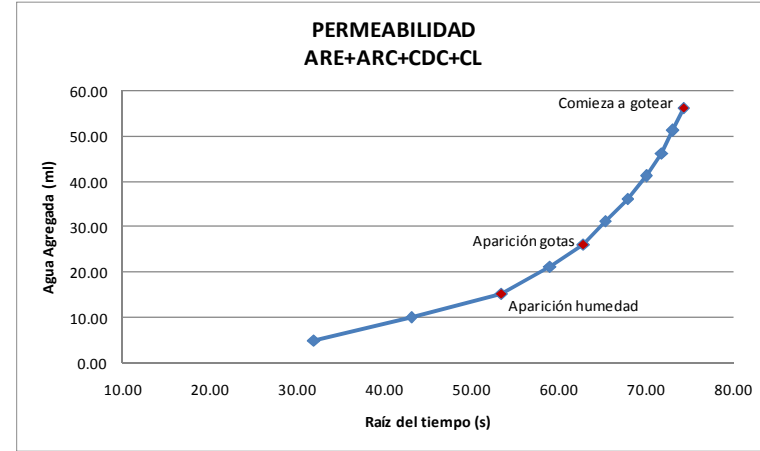
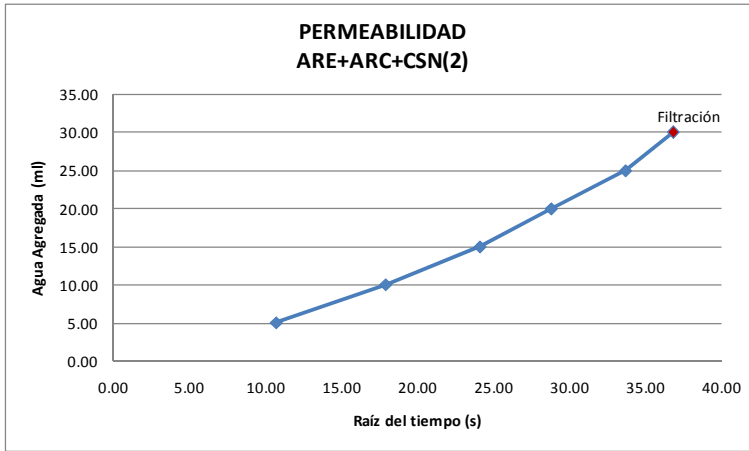
Fuente: Elaboración propia.



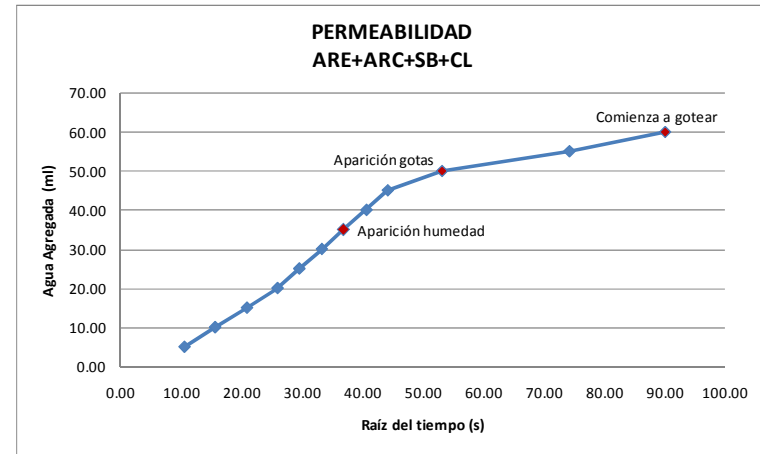
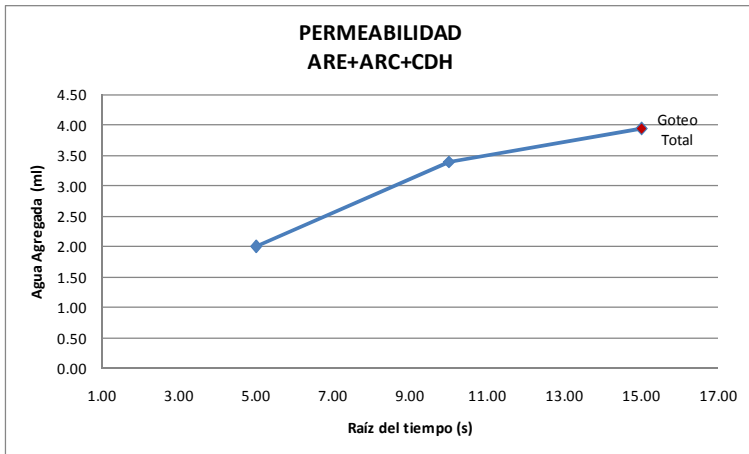
Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

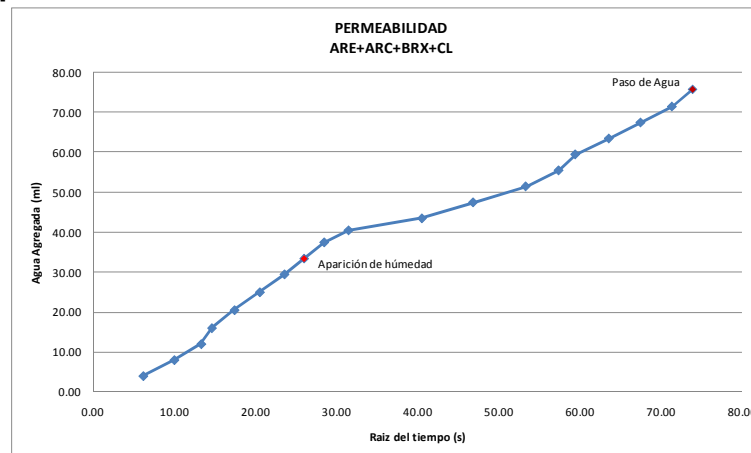
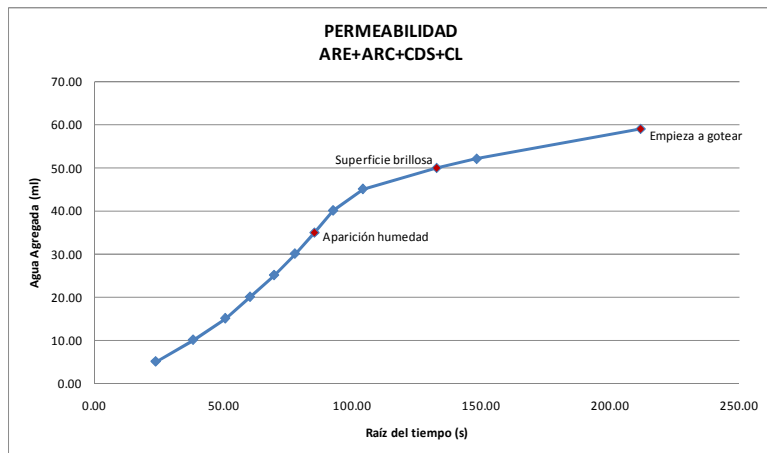


Fuente: Elaboración propia.

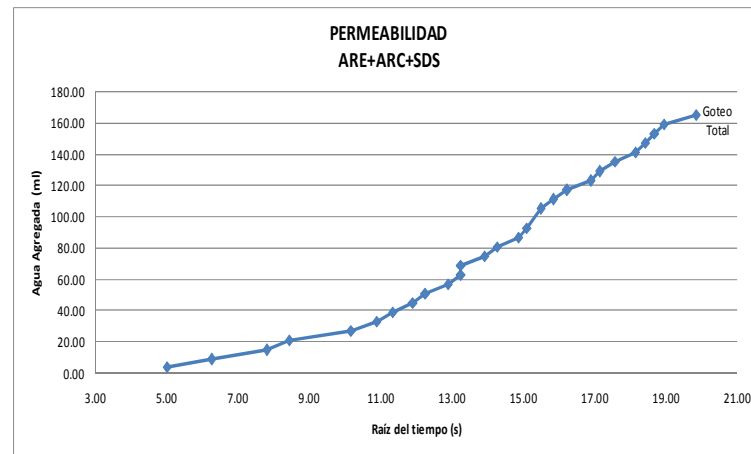
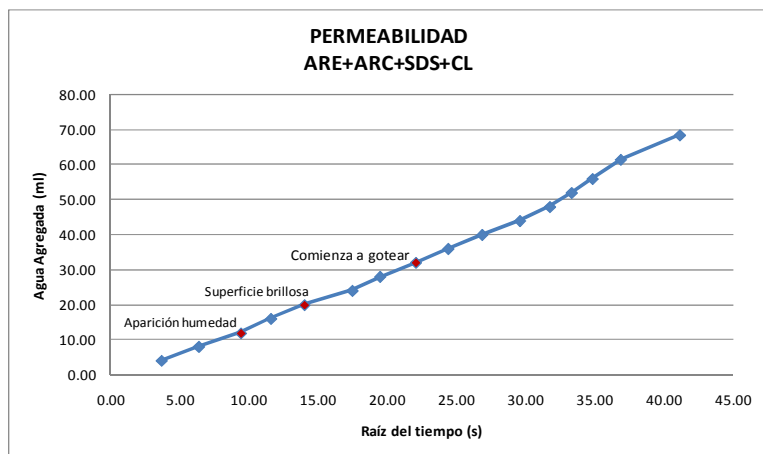


Fuente: Elaboración propia.

## Combinación Compuestos Químicos

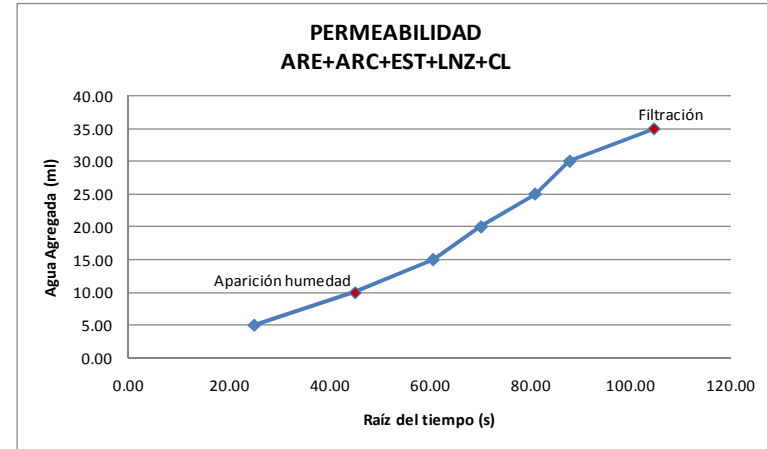
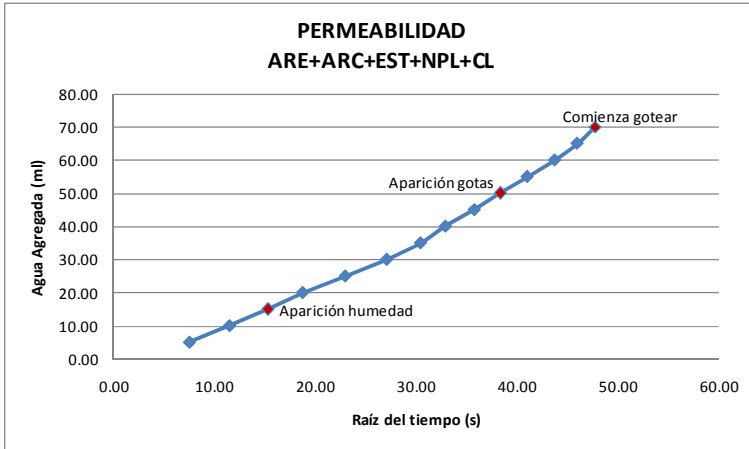


*Fuente: Elaboración propia.*

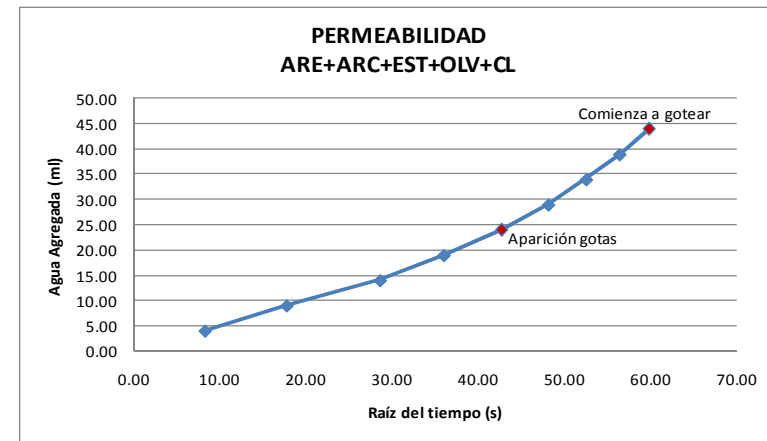
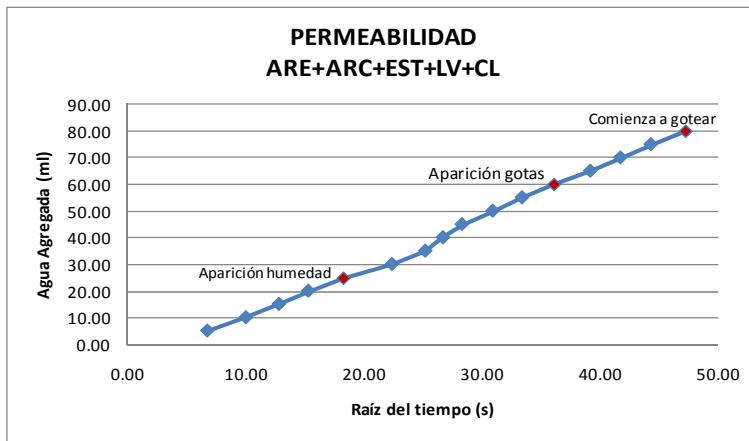


*Fuente: Elaboración propia.*

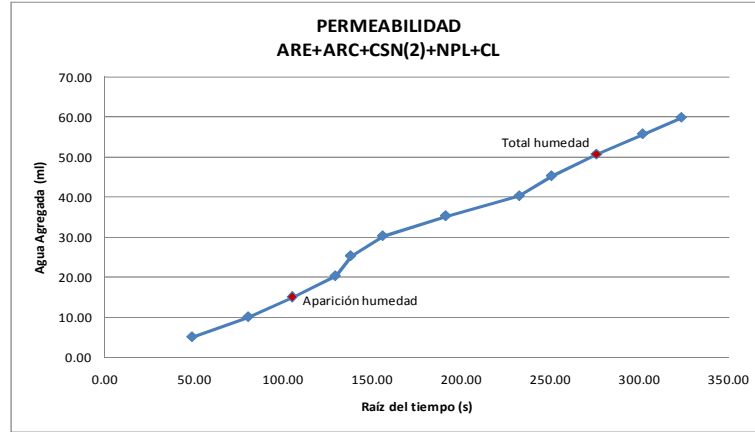
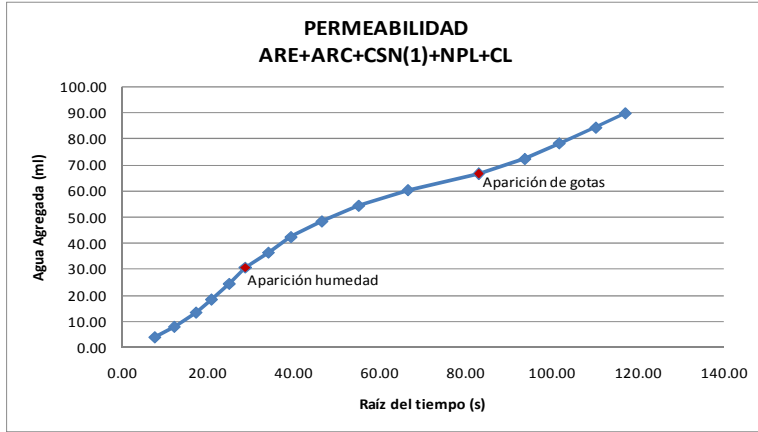
### Combinación Sustancias Vegetales y Animales



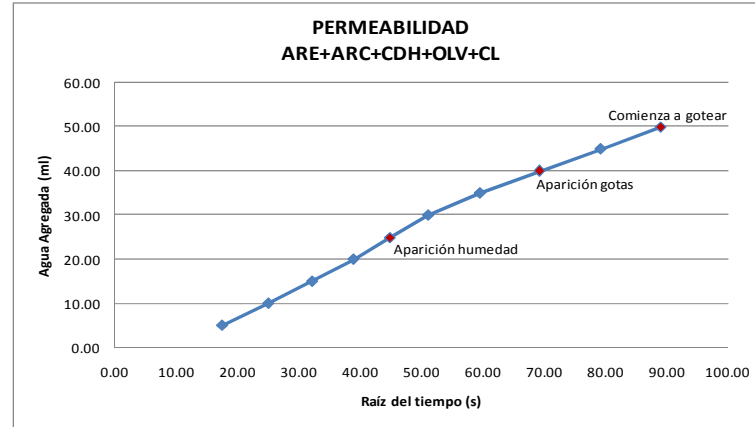
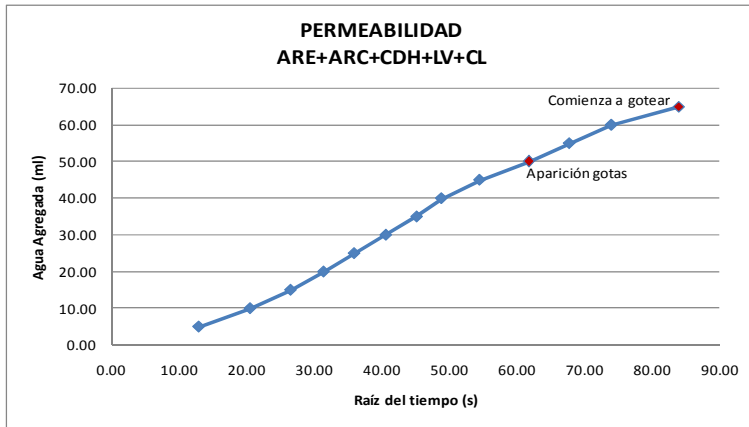
Fuente: Elaboración propia.



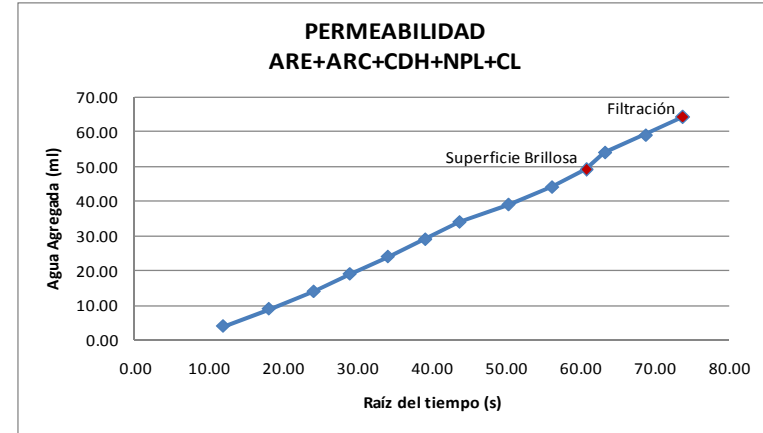
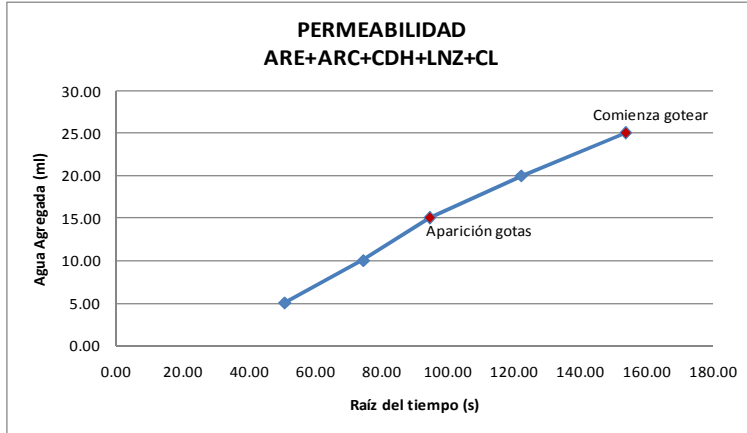
Fuente: Elaboración propia.



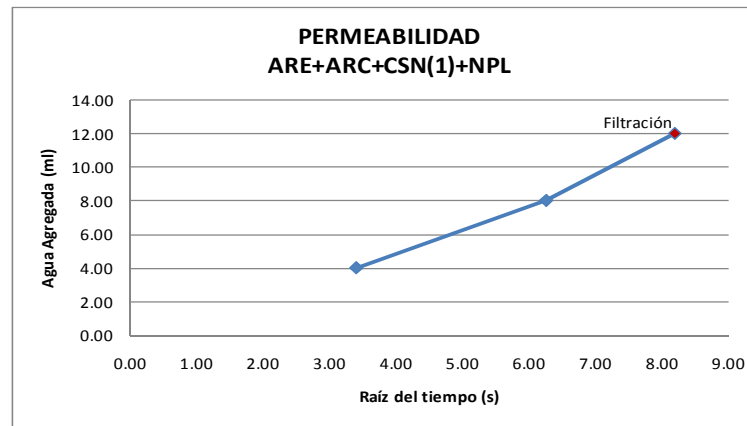
Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.



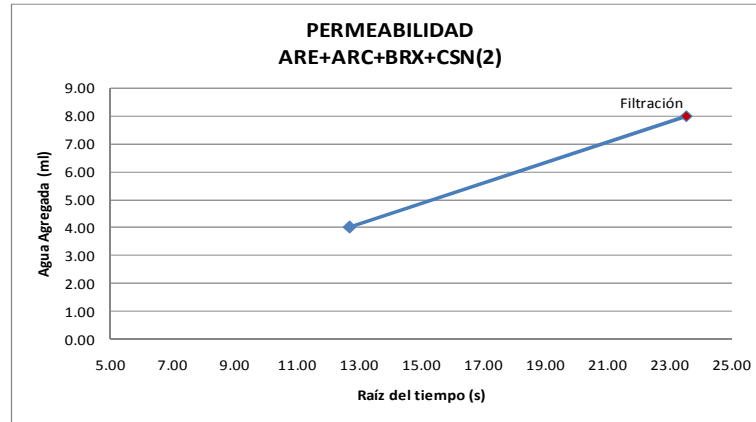
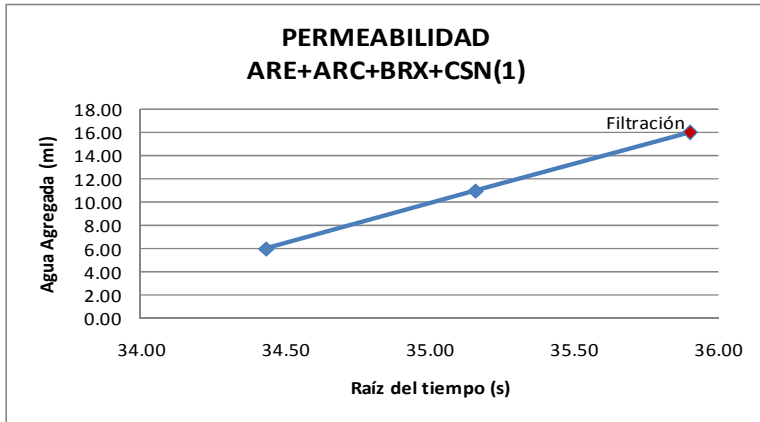
Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

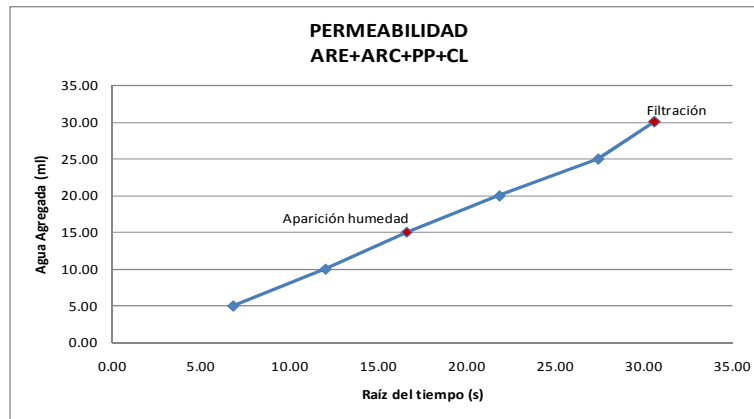


### Combinación Sustancias Animales y Compuestos Químicos



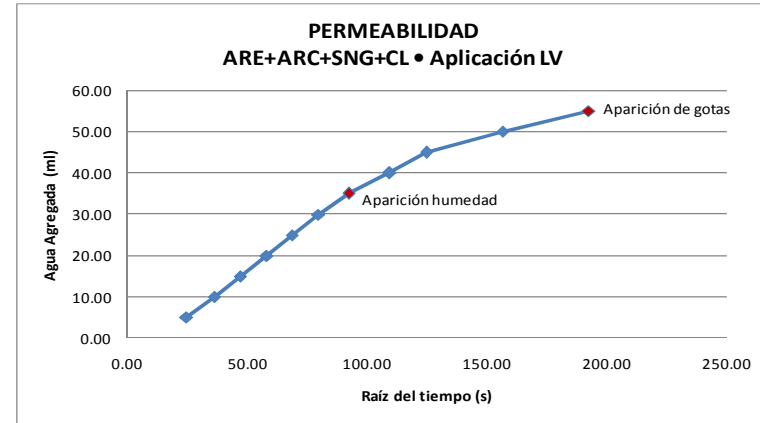
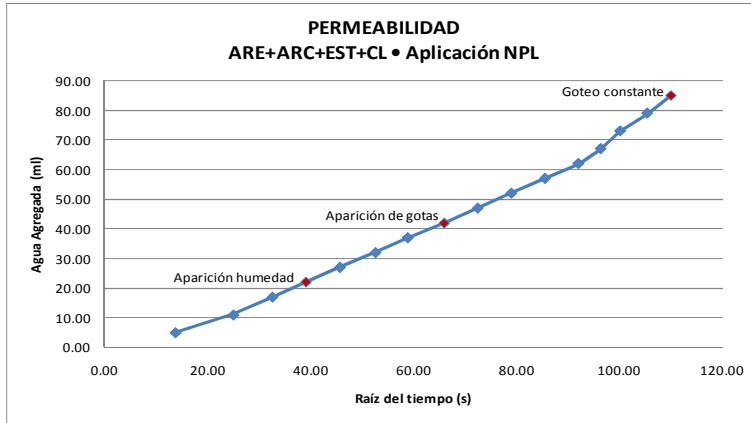
Fuente: Elaboración propia.

### Combinación Desechos

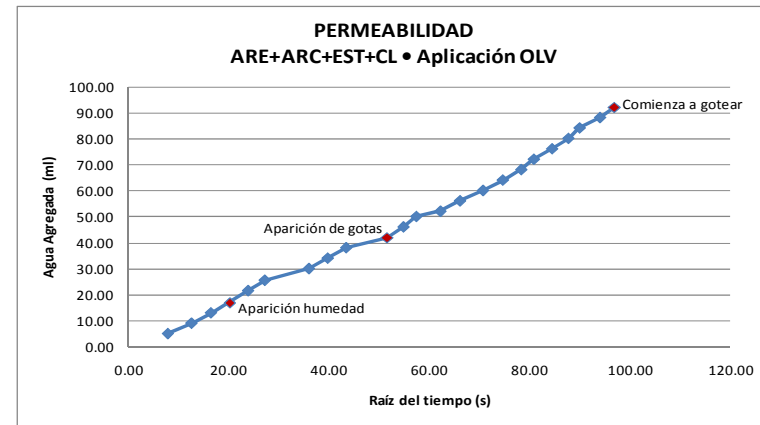
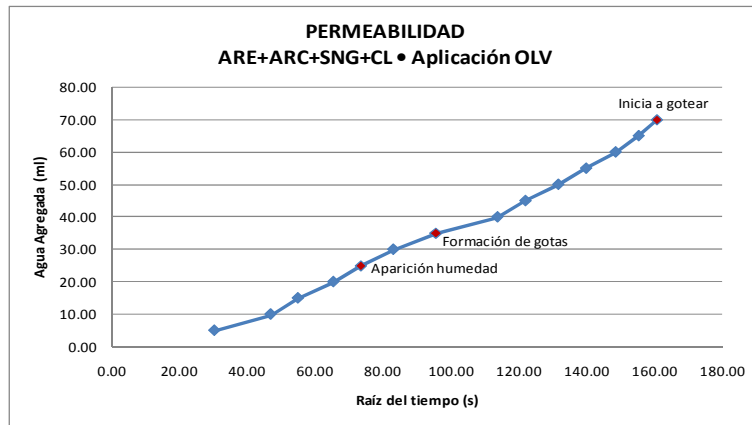


Fuente: Elaboración propia.

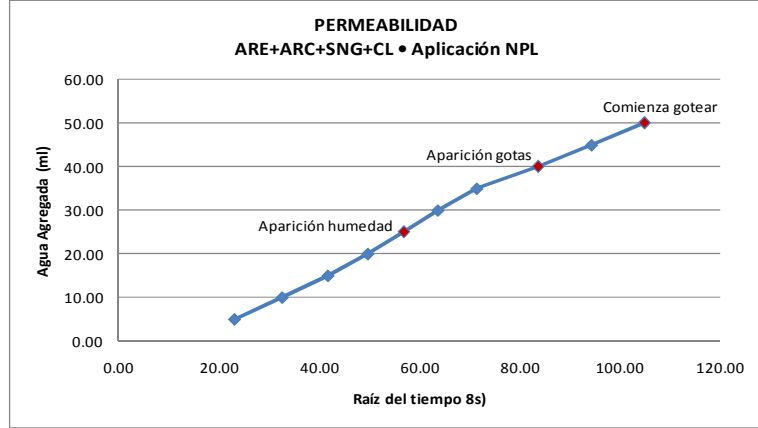
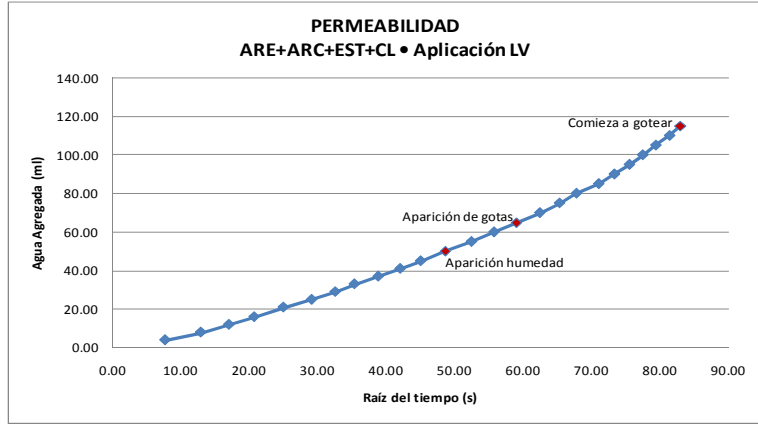
## ANEXO VI GRAFICAS DEL ENSAYO DE PERMEABILIDAD EN MEZCLAS CON SUSTANCIAS APLICADAS COMO PINTURA.



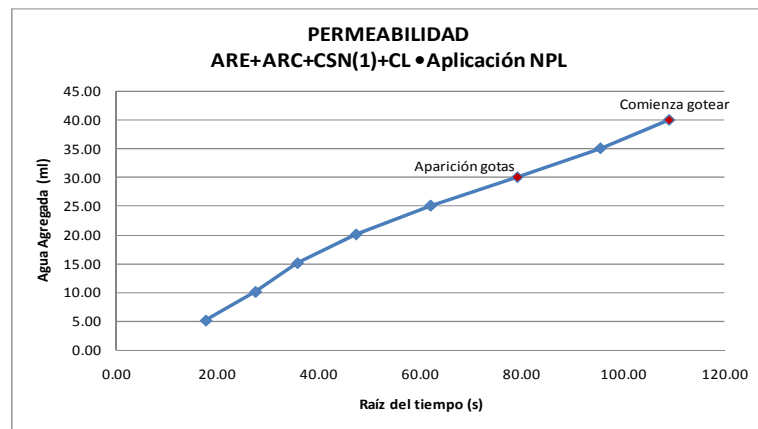
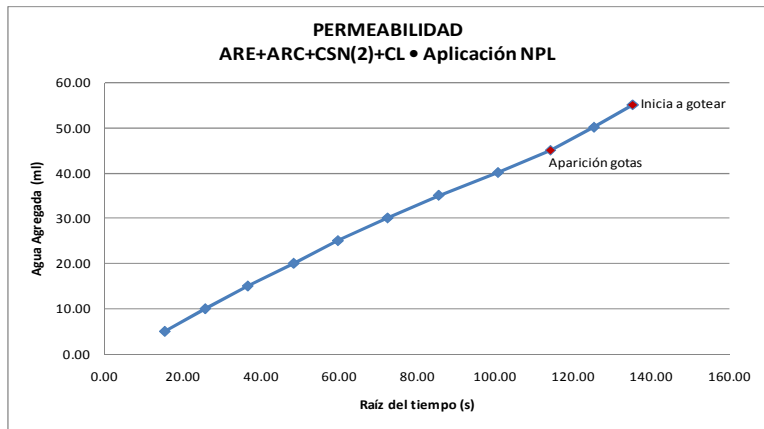
*Fuente: Elaboración propia.*



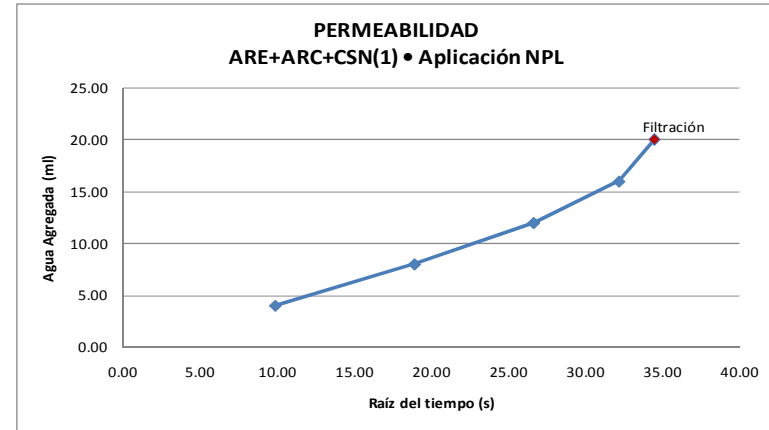
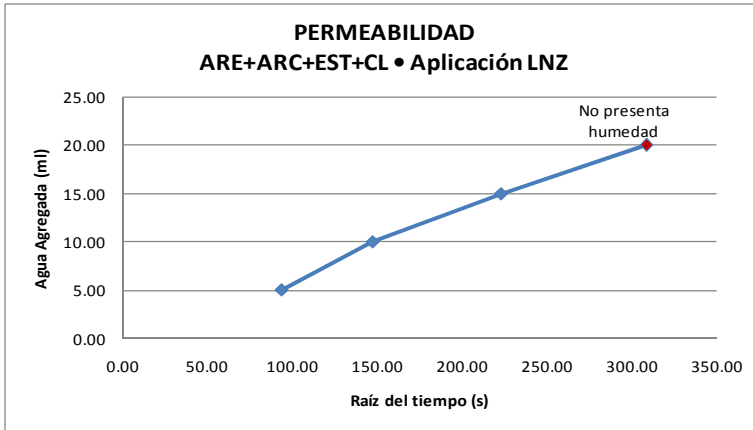
*Fuente: Elaboración propia.*



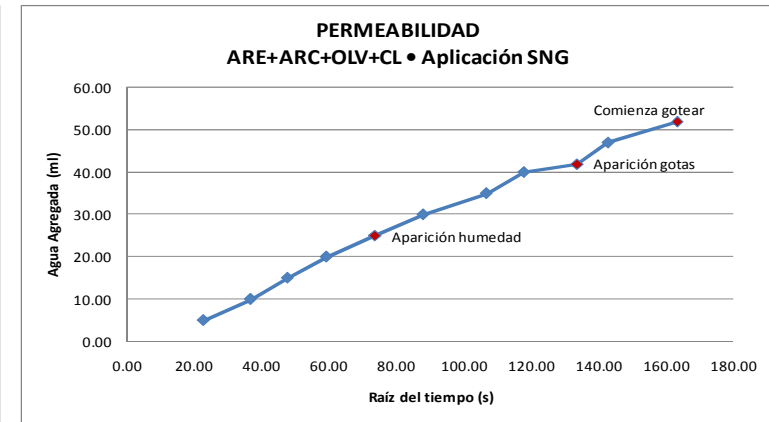
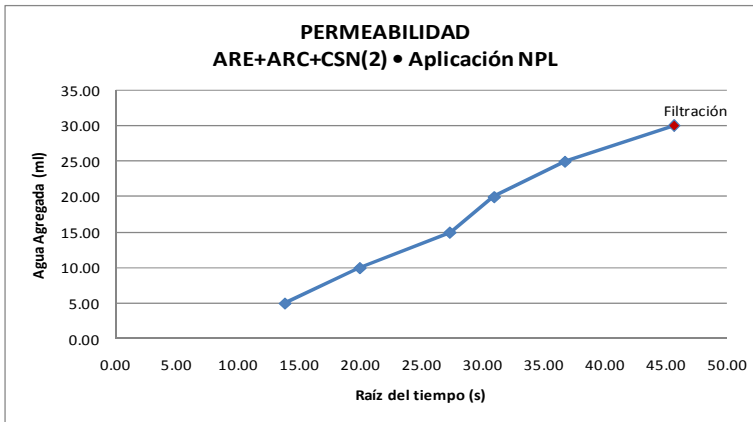
Fuente: Elaboración propia.



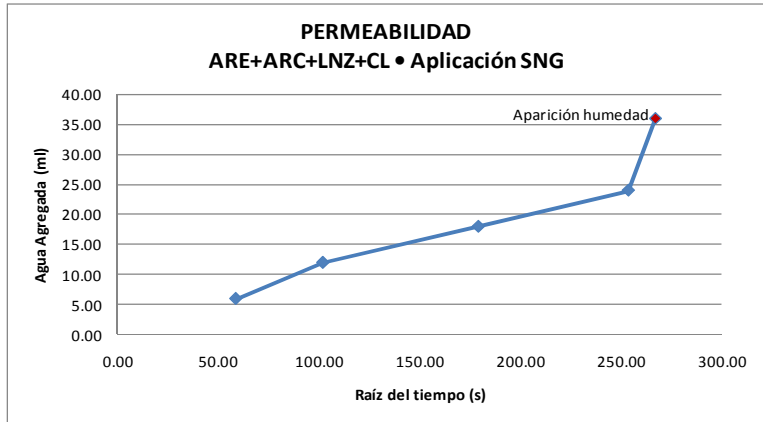
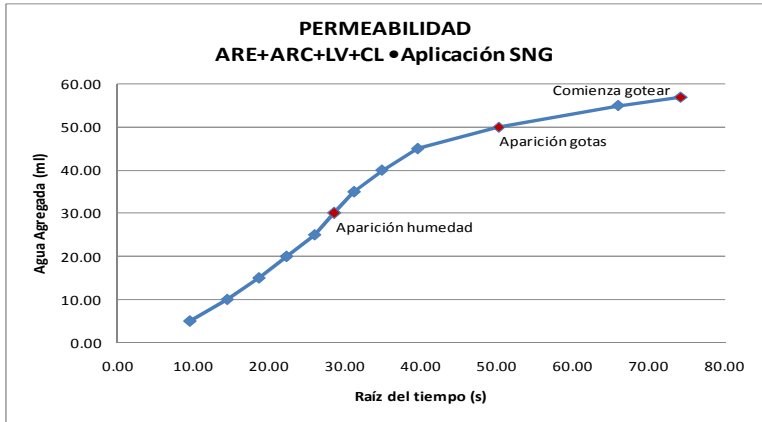
Fuente: Elaboración propia.



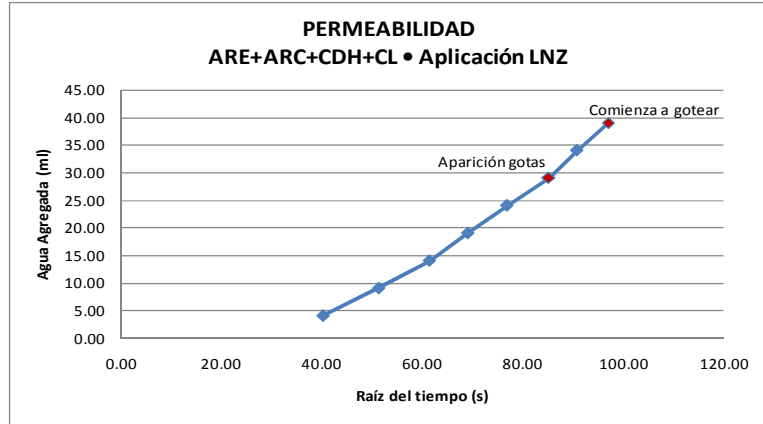
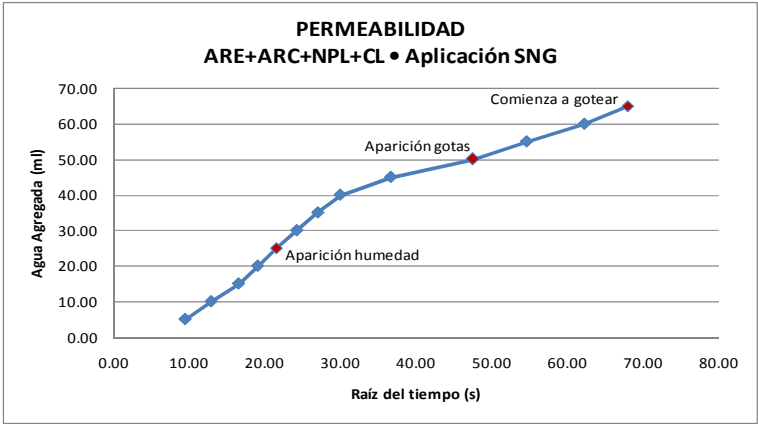
Fuente: Elaboración propia.



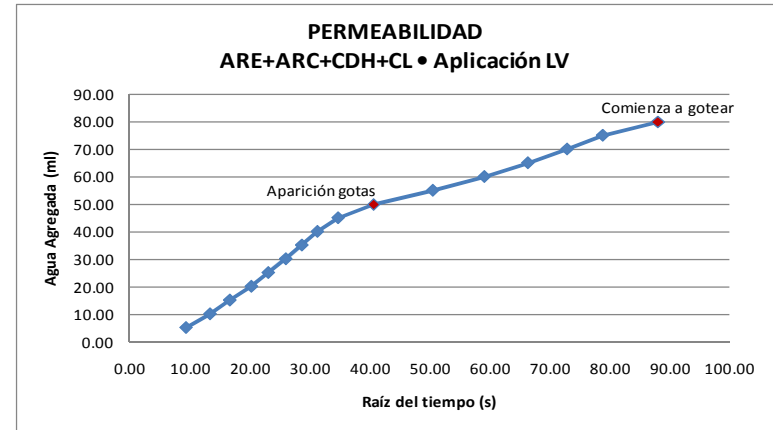
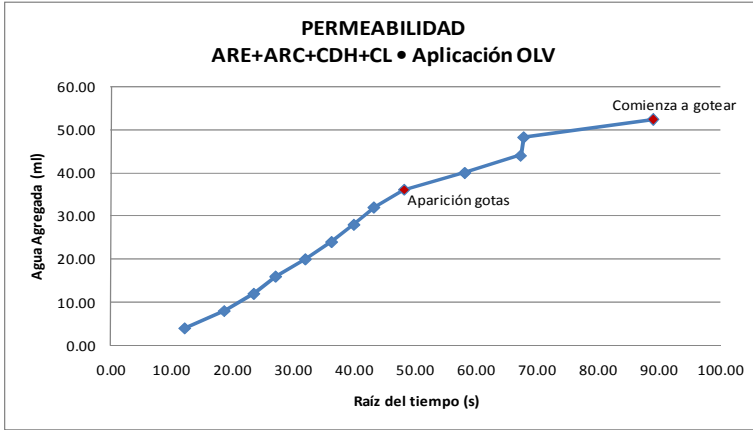
Fuente: Elaboración propia.



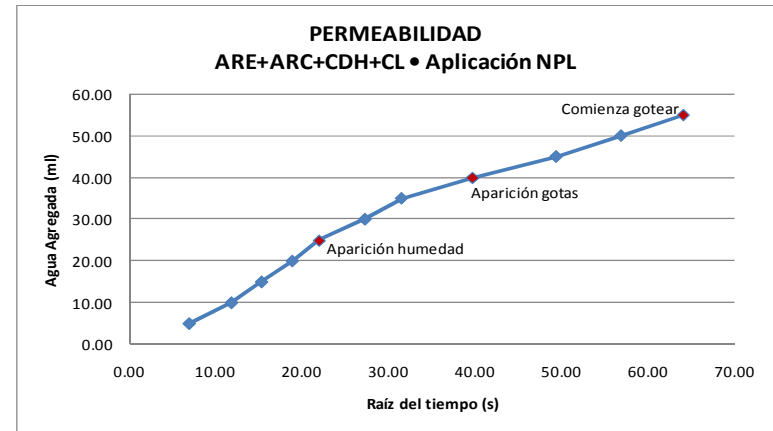
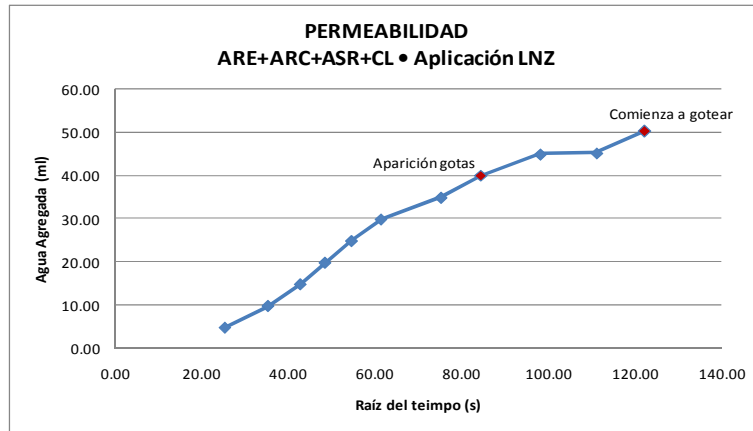
Fuente: Elaboración propia.



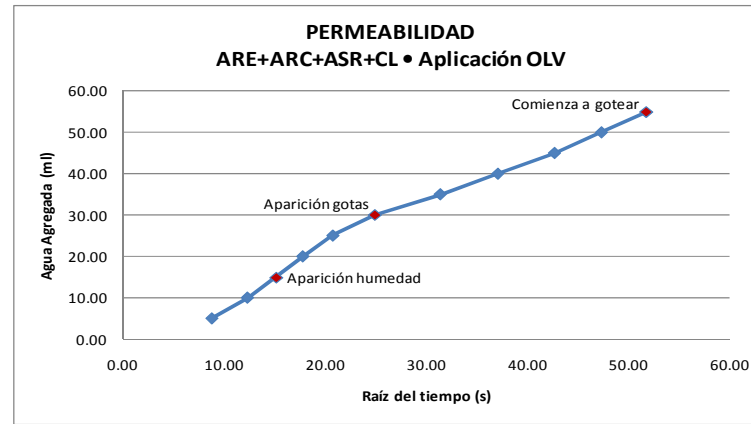
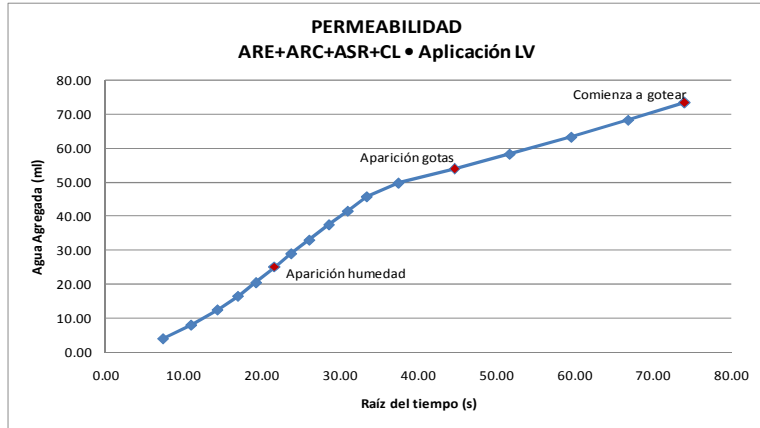
Fuente: Elaboración propia.



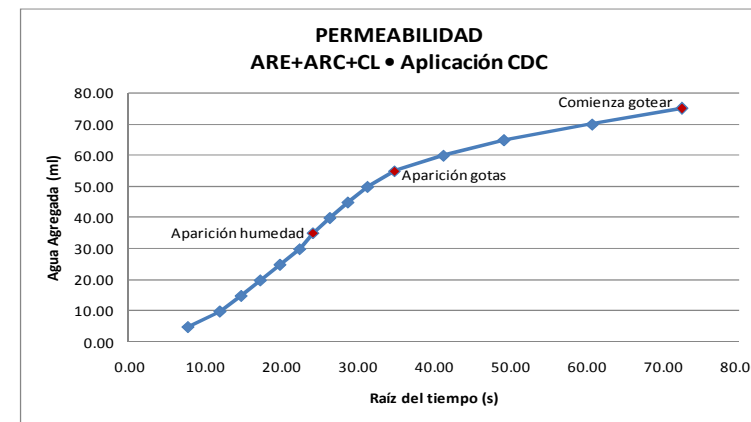
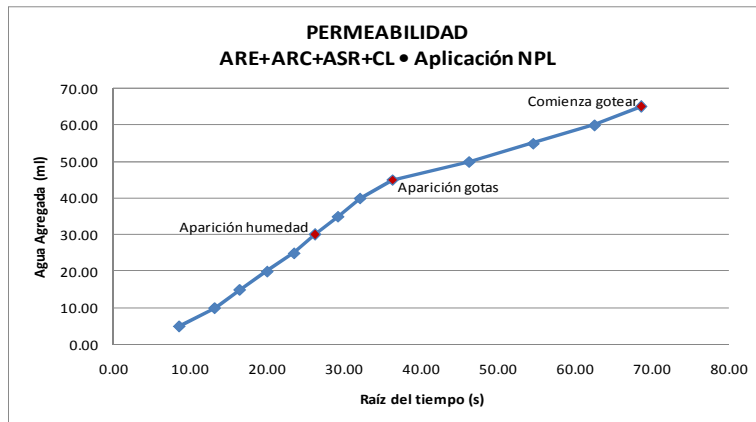
Fuente: Elaboración propia.



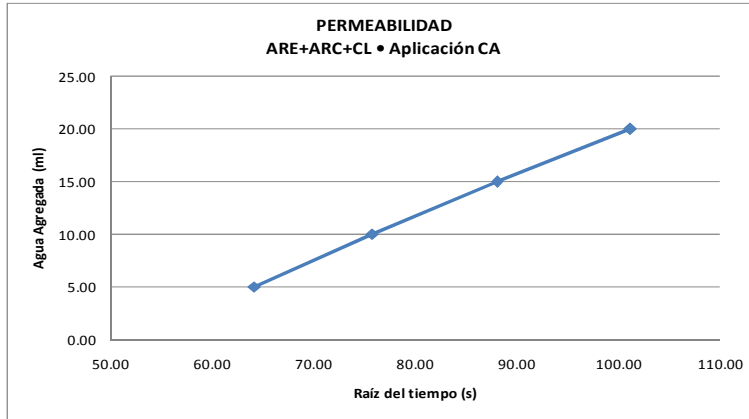
Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

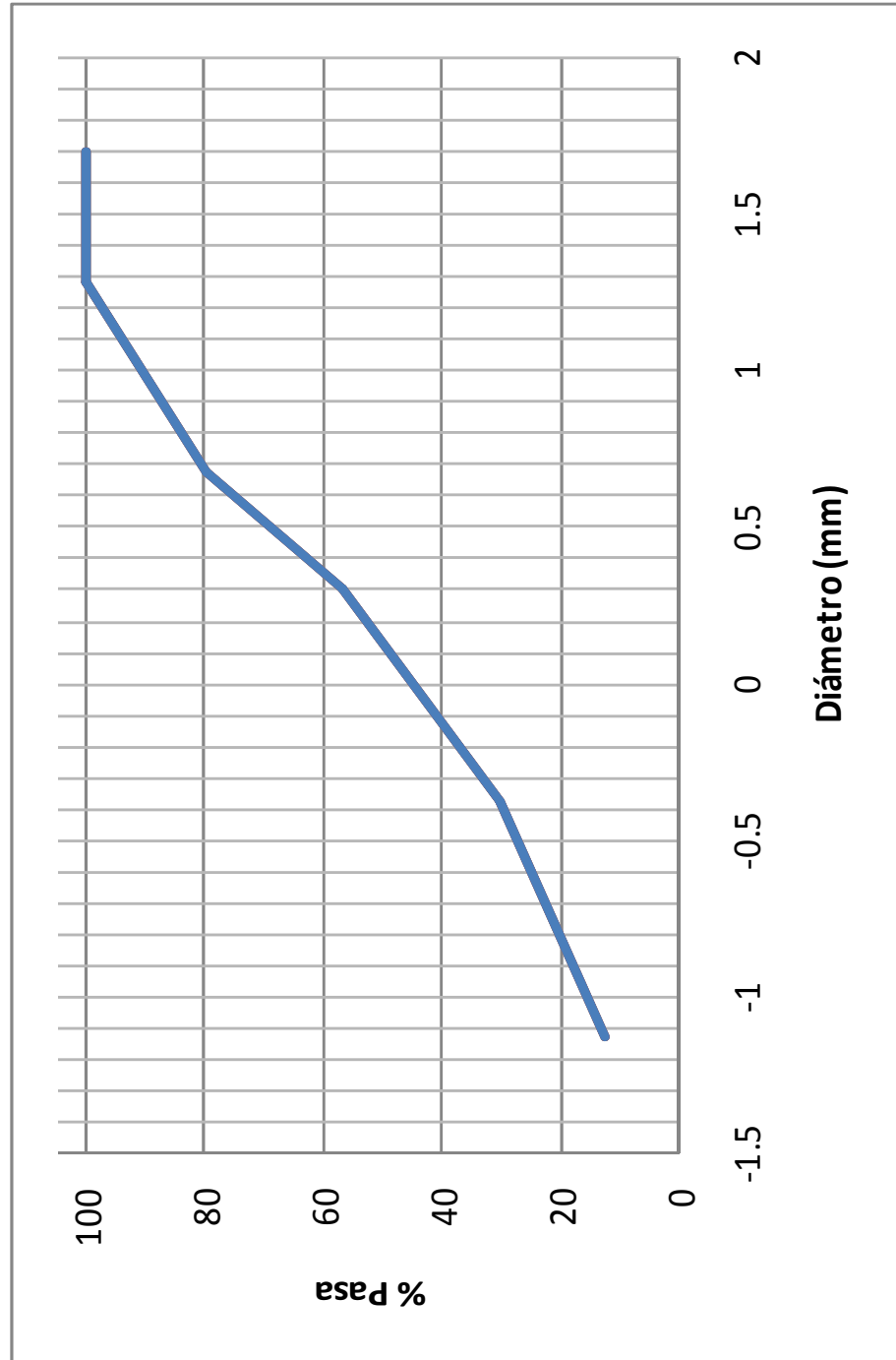


**Fuente: Elaboración propia.**



ANEXO VII  
ENSAYOS REALIZADOS AL SUELO

Gráfica del Ensayo Granulométrico realizado en el Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Facultad de Ingeniería.



Fuente: Elaboración propia.

**Resultados del Ensayo de Gravedad Específica realizado en el Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Facultad de Ingeniería.**

**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS**

**GRAVEDAD ESPECIFICA**

<b>INTERESADO</b>	
<b>PROYECTO</b>	
<b>LUGAR</b>	

<b>IDENTIFICACION MATRAZ</b>	<b>A</b>	<b>1</b>
<b>Capacidad del matraz (nominal)</b>	500 cc	500 cc
<b>Peso matraz limpio y seco.....W<sub>m</sub></b>	172.8 g	186.60 g
<b>Peso matraz + suelo seco.....W<sub>ms</sub></b>	25.70 g	266.30 g
<b>Peso suelo seco.....W<sub>s</sub></b>	79.90 g	79.70 g
<b>Peso matraz + suelo + agua.....W<sub>msw</sub></b>	717.50 g	731.20 g
<b>Peso matraz + agua.....W<sub>mw</sub></b>	670.90 g	684.50 g
<b>Temperatura del agua.....T</b>	26 °C	26 °C
<b>Gravedad Especifica</b> $G_s = \frac{W_s}{W_{mw} + W_s - W_{msw}}$	2.40	2.41
<b>Promedio</b>	2.405 %	

*Fuente: Elaboración propia.*

**Ensayo de humedad y plasticidad realizado en el Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Facultad de Ingeniería.**

**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS**

**ENSAYO DE HUMEDAD Y PLASTICIDAD**

<b>INTERESADO</b>	
<b>PROYECTO</b>	
<b>LUGAR</b>	

ENSAYO	LIMITE LIQUIDO (L.L.)		LIMITE PLASTICO (L.L.)	
	GOLPES	26	26	
TARRO	S-3	S-5	S-11	S-2
PBH	36.6 g	39.7 g	31.5 g	31.3 g
PBS	31.6 g	33.9 g	29.4 g	29.2 g
TARA	21.5 g	21.7 g	21.6 g	21.7 g
DIF	5.0 g	5.8 g	2.1 g	2.1 g
PNS	10.1 g	12.2 g	7.8 g	7.5 g
HUMEDAD	40.5 %	47.54 %	26.92 %	28.0 %
PROMEDIO	K = 1.0048	K = 1.0048	27.46 %	
	44.24 %			

*Fuente: Elaboración propia.*

**ANEXO VIII**  
**DENSIDADES DE LAS MUESTRAS**

MUESTRA BASE	COMBINACION	DENSIDAD (g/cm <sup>3</sup> )
	ARE+ARC+H2O	1.52
	ARE+ARC+CL+H2O	1.71
COMBINACION SUSTANCIAS VEGETALES	ARE+ARC+LV+H2O	1.60
	ARE+ARC+LV+CL+H2O	1.65
	ARE+ARC+NPL+H2O	1.54
	ARE+ARC+NPL+CL+H2O	1.55
	ARE+ARC+LNZ+H2O	1.82
	ARE+ARC+LNZ+CL+H2O	1.70
	ARE+ARC+OLV+H2O	1.37
	ARE+ARC+OLV+CL+H2O	1.51
	ARE+ARC+ASR+H2O	1.53
	ARE+ARC+ASR+CL+H2O	1.37
	ARE+ARC+ASR+NPL+CL+H2O	1.48
	ARE+ARC+ASR+LNZ+CL+H2O	1.77
	ARE+ARC+ASR+OLV+CL+H2O	1.60
	ARE+ARC+ASR+LV+CL+H2O	1.85
	ARE+ARC+CNZ+H2O	1.30
	ARE+ARC+CNZ+CL+H2O	1.56
	COMBINACION SUSTANCIAS ANIMALES	ARE+ARC+CSN(1)+H2O
ARE+ARC+CSN(1)+CL+H2O		1.72
ARE+ARC+CSN(2)+H2O		1.61
ARE+ARC+CSN(2)+CL+H2O		1.80
ARE+ARC+SB+H2O		1.77
ARE+ARC+SB+CL+H2O		1.89
ARE+ARC+EST+H2O		1.34
ARE+ARC+EST+CL+H2O		1.41
ARE+ARC+SNG+H2O		1.38
ARE+ARC+SNG+CL+H2O		1.53
ARE+ARC+CDH+H2O		1.47
ARE+ARC+CDH+CL+H2O		1.54
ARE+ARC+CDC+H2O		1.50
ARE+ARC+CDC+CL+H2O		1.77
COMBINACION COMPUESTOS QUIMICOS		ARE+ARC+BRX+H2O
	ARE+ARC+BRX+CL+H2O	1.69
	ARE+ARC+SDS+H2O	1.48
	ARE+ARC+SDS+CL+H2O	1.67
	ARE+ARC+CDS+H2O	FALLO
	ARE+ARC+CDS+CL+H2O	1.96
DESECHOS	ARE+ARC+PP+H2O	1.83
	ARE+ARC+PP+CL+H2O	1.80
COMBINACION SUST. VEGETAL & ANIMAL	ARE+ARC+NPL+CSN(1)+H2O	1.69
	ARE+ARC+NPL+CSN(1)+CL+H2O	1.84
	ARE+ARC+NPL+CSN(2)+H2O	1.59
	ARE+ARC+NPL+CSN(2)+CL+H2O	1.86
	ARE+ARC+NPL+CDH+CL+H2O	1.77
	ARE+ARC+LNZ+CDH+CL+H2O	1.46
	ARE+ARC+OLV+CDH+CL+H2O	1.51
	ARE+ARC+LV+CDH+CL+H2O	1.56
	ARE+ARC+NPL+EST+CL+H2O	1.47
	ARE+ARC+LNZ+EST+CL+H2O	1.55
	ARE+ARC+OLV+EST+CL+H2O	1.38
	ARE+ARC+LV+EST+CL+H2O	1.34
	COMBINACION SUST. ANIMAL & COMPUESTO QUIMICO	ARE+ARC+CSN(1)+BRX+H2O
ARE+ARC+CSN(2)+BRX+H2O		1.67

*Fuente: Elaboración propia.*

COMBINACION	APLICACION	ABSORCION
ARE+ARC+EST+CL+H2O	NPL	1.47
ARE+ARC+EST+CL+H2O	OLV	1.08
ARE+ARC+EST+CL+H2O	LV	1.43
ARE+ARC+EST+CL+H2O	LNZ	1.53
ARE+ARC+SNG+CL+H2O	LV	1.52
ARE+ARC+SNG+CL+H2O	OLV	1.52
ARE+ARC+SNG+CL+H2O	NPL	1.62
ARE+ARC+CSN(1)+H2O	NPL	1.74
ARE+ARC+CSN(1)+CL+H2O	NPL	1.64
ARE+ARC+CSN(2)+H2O	NPL	1.61
ARE+ARC+CSN(2)+CL+H2O	NPL	1.93
ARE+ARC+OLV+CL+H2O	SNG	1.59
ARE+ARC+LV+CL+H2O	SNG	2.02
ARE+ARC+LNZ+CL+H2O	SNG	1.82
ARE+ARC+NPL+CL+H2O	SNG	1.84
ARE+ARC+CDH+CL+H2O	LNZ	1.61
ARE+ARC+CDH+CL+H2O	OLV	1.55
ARE+ARC+CDH+CL+H2O	LV	1.47
ARE+ARC+CDH+CL+H2O	NPL	1.55
ARE+ARC+ASR+CL+H2O	LNZ	1.55
ARE+ARC+ASR+CL+H2O	LV	1.89
ARE+ARC+ASR+CL+H2O	OLV	1.46
ARE+ARC+ASR+CL+H2O	NPL	1.50
ARE+ARC+H2O	CDC	1.66
ARE+ARC+CL+H2O	GDC	1.80
ARE+ARC+CL+H2O	CA	1.63

Fuente: Elaboración propia.

**ANEXO IX**

**FORMATO PARA ENSAYO DE ABSORCION POR CAPILARIDAD**

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERIA

No.                      SIMBOLOGIA MEZCLA                      FECHA                     

ALTURA            cm      **ENSAYO ABSORCION**       FALLO  
    CSTBat de Francia

Tiempo (min)	Masa (g)	Tiempo (min)	Masa (g)
5'		50'	
10'		55'	
15'		60'	
20'		65'	
25'		70'	
30'		75'	
35'		80'	
40'		85'	
45'		90'	

Observaciones: \_\_\_\_\_

*Fuente: Elaboración propia.*



## ANEXO XI

### COMPORTAMIENTO DE ASPECTO DE LAS MEZCLAS

MEZCLA	Nuances (color)	Eflorencias	Manchas-Grumetes	Fisuras	Observaciones
ARE+ARC-CDS+CL	Café Claro (+)	No	No	No	Acabado bueno. Presenta Alambra. Presenta cierto tono grisáceo en algunas partículas.
ARE+ARC-CL	Café Claro (++)	No	No	No	Acabado Rústico. Poco poroso.
ARE+ARC-EST	Café Oscuro (++)	No	No	No	Acabado Rústico. Se observan las fibras.
ARE+ARC-BRX	Café Oscuro (+)	No	No	No	Acabado Rústico. Poco poroso.
ARE+ARC-OIV+CL • Aplicación SNG	Café Claro (++)	No	No	No	Acabado Bueno. Presenta cierto tono rojizo claro. Poco Rústico.
ARE+ARC-LV+CL • Aplicación SNG	Café Claro (++)	No	No	No	Acabado Bueno. Presenta cierto tono rojizo claro. Poco Rústico. Algunos Poros.
ARE+ARC-LINZ+CL • Aplicación SNG	Café Claro (++)	No	No	No	Acabado Bueno. Presenta cierto tono rojizo claro. Poco Rústico. Algunos Poros.
ARE+ARC-NPL+CL • Aplicación SNG	Café Claro (++)	No	No	No	Acabado Bueno. Poco poroso.
ARE+ARC-CSN2+NPL+CL	Café Claro (++)	No	No	No	Acabado Bueno. Aspecto brillante. Presenta alguna manchas color café oscuro.
ARE+ARC-EST+CL • Aplicación LN2	Café Claro (++)	No	Si	No	Acabado Bueno. Presenta Alambra.
ARE+ARC-SDS+CL	Café Claro (+++)	Si	No	No	Acabado Bueno. Presenta Alambra.
ARE+ARC-EST+CL	Café Claro (+++)	No	No	No	Acabado Bueno. Presenta Alambra.
ARE+ARC-CSN2+NPL	Café Oscuro (++)	No	Si	No	Acabado Bueno. Presenta de microorganismos (moho blancusco) en su superficie.
ARE+ARC-EST+CL • Aplicación NPL	Café (++++)	No	No	No	Acabado Bueno. Presenta tono blancusco brillante. Poco poroso.
ARE+ARC-SNG+CL • Aplicación LV	Café Claro (++)	No	No	No	Acabado Bueno. Presenta tono verdusco. Poco poroso.
ARE+ARC-SNG+CL • Aplicación OIV	Café Claro (++)	No	No	No	Acabado Bueno. Presenta tono blancusco. Poco rústico.
ARE+ARC-SNG+CL	Café Claro (++)	No	No	No	Acabado Bueno. Poco poroso.
ARE+ARC-PP+CL	Café Oscuro (++)	No	No	No	Acabado medio. Bastante poroso.
ARE+ARC-SDS	Negro	No	No	No	Acabado Bueno. Poco poroso.
ARE+ARC-BRX+CL	Café Claro (++)	No	Si	Si	Acabado medio. Presenta manchas blancas. Demasiado poroso.
ARE+ARC-EST+CL • Aplicación OIV	Café Claro (+++)	No	No	No	Acabado medio. Presenta Alambra. Poco poroso.
ARE+ARC-EST+CL • Aplicación LV	Café Claro (++)	No	No	No	Acabado bueno. Presenta superficie blancusca. Se observan las fibras.
ARE+ARC-BRX+CSN1	Café Oscuro (++)	No	No	No	Acabado medio. Medio poroso.
ARE+ARC-BRX+CSN2	Café Oscuro (++)	No	No	No	Acabado medio. Medio poroso.
ARE+ARC-CSN1 • Aplicación NPL	Café Claro (++)	Si	Si	No	Acabado medio. Presenta de microorganismos. Presenta manchas de tono blancusco en su superficie.
ARE+ARC-PP	Café Oscuro (+++)	No	No	No	Acabado Bueno. Poco poroso.
ARE+ARC-CDH	Café Oscuro (+++)	No	No	No	Acabado Medio. Bastante Rústico y Poroso.
ARE+ARC-CDH+CL	Café Claro (+++)	No	No	No	Acabado Medio. Medio Rústico. Poco poroso.
ARE+ARC-LINZ	Café Oscuro (+++)	No	No	No	Acabado Medio. Medio Rústico. Superficie brillante. Medio Poroso.
ARE+ARC-LINZ+CL	Café Claro (+++)	No	No	No	Acabado Bueno (bastante liso). Presenta alambra.
ARE+ARC-CSN2 • Aplicación NPL	Café Claro (+++)	No	Si	No	Acabado Medio. Presenta manchas blancuscas.
ARE+ARC-CSN1+CL • Aplicación NPL	Café Claro (+++)	No	Si	No	Acabado Medio. Presenta manchas blancuscas. Presenta Alambra. Poco poroso.
ARE+ARC-CSN2+CL • Aplicación NPL	Café Claro (+++)	No	Si	No	Acabado Bueno. Poco Rústico.

Fuente: Elaboración propia.



ARE-ARC-CN2	Café Oscuro (++)	No	Si	No	Acabado Bueno. Poco Rústico. Presenta manchas color café oscuras.
ARE-ARC-CN2+CL	Café Claro (+++)	No	No	No	Acabado Bueno. Poco poroso.
ARE-ARC-CSN1+NPL+CL	Café Oscuro (++)	No	Si	No	Acabado Bueno. Presenta manchas blanciscas. Poco Poroso.
ARE-ARC-CSN1+NPL	Café Oscuro (++)	No	Si	No	Acabado Bueno. Presenta manchas blanciscas. Poco Poroso.
ARE-ARC-CDC	Café Oscuro (++)	No	Si	Si	Acabado Bueno. Presenta manchas color café quemado. Presenta algunas fisuras.
ARE-ARC-CDC+CL	Café Claro (++)	No	Si	No	Acabado Bueno (liso). Presenta manchas color café quemado. Superficie brillante.
ARE-ARC-CSN1+CL	Café Claro (++++)	No	Si	No	Acabado Bueno. Presenta manchas color café quemado. Poco poroso.
ARE-ARC-CSN2	Café Claro (++++)	No	Si	No	Acabado Medio. Poco Rústico. Presencia de microorganismo (moho blancusco).
ARE-ARC-CDH+LV+CL	Café Claro (++)	No	No	No	Acabado Bueno. Poco poroso.
ARE-ARC-CSN1	Café Claro (++++)	No	Si	No	Acabado Medio. Presencia de microorganismos (moho blancusco).
ARE-ARC-CSN2+CL	Café Claro (+)	No	Si	No	Acabado Bueno. Presenta manchas color café quemado.
ARE-ARC-ASR+LV+CL	Café Claro (+)	No	No	No	Acabado Medio. Poco Poroso.
ARE-ARC-CDH+LV+CL	Café Claro (+++)	No	No	No	Acabado Bueno. Poco poroso.
ARE-ARC-CDH+LN2+CL	Café Claro (+++)	No	No	No	Acabado Bueno. Poco Rústico.
ARE-ARC-CDH+CL • Aplicación LN2	Café Oscuro (++)	No	Si	No	Acabado Bueno. Superficie Brillosa. Presenta manchas color café quemado.
ARE-ARC-CDH+NPL+CL	Café Claro (++)	No	No	No	Acabado Bueno. Poco poroso.
ARE-ARC-ASR+LN2+CL	Café Claro (++)	No	No	No	Acabado Bueno. Presenta Alambra.
ARE-ARC-CDH+CL • Aplicación OLV	Café Claro (+++)	No	No	No	Acabado Bueno. Poco poroso.
ARE-ARC-CDH+CL • Aplicación LV	Café Claro (+++)	No	No	No	Acabado Bueno. Presenta tono verdusco. Aparición de pelitos.
ARE-ARC-ASR+CL • Aplicación LV	Café Claro (+++)	No	No	No	Acabado Bueno. Presenta tono verdusco. Presenta Alambra. Aparición de pelitos.
ARE-ARC-ASR+CL • Aplicación LN2	Café Oscuro (++)	No	Si	No	Acabado Bueno. Superficie brillante. Presenta manchas color café quemado.
ARE-ARC-CDH+CL • Aplicación NPL	Café Claro (+++)	No	No	No	Acabado Bueno. Presenta Alambra.
ARE-ARC-ASR+NPL+CL	Café Claro (+++)	No	No	No	Acabado Bueno. Poco poroso.
ARE-ARC-ASR+OLV+CL	Café Claro (+++)	No	No	No	Acabado Bueno. Poco poroso.
ARE-ARC-ASR+CL • Aplicación LV	Café Claro (+++)	No	No	No	Acabado Bueno. Presenta tono verdusco. Presenta Alambra. Aparición de pelitos.
ARE-ARC-ASR+CL • Aplicación OLV	Café Claro (+++)	No	No	No	Acabado Bueno. Presenta Alambra.
ARE-ARC-ASR	Café Oscuro (+++)	No	No	No	Acabado Bueno. Poco poroso.
ARE-ARC-ASR+CL	Café Claro (+++)	No	No	No	Acabado Bueno. Poco poroso.
ARE-ARC-ASR+CL • Aplicación NPL	Café Claro (+++)	No	No	No	Acabado Bueno. Presenta Alambra.
ARE-ARC-EST+NPL	Café Claro (+++)	No	No	No	Acabado Bueno. Se observan las fibras. Poco Poroso.
ARE-ARC-EST+LN2	Café Claro (+++)	No	Si	No	Acabado Bueno. Presencia de manchas color café oscuro. Se observan las fibras.
ARE-ARC-EST+LV	Café Claro (+++)	No	No	Si	Acabado Bueno. Presenta Alambra. Poco poroso. Presenta pocas fisuras.
ARE-ARC-EST+OLV	Café Claro (+++)	No	No	No	Acabado Bueno. Presenta Alambra. Se observan las fibras.
ARE-ARC-SB+CL	Café Claro (+++)	No	No	No	Acabado Bueno. Superficie brillante. Poco poroso.
ARE-ARC-SB	Café Oscuro (++)	No	No	No	Acabado Bueno. Poco poroso.
ARE-ARC-NPL+CL	Café Claro (+++)	No	No	No	Acabado Bueno. Presenta Alambra. Poco poroso.
ARE-ARC-NPL	Café Oscuro (++)	No	Si	No	Acabado medio. Presencia de microorganismos (moho blancusco). Bastante poroso.
ARE-ARC-OLV+CL	Café Claro (+++)	No	No	No	Acabado medio. Presenta Alambra. Poco poroso.
ARE-ARC-OLV	Café Oscuro (++)	No	No	No	Acabado medio. Bastante poroso.
ARE-ARC-SNG+CL • Aplicación NPL	Café Claro (+++)	No	No	No	Acabado Bueno. Presenta tono blancusco en su superficie. Presenta Alambra.
ARE-ARC-OLV+CL	Café Claro (+++)	No	No	No	Acabado Bueno. Poco poroso.
ARE-ARC-LV	Café Oscuro (++)	No	Si	No	Acabado Medio. Presencia de microorganismo (moho blancusco). Poco poroso.
ARE-ARC • Aplicación CDC	Café Oscuro (++)	No	Si	No	Acabado Bueno. Poco poroso. Presenta puntos color blancusco en su superficie.
ARE-ARC+CL • Aplicación CDC	Café Claro (+++)	No	No	No	Acabado Bueno (bastante lisa).

Fuente: Elaboración propia.

